

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Marcelo Müller Beuren

SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA
SUBSTITUIÇÃO DE ATIVOS NO SETOR
AEROPORTUÁRIO

Porto Alegre

2016

Marcelo Müller Beuren

Sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmico, na área de concentração de Sistemas de Qualidade.

Orientador: José Luis Duarte Ribeiro, Dr. Eng.

Porto Alegre

2016

Marcelo Müller Beuren

Sistemática para substituição de ativos no setor aeroportuário

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr. Eng.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr. Eng.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Michel José Anzanello, PhD. (PPGEP/UFRGS)

Professora Camila Costa Dutra, Dra. Eng. (DEPROT/UFRGS)

Professora Joana Siqueira de Souza, Dra. Eng. (Engenharia de Produção/PUCRS)

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos”

— Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família, por todo apoio às minhas escolhas, em especial aos meus pais pela minha criação e educação, mostrando que o conhecimento é a maior riqueza que existe.

À minha namorada, Tatiana Almada, que me completa e me faz feliz.

Agradeço ao meu orientador, José Luis Duarte Ribeiro, pela oportunidade oferecida, pelos trabalhos realizados, pelas conversas inspiradoras e por ser um exemplo de profissional da área acadêmica.

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelo convívio, ensinamentos e amizade.

E à empresa gestora de aeroportos e seus profissionais com quem tive contato, pelas reuniões e informações necessárias para a aplicação dos modelos desenvolvidos.

RESUMO

O setor aeroportuário apresentou forte crescimento nos últimos anos, ressaltando as ineficiências na gestão de sua infraestrutura e de seus ativos, especialmente no Brasil. Assim, com a exaustão das técnicas tradicionais para a redução de custos, as empresas necessitam buscar melhorias apoiadas no uso de métodos mais complexos a fim de aumentar a produtividade de seus ativos. Desta forma, desponta a necessidade de modelos para a identificação da vida útil e análise da substituição econômica de ativos, uma vez que estas informações auxiliam na tomada de decisão e conduzem a melhores planos de manutenção, reduzindo as perdas do processo. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo propor e aplicar uma sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário, apoiado em modelos adequados às especificidades do setor através do estudo das suas variáveis. Para isto, são identificados os elementos que influenciam na vida útil dos ativos e, posteriormente, modelos de identificação de vida útil e substituição econômica de ativos são propostos e aplicados em um aeroporto brasileiro de grande porte. Pode-se concluir que a sistemática produziu resultados consistentes e que auxiliam a decisão de substituição de ativos de uma forma estruturada.

Palavras-chave: Vida útil de ativos, Vida útil restante, Vida útil econômica, Substituição de ativos, Aeroportos.

ABSTRACT

In the past years, an increase in aviation transport can be noticed and it highlights inefficiencies in asset management, especially in Brazil. Hence, the exhaustion of traditional techniques to cost reduction lead companies to seek improvements supported by more complex methods in order to increase productivity of their assets. Thus, it is crucial to develop models for useful life identification and economic replacement of assets, since these information assist the decision making process and lead to better maintenance plans, reducing wastage. As a result, the main objective of this work is develop and apply a systematic for evaluation of asset replacement in airports, supported by models that consider the specificities of the aviation sector and its particular variables. In this direction, elements that influence assets useful life are identified and, then, models for useful life identification and economic replacement of assets are developed and applied in an important Brazilian airport. It can be concluded that the systematic have produced consistent results and can assist in asset replacement decision in a structured form.

Keywords: Asset life, Remain useful life, Economic life, Asset replacement, Airports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Etapas da dissertação.....	17
Figura 2.1 - Categorias de ativos.....	21
Figura 2.2 - Fases do ciclo de vida.....	22
Figura 2.3 - Condições do ativo durante sua vida útil técnica.....	23
Figura 2.4 - Método de trabalho.....	26
Figura 3.1 - Classificação de modelos para estimativa de RUL em categorias.....	39
Figura 3.2 - Modelo proposto para vida útil restante.....	43
Figura 4.1 - Modelo proposto para avaliação da substituição de ativos.....	62
Figura 4.2 - Regras para a tomada de decisão econômica.....	63
Figura 4.3 - Resultados da previsão de vida econômica para Empilhadeira GLP.....	68
Figura 4.4 - Resultados da previsão de vida econômica para Carro contra incêndio.....	69
Figura 5.1 - Sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Matriz de ativos mais importantes vs. Elementos a serem considerados na decisão de substituição dos mesmos.....	27
Quadro 2.2 - Subsistemas críticos.....	29
Quadro 2.3 - Ativos mais importantes.....	30
Quadro 2.4 - Principais elementos que influenciam na vida útil de ativos.....	32
Quadro 4.1 - Elementos da degradação de ativos.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Escala de referência para avaliação da condição do ambiente.....	44
Tabela 3.2 - Escala de referência para o índice de disponibilidade (ÍndDisp).....	44
Tabela 3.3 - Resultados da avaliação da condição do ambiente para Empilhadeiras GLP.....	47
Tabela 3.4 - Resultados da avaliação da condição do ambiente para Carros contra incêndio..	47
Tabela 3.5 - Resultados da avaliação da disponibilidade para Empilhadeiras GLP.....	48
Tabela 3.6 - Resultados da avaliação da disponibilidade para Carros contra incêndio.....	48
Tabela 3.7 - Dados de entrada para a modelagem de vida útil para Empilhadeiras GLP.....	49
Tabela 3.8 - Dados de entrada para a modelagem de vida útil para Carros contra incêndio....	49
Tabela 3.9 - Modelagem de vida útil restante para Empilhadeiras GLP.....	50
Tabela 3.10 - Modelagem de vida útil restante para Carros contra incêndio.....	50
Tabela 4.1 - Dados de entrada para a previsão de vida econômica.....	66
Tabela 4.2 - Resultados da previsão de vida econômica.....	68

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Estrutura da dissertação.....	16
1.5 Delimitações da pesquisa	17
II. ARTIGO 1: IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS QUE INFLUENCIAM NA VIDA ÚTIL DE ATIVOS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS.....	19
1. Introdução.....	19
2. Gestão de ativos	21
2.1 Vida útil técnica	23
2.2 Vida útil contábil	24
2.3 Vida útil econômica	25
3. Procedimentos metodológicos.....	26
4. Resultados	28
4.1 Identificação dos ativos mais importantes	28
4.2 Identificação dos elementos a serem considerados na previsão da vida útil de ativos	30
5. Conclusões	33
6. Referências	34
III. ARTIGO 2: MODELO PARA VIDA ÚTIL RESTANTE DE ATIVOS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS.....	37
1. Introdução.....	37
2. Vida útil restante	38
3. Modelo para vida útil restante de ativos em aeroportos.....	42
4. Estudo aplicado	45
4.1 Definições iniciais e coleta de dados	46
4.2 Aplicação do modelo proposto	49
5. Conclusões	51
6. Referências	52
IV. ARTIGO 3: MODELO PARA AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE ATIVOS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS	55
1. Introdução.....	55
2. Substituição de ativos	56
3. Modelo para avaliação da substituição de ativos em aeroportos	61
4. Estudo aplicado	64
4.1 Previsão da necessidade de substituição	64
4.2 Previsão de vida econômica.....	66
5. Conclusões	70
6. Referências	71

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1 Implicações práticas	75
5.2 Implicações acadêmicas	76
VI. REFERÊNCIAS.....	78

I. INTRODUÇÃO

O setor de transporte aéreo está em evidência mundialmente, uma vez que apresentou forte crescimento nos últimos anos (IATA, 2014). O Brasil se destaca com uma das maiores taxas, chegando a expandir sua demanda na média de 10% ao ano no período entre 2009 e 2013 (INFRAERO, 2014). O crescimento do poder aquisitivo da população e a redução de custo por passageiro-quilômetro transportado explicam este fenômeno, além de demonstrar o grande potencial do setor aeroportuário (DIEESE, 2014; ANAC, 2013).

Os terminais aeroportuários, por sua vez, são sistemas produtivos complexos que necessitam de eficiência no desempenho operacional, pois são responsáveis por viabilizar o fluxo de passageiros, bagagens e cargas (MOURA NETO, 2013). Deste modo, há um esforço mundial para aumentar a eficiência das operações em terminais aeroportuários através de mudanças nas políticas e práticas adotadas, envolvendo expansão da capacidade, incentivos para empresas parceiras, modernização da gestão, infraestrutura, tecnologia e equipamentos (AHN; MIN, 2014).

No entanto, no que concerne a operações aeroportuárias, o cenário brasileiro não é tão promissor. Estudos indicam que a infraestrutura aeroportuária brasileira não acompanhou o aumento da demanda dos últimos anos, seja em termos de capacidade ou qualidade dos serviços prestados (MCKINSEY, 2010; ANAC, 2013). Além disso, vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos (WANKE, 2013). Assim, despontam como necessidades atuais a melhoria e a otimização dos terminais aeroportuários brasileiros, em especial em áreas críticas, como a de gestão de ativos.

Segundo Ouertani et al. (2008), a gestão de ativos pode ser definida como o processo de organização, planejamento e controle da aquisição, uso, cuidados e disposição dos ativos para otimizar seus resultados e minimizar custos e riscos durante seu ciclo de vida. Na mesma linha, a norma brasileira sobre o assunto sugere que a gestão de ativos é baseada em quatro fundamentos: (1) valor proporcionado pelo ativo, (2) alinhamento com os objetivos organizacionais, (3) liderança e comprometimento e (4) garantia de cumprimento dos propósitos dos ativos (ABNT, 2014). Tendo em vista estes fundamentos, as principais técnicas de gestão de ativos aplicadas pelas organizações são no âmbito da manutenção (SCHUMAN; BRENT, 2005).

Dentro deste contexto, destaca-se a previsão da vida útil de ativos como uma atividade essencial, porque a sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção e substituição,

reduzindo as perdas decorrentes de manutenções não planejadas, além de possibilitar uma maior extensão da vida útil dos ativos e redução dos custos do ciclo de vida dos ativos (WANG, 2002; SCANFF et al., 2007; PECHT, 2008; ELWANY et al., 2011). Portanto, a eficiência das decisões e planos de manutenção e substituição depende da acurácia da identificação da vida útil dos ativos (SI et al., 2013). Entretanto, há diferentes conceitos de vida útil, como a vida útil técnica e a vida útil econômica.

A vida útil técnica de um ativo é determinada pelo momento quando a sua capacidade de fornecer o serviço pelo qual é responsável expira, ou então quando há o colapso de suas características funcionais (RAINERI, 2010). Vários autores destacam a importância de estimar a vida útil restante, ou RUL (*Remaining Useful Life*), para fins de planejamento da manutenção, previsão de sobressalentes, eficiência operacional e para a tomada de decisão nas organizações (JARDINE et al., 2006; WANG; ZHANG, 2008; KIM; KUO, 2009; WANG et al., 2009; SI et al., 2011).

Já a vida econômica de ativos é um conceito mais amplo e pode abranger elementos técnicos, contábeis e, principalmente, econômicos. Ela é definida pelo momento em que a substituição do ativo é economicamente recomendável a fim de minimizar os custos totais envolvidos (HARTMAN, 2004; NODEM et al., 2009; RICHARDSON et al., 2013).

Para ambos os conceitos de vida útil, estudos de revisão da literatura destacam uma variedade de modelos que consideram diversos elementos, com suas vantagens e desvantagens. No entanto, há uma preocupação a respeito da praticidade dos modelos propostos. Assim, diversos autores evidenciam a necessidade de propor e aplicar modelos de identificação de vida útil e substituição de ativos com o objetivo de resolver problemas reais (SIKORSKA et al., 2011; HARTMAN; TAN, 2014; AN et al., 2015).

Contudo, percebe-se que a literatura aborda os assuntos supracitados de forma separada e, portanto, não costuma integrá-los. Desta forma, surge como oportunidade estudá-los em conjunto e de forma estruturada, possivelmente otimizando os resultados.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo propor e aplicar uma sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário, apoiado em modelos adequados às especificidades do setor através do estudo das suas variáveis. Essa sistemática pode contribuir para a melhor gestão de ativos aeroportuários, cuja otimização conduz a melhores planos de manutenção, eficiência operacional e auxilia na tomada de decisão.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos têm por função explicitar os detalhes e os desdobramentos do objetivo geral (SILVA; MENEZES, 2005). Os objetivos específicos deste trabalho são:

- I) Identificar os ativos mais importantes no setor aeroportuário;
- II) Identificar os principais elementos que influenciam na vida útil de ativos em terminais aeroportuários;
- III) Aplicar, adaptando-o caso necessário, um modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em terminais aeroportuários;
- IV) Aplicar, adaptando-o caso necessário um modelo para a substituição econômica de ativos em terminais aeroportuários.

1.3 Justificativa

As organizações enfrentam um cenário competitivo, com tendência de apresentar diversas mudanças estruturais e exaustão de técnicas tradicionais para redução de custos, no qual devem apresentar eficiência operacional. Assim, autores destacam a importância da gestão de ativos a fim de melhorar a sua produtividade (SCHUMAN; BRENT, 2005; GIBBONS et al., 2012; MITCHELL, 2012).

As normas britânica (BSI, 2008) e brasileira (ABNT, 2014) destacam diversos benefícios em adotar a gestão de ativos nas organizações. Entre eles, destacam-se: melhoria de performance operacional, melhoria na organização e controle da produção e da manutenção, planejamento de longo prazo da vida dos ativos e, principalmente, otimização do retorno esperado dos ativos através da criação de valor para as organizações.

Dentro deste contexto, conforme mencionado nas subseções anteriores, destaca-se a previsão da vida útil de ativos como uma atividade que pode subsidiar melhores planos de manutenção e substituição, além de possibilitar uma maior extensão da vida útil dos ativos (WANG, 2002; SCANFF et al., 2007; PECHT, 2008; ELWANY et al., 2011). Sendo assim, a eficiência das decisões e planos de manutenção e substituição depende da acurácia da identificação da vida útil dos ativos (SI et al., 2013).

Ademais, percebe-se uma oportunidade nesta área no setor aeroportuário brasileiro, uma vez que vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos (WANKE, 2013). Assim, justifica-se este trabalho pela

necessidade atual de melhoria e otimização dos terminais aeroportuários brasileiros, que podem ser beneficiados através da adequada gestão de ativos e previsão da vida útil de ativos.

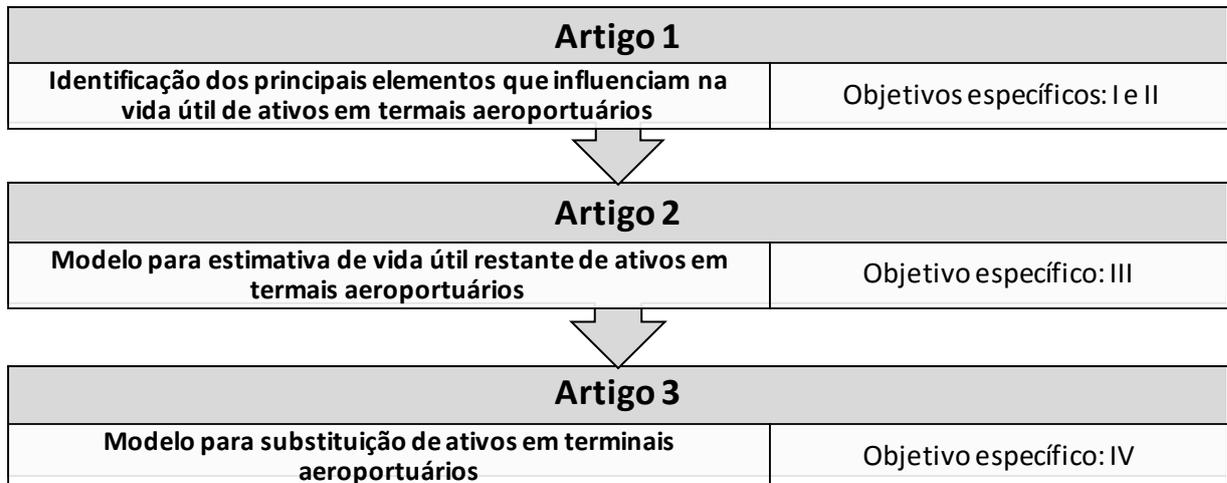
1.4 Estrutura da dissertação

A pesquisa apresentada nesta dissertação une métodos qualitativos (artigos 1 e 2) e quantitativos (artigos 2 e 3). Os métodos qualitativos permitem avaliar e incorporar o conhecimento adquirido a métodos quantitativos, que se baseiam em análises numéricas e técnicas de cálculo (GIL, 2010; TOLEDO-LÓPEZ et al., 2012). Ademais, esta dissertação tem objetivos explicativos, uma vez que busca analisar e interpretar informações a fim de identificar suas causas e estabelecer modelos apropriados para a gestão de ativos. Quanto a natureza, trata-se de pesquisa aplicada, já que considera o conhecimento disponível a fim de resolver problemas específicos, no caso aqueles associados à manutenção e substituição de ativos em aeroportos (DE MARCHI, 2005; CERVO et al., 2012).

Estruturalmente, este trabalho está dividido em três artigos, conforme Figura 1.1. Em cada um deles é realizado um estudo aplicado, cujo conjunto compõe uma pesquisa-ação, pois, conforme Mello et al. (2012), envolve a produção de conhecimento e a resolução de problemas práticos em uma organização através da participação ativa do pesquisador na pesquisa. Segue uma breve descrição dos objetivos de cada artigo:

- ARTIGO I (Identificação dos principais elementos que influenciam na vida útil de ativos em terminais aeroportuários): Revisão sobre ativos, gestão de ativos e elementos que são comumente considerados em modelos relacionados à gestão de ativos. Na sequência, identificação dos ativos mais importantes e dos elementos que influenciam na vida útil de ativos no setor aeroportuário.
- ARTIGO II (Modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em terminais aeroportuários): Levantamento dos principais modelos para estimativa de vida útil restante de ativos, para posterior adaptação de um modelo a fim de torná-lo mais adequado ao setor aeroportuário. A seguir, aplicação do modelo adaptado em um aeroporto brasileiro de grande porte e discussão dos resultados encontrados.
- ARTIGO III (Modelo para substituição de ativos em terminais aeroportuários): Revisão dos principais modelos para avaliação da substituição econômica de ativos presentes na literatura, para posterior adaptação de um modelo a fim de torna-lo mais adequado ao setor aeroportuário. Após, aplicação do modelo adaptado em um aeroporto brasileiro de grande porte e discussão dos resultados encontrados.

Figura 1.1 - Etapas da dissertação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Por fim, é feita uma discussão geral e as considerações finais do trabalho são apresentadas, reunindo os achados dos três artigos, individualmente e em conjunto, considerando implicações práticas e acadêmicas.

1.5 Delimitações da pesquisa

No que se refere às delimitações desta dissertação, cabe destacar que o termo ‘ativo’ é amplo e pode ter diversos significados, entretanto neste trabalho é utilizado para se referir a ativos tangíveis. Portanto, o significado de ‘ativo’ coincide com aquele apresentado por Ouertani et al. (2008) que definem ativos como elementos físicos de valor significativo para a organização, que fornecem e demandam serviços desta organização.

Além disso, este trabalho tem como enfoque principal o setor aeroportuário, portanto a construção dos modelos considera as especificidades deste setor. Entretanto a sua aplicação é perfeitamente plausível em ambientes diferentes, recomendando-se que o estudo seja aprofundado de modo a identificar se a gestão de ativos se assemelha a encontrada em terminais aeroportuários.

Por fim, deve-se ter em mente que os modelos foram construídos e aplicados em apenas um aeroporto brasileiro. Apesar deste aeroporto ser de grande porte e ser administrado pela empresa pública que controla vários outros aeroportos brasileiros, sugere-se a validação dos modelos em outros terminais aeroportuários do Brasil ou de outros países. Isso irá permitir uma avaliação mais completa do modelo proposto através de aplicações em

aeroportos de diferentes portes e inseridos em diferentes ambientes e culturas. Atenta-se ainda, como limitação, que a base de dados de manutenção utilizada nos modelos, disponível no aeroporto em estudo, é rudimentar, sendo necessária cautela ao analisar os resultados apresentados.

II. ARTIGO 1: Identificação dos principais elementos que influenciam na vida útil de ativos em terminais aeroportuários

Resumo: Estudos indicam que vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão gerenciando seus ativos de forma eficiente. Neste cenário, a identificação da vida útil de ativos surge como um tema importante a ser discutido neste ambiente, já que sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção e substituição tecnológica, contribuindo na gestão de serviços aeroportuários. No entanto, os atuais modelos de previsão de vida útil não convergem em relação aos elementos que devem ser considerados, sendo estes particulares ao ambiente em estudo. Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é identificar elementos que influenciam na vida útil dos principais ativos em terminais aeroportuários. Para tal, foi feito um estudo aplicado no principal aeroporto de uma capital do Brasil através de análise de dados históricos e entrevista com especialistas. O estudo concluiu que a maioria dos ativos é influenciada por elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional, enquanto poucos têm influência da obsolescência tecnológica. Como principal contribuição foi possível definir os principais elementos a serem considerados em um modelo de identificação da vida útil de ativos específico para o setor aeroportuário.

Palavras-chave: Gestão de ativos, Vida útil de ativos, Setor aeroportuário, Aeroportos.

1. Introdução

Nos últimos anos, percebe-se um crescimento do transporte aéreo mundial e, em especial, o Brasil destaca-se apresentando uma das maiores taxas (IATA, 2014; INFRAERO, 2014). Sendo os terminais aeroportuários responsáveis por viabilizar o fluxo de passageiros, bagagens e cargas, eles constituem sistemas produtivos complexos (MOURA NETO, 2013). Estudos indicam que a infraestrutura aeroportuária brasileira não acompanhou o aumento da demanda dos últimos anos, seja em termos de capacidade ou qualidade dos serviços prestados (MCKINSEY, 2010; ANAC, 2013). Desta forma, desponta como necessidade atual a melhoria e otimização dos terminais aeroportuários brasileiros.

Segundo Wanke (2013), vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos. Sendo assim, a gestão de ativos surge como um tema importante a ser discutido neste ambiente. El-Akruti et al. (2013) definem a gestão de ativos como o planejamento e controle das atividades relacionadas aos

ativos, buscando atingir as estratégias da organização. Mais amplamente, Ouertani et al. (2008) descrevem a gestão de ativos como o processo de organização, planejamento e controle da aquisição, uso, cuidados e disposição dos ativos para otimizar seus resultados e minimizar custos e riscos durante todo seu ciclo de vida. Deste modo, a organização obtém valor a partir dos ativos no alcance de seus objetivos, além de vários outros benefícios como: melhoria de desempenho financeiro, decisões com maior informação sobre investimentos em ativos, risco gerenciado, melhorias nas saídas e na eficiência operacional (ABNT, 2014). Por conseguinte, torna-se clara a importância de estudar e implementar a gestão de ativos dentro das organizações.

Segundo Schuman e Brent (2005), por causa da exaustão das técnicas tradicionais para redução de custos, as empresas necessitam buscar melhorias apoiadas no uso de métodos mais complexos a fim de aumentar a produtividade de seus ativos. Neste cenário, a identificação da vida útil de ativos é de suma importância porque a sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção, reduzindo as manutenções não planejadas e otimizando a lucratividade das companhias (SCANFF et al., 2007). No entanto, os atuais modelos para identificação da vida útil de ativos não convergem para a utilização dos mesmos elementos, sendo estes particulares do ambiente em estudo.

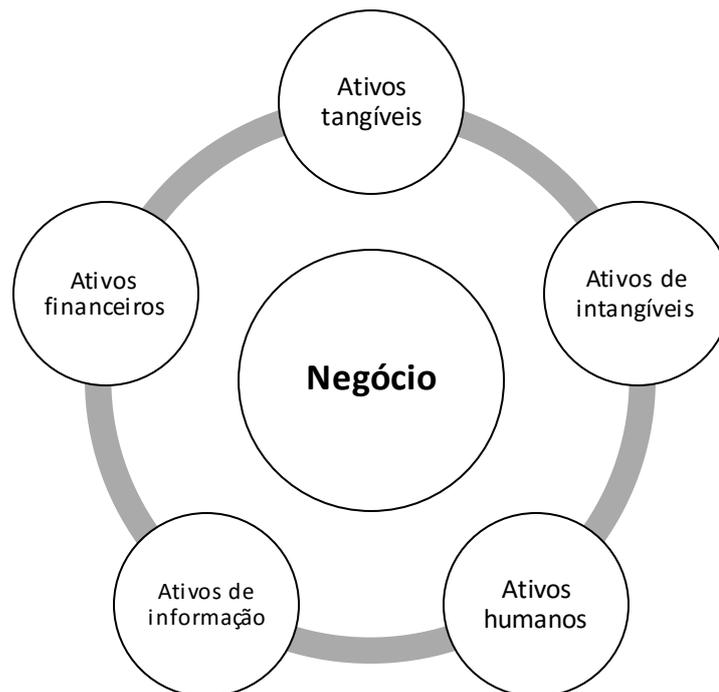
Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é identificar os principais elementos que influenciam na vida útil dos principais ativos em terminais aeroportuários, realizando um estudo aplicado em um aeroporto brasileiro. Essa identificação é feita considerando aspectos referentes à vida útil técnica, contábil e econômica. A principal contribuição deste artigo é avaliar estes elementos em um setor que necessita da melhor utilização de ativos para atingir níveis adequados de eficiência operacional, em especial no Brasil, e observa-se a falta de estudos mais aprofundados que possam subsidiar a gestão de ativos (WANKE, 2013). Como resultados deste estudo, é esperado obter a identificação dos principais elementos que influenciam na vida útil ativos em terminais aeroportuários e suas relações, contribuindo com informações importantes para a gestão de serviços aeroportuários.

Este artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a gestão de ativos, destacando as principais questões sobre a vida útil de ativos. A seguir, são apresentados os procedimentos metodológicos, isto é, um estudo aplicado com análise de dados históricos e entrevista com especialistas. Após a aplicação do método, são analisados e discutidos os resultados obtidos, incluindo a comparação com outras pesquisas. Enfim, nas conclusões, são destacados os pontos chave e são indicadas recomendações para trabalhos futuros.

2. Vida útil de ativos

O termo ‘ativo’ pode apresentar diferentes significados, dependendo da perspectiva do estudo. Por exemplo, a norma brasileira ABNT (2014) define amplamente ‘ativo’ como item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Já a norma britânica BSI (2008) salienta que existem cinco categorias de ativos: (1) ativos tangíveis, (2) ativos intangíveis, (3) ativos humanos, (4) ativos de informação e (5) ativos financeiros. Máquinas, equipamentos e infraestrutura são exemplos da primeira categoria. Reputação, moral e marca são considerados ativos intangíveis. Os recursos humanos compõem a terceira categoria, enquanto o conhecimento organizacional compõe a quarta. Por fim, os investimentos financeiros são a quinta categoria de ativos. Os ativos de um negócio estão relacionados entre si, conforme mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1 - Categorias de ativos.



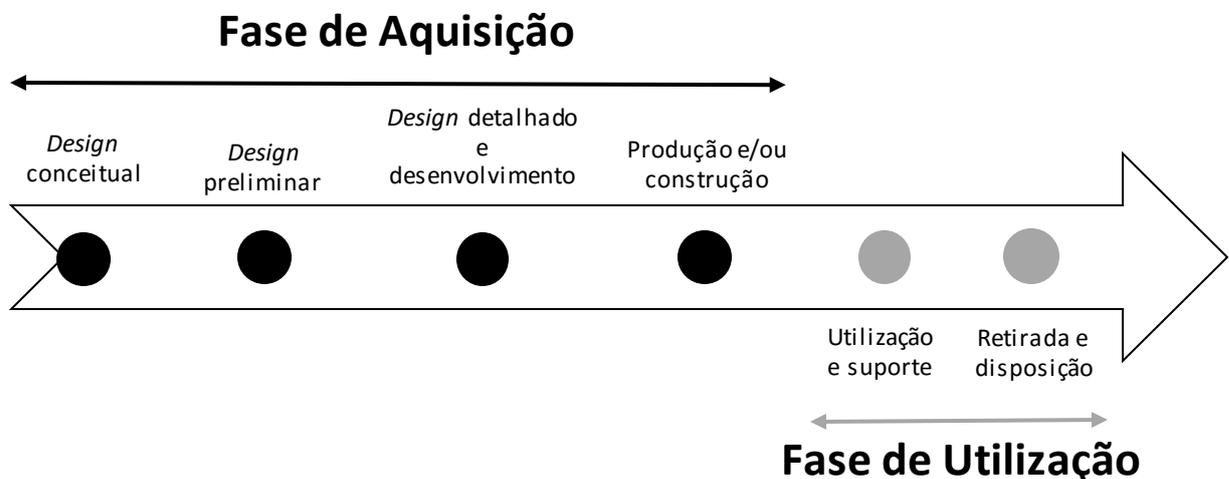
Fonte: Adaptado de BSI, 2008.

No entanto, estudos focam em uma ou mais categorias, dependendo do seu objetivo. Este trabalho busca a identificação da vida útil de ativos tangíveis. Portanto, o significado de ativos para este estudo coincide com a de Ouertani et al. (2008) que definem ativos como elementos físicos de valor significativo para a organização, que fornecem e demandam serviços desta organização.

A fim de maximizar o retorno de seus ativos, as companhias devem realizar a gestão de ativos. Segundo a ABNT (2014), a gestão de ativos é baseada em quatro fundamentos: (1) valor proporcionado pelo ativo, (2) alinhamento com os objetivos organizacionais, (3) liderança e comprometimento e (4) garantia de cumprimento dos propósitos dos ativos. A partir disso, a gestão de ativos pode ser definida como o processo de organização, planejamento e controle da aquisição, uso, cuidados e disposição dos ativos para otimizar seus resultados e minimizar custos e riscos durante seu ciclo de vida (OUERTANI et al., 2008).

Em geral, o ciclo de vida dos ativos pode ser dividido em fase de aquisição/construção e a fase de utilização, conforme a Figura 2.2. Mesmo sendo durante a fase de aquisição que vários fatores importantes são decididos, como características técnicas do ativo, esta não é comumente vista pela organização que posteriormente utilizará o ativo. Sendo assim, atualmente a gestão de ativos se concentra na segunda fase. Durante a utilização, há uma forte necessidade de suporte, ou manutenção, para o ativo, até o final da sua vida útil. Consequentemente, as principais técnicas aplicadas pelas organizações são de manutenção (SCHUMAN; BRENT, 2005).

Figura 2.2 - Fases do ciclo de vida.



Fonte: Adaptado de Blanchard e Fabrycky, 2008.

Dentro deste contexto, a previsão da vida útil de ativos é uma atividade importante, porque a sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção, reduzindo as manutenções não planejadas e seus custos extra (SCANFF et al., 2007), possibilitando uma maior extensão da vida útil dos ativos e reduzindo os custos do ciclo de vida dos ativos (WANG, 2002;

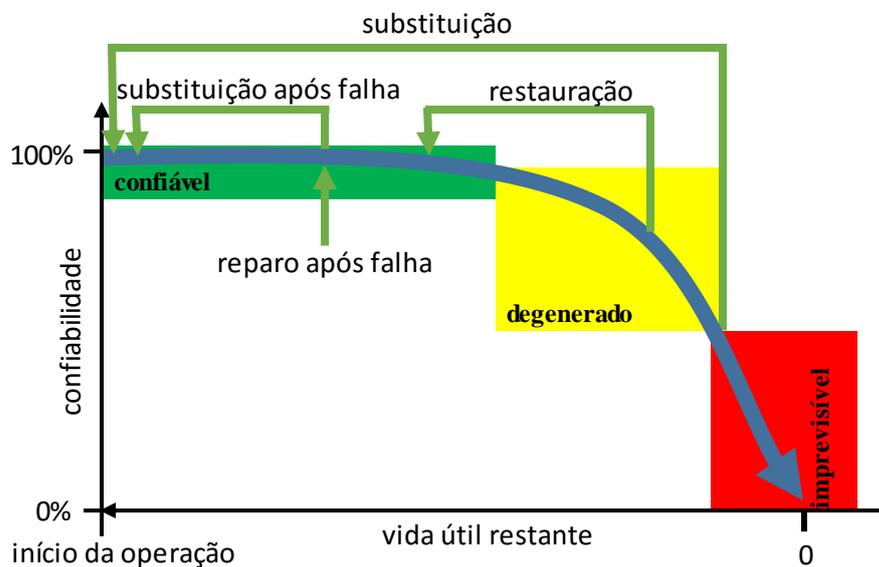
PECHT, 2008; ELWANY et al., 2011). Por conseguinte, a eficiência das decisões e planos de manutenção depende da acurácia da identificação da vida útil dos ativos (SI et al., 2013a).

Entretanto há diferentes conceitos de vida útil, variando de acordo com a perspectiva adotada. Os principais envolvem a vida útil técnica, de acordo com a perspectiva da engenharia, a vida útil contábil, com a perspectiva de depreciação, e a vida útil econômica.

2.1 Vida útil técnica

A vida útil técnica de um ativo é determinada pelo momento quando a sua capacidade de fornecer o serviço pelo qual é responsável expira, ou então quando há o colapso de suas características funcionais (RAINERI, 2010). Expandindo este conceito, Schneider et al. (2006) sugerem que os ativos atravessam, conforme Figura 2.3, três condições durante sua vida: (1) confiável, (2) degenerado e (3) imprevisível. Os autores também comentam que, para cada condição, deve-se ter uma estratégia para a manutenção, considerando diferentes taxa de falha e ações, visando a extensão da vida útil técnica dos ativos.

Figura 2.3 - Condições do ativo durante sua vida útil técnica.



Fonte: Adaptado de Schneider et al., 2006.

Um termo frequentemente utilizado na literatura internacional, associado à vida útil técnica, é *Remaining Useful Life* (RUL), ou vida útil restante. Segundo Son et al. (2013), RUL pode ser definida ou estimada em qualquer ponto da vida útil de um ativo, no entanto o seu

resultado é sensível ao método utilizado e à quantidade de dados disponível para a análise. Além disso, vários autores destacam a importância de conhecer a RUL para fins de planejamento da manutenção, em especial a manutenção baseada em condição (*Condition-Based Maintenance* ou CBM), previsão de sobressalentes, eficiência operacional e para a tomada de decisão nas organizações (JARDINE et al., 2006; WANG; ZHANG, 2008; KIM; KUO, 2009; WANG et al., 2009; SI et al., 2011).

Visto que a determinação da RUL é crucial para uma série de atividades, ela deve ser estimada com acurácia. Portanto, pode-se encontrar na literatura vários trabalhos que abordam este assunto. Para a estimativa de RUL, sinais de degradação e deterioração de ativos foram utilizados com métodos estatísticos (SI et al., 2013b; SON et al., 2013). Com outra perspectiva, técnicas computacionais também foram empregadas para este fim, como redes neurais (TIAN et al., 2010) e redes Bayesianas (TOBON-MEJIA et al., 2012). Esses métodos vêm sendo aplicados em diversos ativos, como em rolamentos (MEDJAHHER et al., 2012), engrenagens (ZHAO et al., 2013) e peças de helicópteros (CHEN et al., 2012).

2.2 Vida útil contábil

De acordo com Raineri (2010), a vida útil contábil é o período de tempo no qual é esperado que o ativo preste serviços para a organização e o seu conceito é utilizado para determinar o prazo para a depreciação de ativos. No entanto, segundo Jackson et al. (2009), a depreciação não mede deterioração nem mudança de valor de ativos. De fato, livros de contabilidade afirmam que a depreciação é um método de alocação de custos, e não de valorização de ativos (KIESO et al., 2007), além de aconselhar a desconsideração de cadernetas contábeis durante a tomada de decisão (HILTON, 2002; GARRISON; NOREEN, 2003; HORNGREN et al., 2005).

Mesmo assim, autores apontam relações entre a taxa de depreciação utilizada pela organização e os seus investimentos. Segundo Adkins e Paxson (2013a), há consenso a respeito do fato que taxas aceleradas de depreciação incentivam investimentos. Jackson et al. (2009) vão além e levantam alguns motivos que explicam estes incentivos: ativos depreciados aceleradamente têm menos chance de vencer o seu substituto na valoração; a percepção de que quanto menor o seu valor contábil restante, menor será o seu serviço/retorno para a organização; a ideia de que quanto maior o seu valor contábil restante, maior seria o desperdício ao substituí-lo.

Portanto, para as organizações é importante considerar a vida útil contábil dos seus ativos com o objetivo de planejar o lançamento contábil de despesas e depreciação dos ativos para coincidir com suas receitas e ter certeza que os valores dos ativos estejam corretamente registrados nos demonstrativos financeiros (RAINERI, 2010). Desta forma, percebe-se que a vida útil contábil não tem impacto na vida útil técnica dos ativos, entretanto pode influenciar nas decisões referentes a vida útil econômica, seja através de incentivos fiscais ou mudança de perspectiva dos tomadores de decisão nas organizações.

2.3 Vida útil econômica

Por fim, a vida útil econômica de ativos, também conhecida como *economic life* (EL) ou *economic service life* (ESL), é um conceito mais amplo. Ela é definida pelo momento em que se deve substituir o ativo em questão a fim de minimizar os custos totais envolvidos, comumente tratados como *equivalent annual cost* (EAC) ou *life-cycle cost* (LCC) (YATSENKO; HRITONENKO, 2011; RICHARDSON et al., 2013). Portanto, ela está intrinsecamente ligada à ideia de substituição de ativos e de tomada de decisão entre alternativas, ativo antigo contra ativo novo.

Desta forma, modelos consideram diferentes elementos para realizar a comparação entre as opções: custos de operação e manutenção; valor residual do ativo antigo; valor do investimento, ou preço de aquisição, para o ativo novo; vida útil técnica; taxa de utilização operacional; método de depreciação utilizado; taxa de imposto; riscos; incerteza de mercado, custos e investimentos; obsolescência tecnológica (HARTMAN, 2004; YATSENKO; HRITONENKO, 2011; ZAMBUJAL-OLIVEIRA; DUQUE, 2011; ADKINS; PAXSON, 2013b; RICHARDSON et al., 2013). Eles podem ser estudados juntos, enfrentando o problema de quantificar monetariamente os elementos subjetivos, ou separadamente, em diferentes etapas.

As abordagens tradicionais para a identificação da vida útil econômica de ativos – como fluxo de caixa descontado (*discounted-cash-flow*, ou DCF), valor presente (*present worth*, ou PW) ou valor presente líquido (*net present value*, ou NPV) – apresentam certas limitações, podendo-se destacar o horizonte de planejamento, a não incorporação de incertezas e a não incorporação de fortes mudanças tecnológicas no mercado (HARTMAN; MURPHY, 2006; YATSENKO; HRITONENKO, 2011; RICHARDSON et al., 2013). Por conseguinte, pode-se perceber que a vida útil econômica é o conceito mais amplo de vida útil de ativos, podendo considerar as vidas úteis técnica e contábil na sua identificação. No

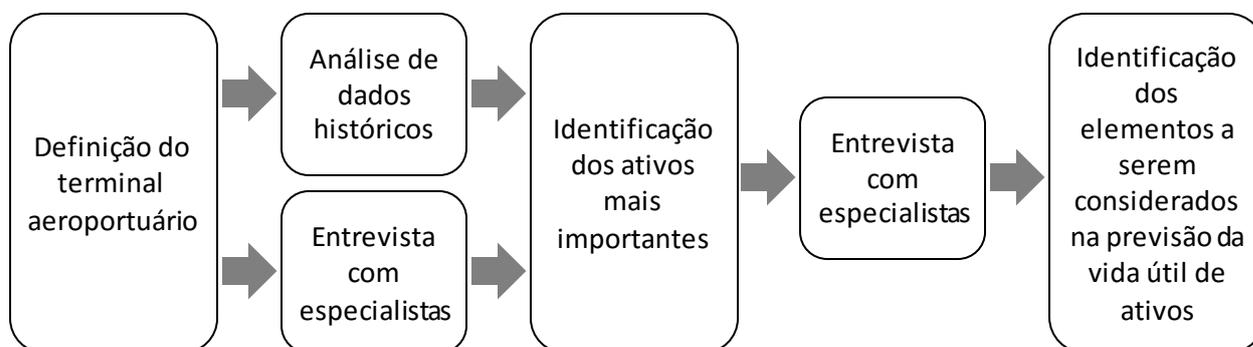
entanto, não há consenso na literatura sobre o modelo que deve ser usado na apreciação da vida útil econômica, uma vez que os elementos a serem considerados dependem do equipamento que está sendo considerado, setor industrial, mercado e ambiente onde a empresa está inserida.

3. Procedimentos metodológicos

Com o objetivo de identificar os elementos que influenciam na vida útil dos principais ativos em terminais aeroportuários, é realizado um estudo aplicado em um aeroporto brasileiro de grande porte, localizado em uma das capitais nacionais, que está sob a gestão da empresa pública brasileira. Esse aeroporto foi escolhido por ser um dos principais terminais em movimentação de passageiros do Brasil e estar entre os dez maiores aeroportos brasileiros em movimentação de cargas (INFRAERO, 2014).

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, uma vez que se apoia na opinião de especialistas, com objetivos exploratórios, pois estuda o segmento aeroportuário onde o número de trabalhos na literatura abordando a vida útil de ativos é escasso, e descritivos, pois consolida e discute uma lista de elementos que devem ser considerados no tratamento do tema (YIN, 2010). O método de trabalho proposto está apresentado de forma resumida na Figura 2.4. Ele é composto, basicamente, de cinco etapas: (1) definição do terminal aeroportuário onde será realizado o estudo aplicado, (2a) análise de dados históricos e (2b) entrevista com especialistas, (3) identificação dos ativos mais importantes, (4) entrevista com especialistas e, por fim, (5) identificação dos elementos a serem considerados na previsão da vida útil de ativos.

Figura 2.4 - Método de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

A primeira etapa já foi comentada no início desta seção. O terminal aeroportuário escolhido para a realização do estudo aplicado é um aeroporto de grande porte, localizado em uma capital nacional. Após esta definição, pode-se avançar para a identificação dos ativos mais importantes do aeroporto em questão através da análise de dados históricos e entrevista com especialistas. As informações reunidas traduzem dois critérios: relevância monetária e criticidade operacional. O primeiro critério se refere ao investimento necessário para a aquisição do bem, enquanto o segundo critério indica o impacto que a falta do ativo pode provocar na operação do aeroporto. Para tal, a entrevista aberta, conduzida junto ao coordenador de suporte e avaliação da manutenção da empresa gestora do aeroporto, foi baseada na seguinte questão:

- Levando em consideração investimento envolvido e criticidade operacional, quais são os ativos mais importantes para o aeroporto?

Em seguida, na etapa 4, é novamente feita uma entrevista com especialistas. Nesse momento, a lista dos ativos mais importantes para o aeroporto já está disponível e podem ser investigados os elementos que influenciam na vida útil desses ativos. Vale ressaltar que, conforme o ativo, os elementos mais importantes na definição da vida útil podem ser diferentes. Esta segunda entrevista foi conduzida junto aos cinco coordenadores de manutenção, responsáveis pela gestão dos ativos (técnico e gerencial) do terminal aeroportuário, contemplando perguntas abertas, conforme detalhado a seguir:

- O aeroporto tem um sistema de gestão de ativos?
- Como é o processo de substituição de ativos?
- Quais os elementos levados em consideração no processo de substituição de ativos?
- Em sua opinião, quais os elementos deveriam ser considerados no processo de substituição dos ativos listados a seguir (completar a segunda coluna do Quadro 2.1):

Quadro 2.1 - Matriz de ativos mais importantes vs. Elementos a serem considerados na decisão de substituição dos mesmos.

ATIVOS MAIS IMPORTANTES	ELEMENTOS A SEREM CONSIDERADOS
Ativo 1	
Ativo 2	
:	:
Ativo N	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Por último, considerando a análise dos dados históricos e entrevista, é possível identificar os elementos a serem considerados na previsão da vida útil de ativos, agrupando-os de acordo com seus elementos em comum e incluindo a avaliação do efeito de cada elemento de acordo com a literatura.

4. Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados deste estudo. A sua organização segue conforme proposto nos procedimentos metodológicos: identificação dos ativos mais importantes e identificação dos elementos a serem considerados na previsão da vida útil de ativos.

4.1 Identificação dos ativos mais importantes

O sistema de manutenção responsável pelo terminal aeroportuário em estudo apresenta mais de 50 subsistemas, organizados em cinco áreas de interesse (segurança; operações; comercial; navegação aérea; suporte e avaliação), cada um deles com diversos ativos. Por causa disso, a identificação dos ativos mais importantes do terminal aeroportuário em questão é fundamental para que os esforços realizados possam concentrar-se nos itens que proporcionam maior impacto. Esta priorização foi realizada considerando dois principais atributos: relevância monetária e criticidade operacional. O primeiro critério refere-se ao investimento necessário para a aquisição do bem, enquanto o segundo critério indica o impacto que a falta do ativo pode provocar na operação do aeroporto.

Neste sentido, foi entrevistado o coordenador de suporte e avaliação da manutenção da empresa gestora, responsável pela gestão e avaliação dos demais subsistemas. A entrevista ocorreu no próprio aeroporto, teve duração de aproximadamente duas horas e foi baseada na seguinte questão: Levando em consideração investimento envolvido e criticidade operacional, quais são os ativos mais importantes para o aeroporto?

Ao início da conversa, o entrevistado explicou que, de acordo com diretrizes da empresa gestora, são considerados críticos os subsistemas que afetam diretamente o passageiro, ou seja, aqueles que são essenciais para o atendimento ao cliente. Assim sendo, foram identificados 15 subsistemas críticos para o terminal em questão. Através deste corte, o número de ativos já é reduzido consideravelmente, como pode ser visto no Quadro 2.2, organizados pela Área de interesse. Atenta-se que em alguns subsistemas não há o número de equipamentos, pois eles são considerados conjuntos de equipamentos.

Quadro 2.2 - Subsistemas críticos.

SUBSISTEMA	ÁREA DE INTERESSE	QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS
Inspeção de bagagens e passageiros	Segurança	46
Veículo de combate a incêndios	Segurança	10
Auxílios visuais	Navegação aérea	2
Estação meteorológica	Navegação aérea	-
Radiocomunicação (VHF AM)	Navegação aérea	-
Ar condicionado central	Comercial	75
Refrigeração	Comercial	5
Equipamentos de transporte de carga	Comercial	14
Transelevadores	Comercial	-
Unidades de energia elétrica de emergência	Comercial	39
Elevadores	Operações	10
Escadas de transporte	Operações	10
Esteiras de transporte	Operações	24
Pavimentos de pistas de pouso e decolagens	Operações	1
Pontes de embarque / desembarque	Operações	10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Posteriormente, foi necessário detalhar cada um destes subsistemas para que fossem encontrados os ativos mais importantes. Para isso, os ativos foram priorizados pelo entrevistado quanto ao seu valor monetário, de acordo com dados históricos de aquisições do aeroporto, retirando os ativos com valor abaixo de um nível estabelecido. Ademais, uma generalização foi feita porque o aeroporto tem vários equipamentos iguais ou com características semelhantes que, para o objetivo deste trabalho, podem ser simplificados e agrupados para a análise (por exemplo, todas as Empilhadeiras GLP foram agrupadas). Finalmente, o Quadro 2.3 contempla a lista dos ativos mais importantes, desta vez organizados por ordem alfabética do subsistema.

Quadro 2.3 - Ativos mais importantes.

SUBSISTEMA	ATIVO
Ar condicionado central	Ar condicionado (Chiller, Fan Coil, Self Contained, Split)
	Exaustor
	Torre de resfriamento
	Bomba de água
Auxílios Visuais	Auxílios visuais elétricos da pista (Fonte, transformadores e cabos)
Elevadores	Elevador hidráulico
Escadas de transporte	Escada rolante
Esteiras de transporte	Carrossel de bagagens
Equipamentos de transporte de carga	Empilhadeira GLP
	Empilhadeira elétrica
	Trator
Inspeção de bagagens e passageiros	Pórtico detector de metal
	Raio-X bagagem de mão
Pavimentos de pistas de pouso e decolagens	Pista de pousos e decolagens
Pontes de embarque / desembarque	Pontes de embarque / desembarque (<i>Fingers</i>)
Refrigeração	Câmara fria
Unidades de energia elétrica de emergência	Gerador fixo
Veículo de combate a incêndios	Carro contra incêndio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

4.2 Identificação dos elementos a serem considerados na previsão da vida útil de ativos

A partir da identificação dos ativos mais importantes para o aeroporto em estudo, foi possível dar sequência ao trabalho e identificar os elementos a serem considerados na previsão da vida útil. A análise individual dos ativos é fundamental, já que eles não necessariamente são influenciados pelos mesmos elementos.

Desta forma, foi realizada uma entrevista com especialistas envolvidos com o processo de substituição de ativos da empresa gestora do aeroporto. Os especialistas indicados são os coordenadores da manutenção das cinco áreas de interesse supracitadas (segurança; operações; comercial; navegação aérea; suporte e avaliação). As entrevistas individuais ocorreram no próprio aeroporto e tiveram duração de aproximadamente 1 hora cada.

As primeiras questões abordadas foram mais amplas, para obter informações sobre a gestão dos ativos aeroportuários. A primeira pergunta foi: O aeroporto tem um sistema de

gestão de ativos? A resposta dos especialistas foi unânime: Não. Explicou-se que há esforços de algumas partes da organização, sobretudo das áreas que são responsáveis pela manutenção, no entanto não é um sistema de gestão de ativos.

Aprofundando o assunto, foi apresentada a segunda pergunta: Como é o processo de substituição de ativos? Neste ponto, os especialistas concordaram que ele não é padronizado. Basicamente, o processo de substituição inicia com a constatação de fim da vida útil de algum ativo, seja ela vislumbrada pela equipe de operação, manutenção ou engenharia (principais *stakeholders* deste processo). Então, esta necessidade é formalizada para que a empresa gestora, através de licitação, possa realizar a compra. No entanto, a aquisição também pode ser feita em nível nacional, para todos os aeroportos do Brasil, a medida que a matriz nacional da empresa gestora percebe uma demanda em comum de alguns terminais aeroportuários. E mais, este processo é formalizado, porém não há uma padronização de como comprovar a necessidade de substituição de algum ativo. Finalmente, quando o novo ativo é alocado para o aeroporto, acontece a venda, doação ou disposição do ativo antigo.

Na sequência das entrevistas, foi questionado: Quais os elementos levados em consideração no processo de substituição de ativos? As respostas dos especialistas convergiram para elementos técnicos/operacionais, como confiabilidade e disponibilidade dos ativos. Também foi salientado que estes elementos acarretam em maiores custos de manutenção, sendo possível identificar e justificar a necessidade de substituição de ativos através desta perspectiva econômica. O foco nestes elementos técnicos/operacionais é consequência do atual processo de substituição, que é geralmente conduzido por áreas técnicas/operacionais.

Por fim, cada coordenador respondeu a última pergunta referente aos ativos da sua área de interesse: Em sua opinião, quais os elementos deveriam ser considerados no processo de substituição dos ativos mais importantes para o aeroporto? A partir da lista dos ativos mais importantes, organizados conforme consta no Quadro 2.1, foi possível identificar os principais elementos que influenciam na vida útil dos ativos em questão, através da experiência e dos conhecimentos dos especialistas na área, além do histórico de dados de substituições da empresa. Estes elementos constam no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Principais elementos que influenciam na vida útil de ativos.

SUBSISTEMA	ATIVO	ELEMENTOS
Ar condicionado central	Ar condicionado (Chiller, Fan Coil, Self-Contained, Split)	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
	Exaustor	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
	Torre de resfriamento	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
	Bomba de água	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Auxílios Visuais	Auxílios visuais elétricos da pista (Fonte, transformadores e cabos)	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Elevadores	Elevador hidráulico	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Escadas de transporte	Escada rolante	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Esteiras de transporte	Carrossel de bagagens	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Equipamentos de transporte de carga	Empilhadeira GLP	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
	Empilhadeira elétrica	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
	Trator	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Inspeção de bagagens e passageiros	Pórtico detector de metal	Obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças
	Raio-X bagagem de mão	Obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças
Pavimentos de pistas de pouso e decolagens	Pista de pousos e decolagens	Elementos técnicos
Pontes de embarque / desembarque	Pontes de embarque / desembarque (<i>Fingers</i>)	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Refrigeração	Câmara fria	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Unidades de energia elétrica de emergência	Gerador fixo	Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional
Veículo de combate a incêndios	Carro contra incêndio	Elementos técnicos e obsolescência tecnológica

Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Pode-se observar que a maioria dos ativos é influenciada por três elementos: Elementos técnicos, custo de manutenção e custo operacional. Estes ativos são, em geral, equipamentos que não apresentam novidades tecnológicas ao longo do tempo, de modo que não têm sido adicionadas novas funções ao ativo. Alguns exemplos são empilhadeiras, esteiras, escadas rolantes e geradores. Portanto, o que resta como parâmetro para identificar a sua vida útil são elementos técnicos (confiabilidade e disponibilidade foram os mais citados),

os quais acarretam em custos de manutenção, e custo operacional. Este último representa a eficiência operacional do ativo, traduzida na forma de produtividade, consumo energético, consumo de água, etc. Ainda sobre estes ativos, foi comentado que nem sempre ocorre a substituição completa do equipamento, sendo comum substituições parciais ou restaurações.

Outro grupo de ativos identificado é o de inspeção de segurança, composto por pórticos detectores de metal e raios-X para bagagens de mão. Estes ativos são afetados pela alta obsolescência tecnológica e pela disponibilidade de peças de reposição. Isto é reflexo de novidades frequentes nesta área de segurança, aliado a alterações nas normas de segurança sugeridas pela agência reguladora nacional na última década. Além disso, por se tratar de equipamentos muito específicos, a disponibilidade de peças torna-se um elemento importante na identificação da vida útil dos ativos, pois representa uma restrição para manutenção, seja ela preventiva ou corretiva.

Destaca-se também um ativo distinto do grupo de inspeção de segurança, o carro contra incêndio. Ele apresenta características similares em relação a obsolescência tecnológica, com novidades advindas tanto de fornecedores quanto de mudanças recentes de normas. Entretanto, não é afetado pela falta de peças, porque não está em um mercado tão restrito e específico. Contudo, a capacidade do aeroporto de combater incêndios é uma exigência de segurança para este receber aviões de certo porte (esta classificação se dá por níveis). Sendo assim, os elementos técnicos tornam-se fundamentais para o ativo carro contra incêndio e para a sua vida útil.

Por fim, o ativo referente ao pavimento da pista de pousos e decolagens difere dos demais por ter somente os elementos técnicos como principais na análise de vida útil. Isto acontece porque a manutenção realizada em recapeamentos é, na sua maioria, preventiva e quando há algum problema mais sério, há necessidade de outro recapeamento (substituição do ativo) por questões de segurança. Ademais, os elementos técnicos deste ativo são bastante específicos, conforme comentado na entrevista. Foram citados alguns deles, como o coeficiente de atrito e a resistência do pavimento.

5. Conclusões

Nos últimos anos, ficou evidente que a infraestrutura aeroportuária brasileira não acompanhou o aumento da demanda no setor. Ademais, os aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos. Por conseguinte, surge a necessidade de estudos sobre a identificação da vida útil de ativos, pois sua acurácia

permite melhores planos de manutenção ou substituição, com consequente aumento de produtividade dos ativos. Todavia, os modelos com este objetivo consideram elementos distintos, dependendo ambiente em estudo.

Dentro deste contexto, este trabalho contribui com a definição dos principais elementos a serem considerados em um modelo de identificação da vida útil de ativos específico para o setor aeroportuário. Estes elementos foram identificados para os principais ativos de um terminal aeroportuário, considerando as suas particularidades. Observou-se que a maioria dos ativos não apresenta mudanças tecnológicas frequentes e, nesse caso, deve-se considerar elementos técnicos, custos de manutenção e custos operacionais. Por outro lado, alguns ativos são objeto de evolução tecnológica frequente, contemplando obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças como os principais elementos a serem considerados nas decisões de substituição.

Este trabalho foi conduzido por meio de um estudo aplicado em um aeroporto brasileiro de grande porte. As informações foram obtidas através de análise de dados históricos e entrevistas com especialistas. Desta forma, é importante destacar as limitações deste método, tais como depender da experiência e *know-how* dos especialistas, ter entrevistado apenas coordenadores da área de manutenção e ter a visão de um único aeroporto. Essas limitações podem ser superadas em estudos futuros sobre o assunto que incluam abordagens quantitativas, especialistas de um maior número de áreas e considerando um maior número de terminais aeroportuários.

6. Referências

- ABNT. **ABNT NBR ISO 55000:2014** Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia, 1ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 23 p., 2014.
- ADKINS, R., PAXSON, D. The effect of tax depreciation on the stochastic replacement policy. **European Journal of Operational Research**, v. 229, p. 155-164, 2013a.
- ADKINS, R., PAXSON, D. Deterministic models for premature and postponed replacement. **Omega**, v. 41, p. 1008-1019, 2013b.
- ANAC. **Anuário do Transporte Aéreo: Dados Estatísticos e Econômicos de 2012**. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2013.
- BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. **Systems Engineering and Analysis**, 3ª ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- BSI. **BSI PAS 55-1:2008** Asset Management – Part 1: Specification for the optimized management of physical assets, 1ª ed. London: British Standards Institution, 24 p., 2008.
- CHEN, C., VACHTSEVANOS, G., ORCHARD, M. E. Machine remaining useful life prediction: an integrated adaptive neuro-fuzzy and high-order particle filtering approach. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 28, p. 597-607, 2012.

- EL-AKRUTI, K., DWIGHT, R., ZHANG, T. The strategic role of Engineering Asset Management. **International Journal of Production Economics**, v. 146, p. 227-239, 2013.
- ELWANY, A., GEBRAEEL, N. Z., MAILLART, L. Structured replacement policies for systems with complex degradation processes and dedicated sensors. **Operations Research**, v. 59, n. 3, p. 684-695, 2011.
- GARRISON, R., NOREEN, E. **Managerial Accounting**, 10^a ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- HARTMAN, J. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. **European Journal of Operational Research**, v. 159, p. 145-165, 2004.
- HARTMAN, J., MURPHY, A. Finite-horizon equipment replacement analysis. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 38, n. 5, p. 409-419, 2006.
- HILTON, R. **Managerial Accounting: Creating value in a dynamic business environment**, 5^a ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- HORNGREN, C., SUNDEM, G., STRATTON, W. **Introduction to management accounting**, 13^a ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005.
- IATA. **Annual Review 2014**. Singapore: International Air Transport Association, 2014.
- INFRAERO. **Anuário Estatístico Operacional 2013**. Brasília: Diretoria de Gestão, Coordenação de Estatística e Estudos de Demanda Operacional, 2014.
- JACKSON, S. B., LIU, X. K., CECCHINI, M. Economic consequences of firms' depreciation method choice: Evidence from capital investments. **Journal of Accounting and Economics**, v. 48, p. 54-68, 2009.
- JARDINE, A. K. S., LIN, D., BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 20, p. 1483-1510, 2006.
- KIESO, D., WEYGANDT, J., WARFIELD, T. **Intermediate Accounting**, 12^a ed. New York: Wiley, 2007.
- KIM, K. O., KUO, W. Optimal burn-in for maximizing reliability of repairable non-series systems. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p. 140-151, 2009.
- MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo no Brasil: Relatório Consolidado**, 1^a ed. Rio de Janeiro: McKinsey e Company, 2010.
- MEDJAHHER, K., TOBON-MEJIA, D. A., ZERHOUNI, N. Remaining useful life estimation of critical components with application to bearings. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 61, n. 2, p. 292-302, 2012.
- MOURA NETO, A. Eficiência técnica: uma avaliação de aeroportos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 4, p. 147-174, 2013.
- OUERTANI, M. Z., PARLIKAD, A. K., MCFARLANE, D. Towards an approach to select an asset information management strategy. **International Journal of Computer Science and Applications**, v. 5, n. 3b, p. 25-44, 2008.
- PECHT, M. **Prognostics and Health Management of Electronics**, 1^a ed. New Jersey: Wiley, 2008.
- RAINERI, R. Asset life and pricing the use of electricity transmission infrastructure in Chile. **Energy Policy**, v. 38, p. 30-41, 2010.
- RICHARDSON, S., KEFFORD, A., HODKIEWICZ, M. Optimised asset replacement strategy in the presence of lead time uncertainty. **International Journal of Production Economics**, v. 141, p. 659-667, 2013.
- SCANFF, E., FELDMAN, K. L., GHELAM, S., SANDBORN, P., GLADE, M., FOUCHER, B. Life cycle cost estimation of using prognostic health management (PHM) for helicopter avionics. **Microelectronics Reliability**, v. 47, n. 12, p. 1857-1864, 2007.

- SCHNEIDER, J., GAUL, A. J., NEUMANN, C., HOGRÄFER, J., WELLBOW, W., SCHWAN, M., SCHNETTLER, A. Asset management techniques. **Electrical Power and Energy Systems**, v. 28, p. 643-654, 2006.
- SCHUMAN, C. A., BRENT, A. C. Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 6, p. 566-579, 2005.
- SI, X.-S., WANG, W., HU, C.-H., ZHOU, D.-H. Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 213, p. 1-14, 2011.
- SI, X.-S., CHEN, M.-Y., WANG, W., HU, C.-H., ZHOU, D.-H. Specifying measurement errors for required lifetime estimation performance. **European Journal of Operational Research**, v. 231, p. 631-644, 2013a.
- SI, X.-S., WANG, W., HU, C.-H., CHEN, M.-Y., ZHOU, D.-H. A wiener-process-based degradation model with a recursive filter algorithm for remaining useful life estimation. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 35, n. 1, p. 219-237, 2013b.
- SON, K. L., FOULADIRAD, M., BARROS, A., LEVRAT, E., IUNG, B. Remaining useful life estimation based on stochastic deterioration models: A comparative study. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 112, p. 165-175, 2013.
- TIAN, Z., WONG, L., SAFAEI, N. A neural network approach for remaining useful life prediction utilizing both failure and suspension histories. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 24, n. 5, p. 1542-1555, 2010.
- TOBON-MEJIA, D., MEDJAHER, K., ZERHOUNI, N. CNC Machine tool's wear diagnostic and prognostic by using dynamic Bayesian networks. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 28, p. 167-182, 2012.
- WANG, H. Z. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European Journal of Operation Research**, v. 139, n. 3, p. 469-489, 2002.
- WANG, W., ZHANG, W. An asset residual life prediction model based on expert judgments. **European Journal of Operation Research**, v. 188, p. 496-505, 2008.
- WANG, L., CHU, J., MAO, W. A condition-based replacement and spare provisioning policy for deteriorating systems with uncertain deterioration to failure. **European Journal of Operation Research**, v. 194, p. 184-205, 2009.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 1-5, 2013.
- YATSENKO, Y., HRITONENKO, N. Economic life replacement under improving technology. **International Journal of Production Economics**, v. 133, p. 596-602, 2011.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**, 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- ZAMBUIAL-OLIVEIRA, J., DUQUE, J. Operational asset replacement strategy: A real options approach. **European Journal of Operation Research**, v. 210, p. 318-325, 2011.
- ZHAO, F., TIAN, Z., ZENG, Y. Uncertainty quantification in gear remaining useful life prediction through an integrated prognostics method. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 62, n. 1, p. 146-159, 2013.

III. ARTIGO 2: Modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em terminais aeroportuários

Resumo: Estudos destacam a importância da previsão da vida útil de ativos para redução de custos e aumento de produtividade nas companhias, em especial, a vida útil restante, ou *Remaining Useful Life* (RUL). No entanto, esta previsão é muito sensível ao método utilizado e à quantidade de dados disponível para a análise. Apesar de existirem diversos modelos para vida útil restante de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário, que apresenta problemas na gestão de seus ativos. Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é adaptar um modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em aeroportos, além da sua aplicação em um aeroporto brasileiro na forma de estudo de caso. O trabalho concluiu que modelo conseguiu identificar ativos com um amplo intervalo de vida útil restante, apoiando-se em informações subjetivas e poucos dados históricos. Como principal contribuição, cita-se o estudo das variáveis presentes em ambientes aeroportuários, o que permitiu a proposição de um modelo mais adequado para lidar com as especificidades do setor.

Palavras-chave: Vida útil de ativos, Vida útil restante, Setor aeroportuário, Aeroportos.

1. Introdução

A previsão de vida útil de ativos é crucial para redução de custos e aumento de produtividade nas companhias, já que sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção, previsão de sobressalentes, eficiência operacional e auxilia na tomada de decisão (JARDINE et al., 2006; WANG; ZHANG, 2008; KIM; KUO, 2009; L. WANG et al., 2009; CAMCI; CHINNAM, 2010; SI et al., 2011). Dentre os conceitos de vida útil de ativos, destaca-se o da vida útil técnica, conhecido na literatura internacional como *Remaining Useful Life* (RUL), ou vida útil restante.

RUL de um ativo é definida como o tempo restante até o final da sua vida útil, cobrindo o tempo restante em que o ativo cumprirá a sua função. Ela é uma variável randômica que pode depender da idade do ativo, da sua condição e do sistema produtivo em que está inserido (SI et al., 2011). Segundo Son et al. (2013), RUL pode ser determinada ou estimada em qualquer ponto da vida útil de um ativo, no entanto o seu resultado é sensível ao método utilizado e à quantidade de dados disponível para a análise.

Apesar de existir diversos modelos para vida útil restante de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário. Este setor apresentou um grande crescimento nos últimos anos, inclusive no Brasil, que se destaca apresentando uma das maiores taxas (MOURA NETO, 2013; IATA, 2014; INFRAERO, 2014). Estudos indicam que vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente os seus ativos, além de não utilizarem nenhum modelo para a previsão de vida útil restante de ativos, como visto no Capítulo II (MCKINSEY, 2010; WANKE, 2013). Desta forma, justificam-se estudos visando o desenvolvimento de modelos para estimar a vida útil restante de ativos em aeroportos.

Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é adaptar um modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em aeroportos. Após disso, ele foi aplicado em um aeroporto brasileiro na forma de estudo aplicado. A principal contribuição deste artigo é o estudo das variáveis presentes em ambientes aeroportuários, o que permitiu a proposição de um modelo mais adequado para lidar com as especificidades do setor.

Este artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, é realizada uma revisão bibliográfica sobre modelos de vida útil restante, destacando as particularidades do setor aeroportuário sobre o assunto. A seguir, é proposto o modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em aeroportos e, posteriormente, a sua aplicação em um aeroporto brasileiro, analisando e discutindo os resultados obtidos, incluindo a comparação com outras pesquisas. Enfim, nas conclusões são destacados os achados mais importante e são indicadas recomendações para trabalhos futuros.

2. Vida útil restante

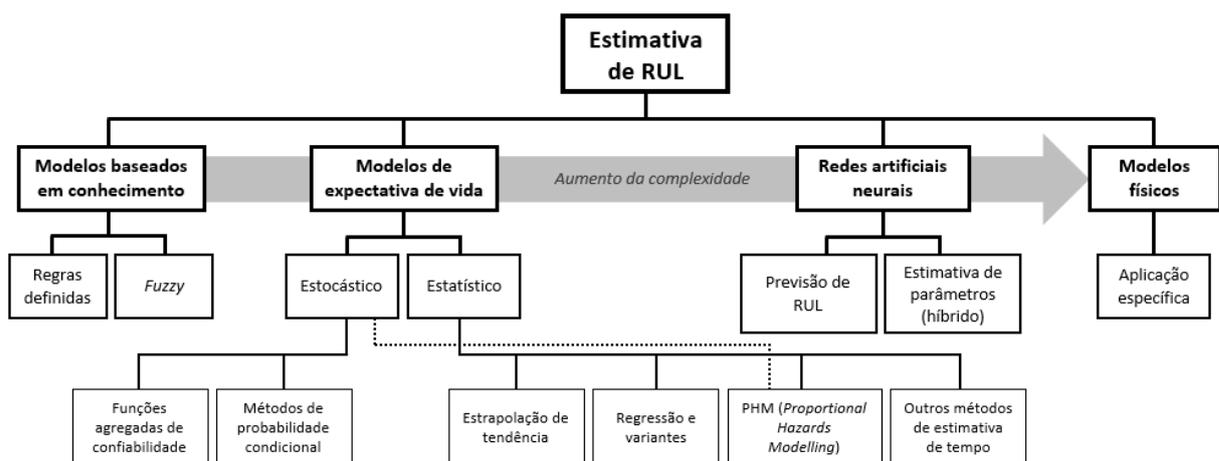
O conceito de vida útil restante, ou *Remaining Useful Life* (RUL), vem da engenharia prognóstica e surgiu como um diagnóstico preventivo que, em princípio, buscava uma estimativa de tempo de vida e risco de falhas para ativos, através da análise de sua condição e degradação ao longo do tempo. Mais tarde, essa definição foi aprimorada, agregando a ideia de previsão da vida útil restante de ativos, assim como a sua futura condição em um determinado horizonte (ISO, 2004; BARUAH; CHINNAM, 2005; HENG et al., 2009a; SIKORSKA et al., 2011).

Desta forma, a vida útil restante e seu intervalo de confiança são os principais resultados da engenharia prognóstica. O intervalo de confiança está diretamente ligado à incerteza de prever o comportamento futuro de ativos (SANKARARAMAN, 2015). Já a RUL

é uma variável randômica que é influenciada pela idade do ativo, sua condição e natureza do sistema produtivo em que está inserido. A sua estimativa varia de acordo com os dados disponíveis e, principalmente, com o modelo utilizado, já que cada um tem suas premissas e considerações (SI et al., 2011; SON et al., 2013).

Os modelos são frequentemente classificados de forma simples, de acordo com a base de dados utilizada. Sob esta ótica, eles podem ter abordagem guiada pelos dados (*data-driven approach*), utilizando dados observados para identificar a condição e degradação de ativos, ou abordagem baseada em modelos físicos (*physics-based approach*), que combinam modelos de degradação com a base de dados (LEE et al., 2006; HENG et al., 2009a; SI et al., 2011; AN et al., 2015). Entretanto, Sikorska et al. (2011) defendem um detalhamento maior e propõem uma classificação dos modelos para estimativa de RUL em quatro principais categorias e uma variedade de subcategorias, conforme Figura 3.1.

Figura 3.1 - Classificação de modelos para estimativa de RUL em categorias.



Fonte: Adaptado de Sikorska et al., 2011.

A primeira categoria consiste em Modelos baseados em conhecimento, nos quais a RUL é deduzida a partir de banco de dados de falhas e observações pessoais, com auxílio de regras definidas ou da lógica *Fuzzy*. Estes modelos são de simples desenvolvimento e entendimento, cujas vantagens já são apresentadas e discutidas há anos, no entanto lidam com informações subjetivas e dependem dos conhecimentos de especialistas (ØIEN, 1998; LEE et al., 1999; SIKORSKA et al., 2011). Com relação às aplicações, Biagetti e Sciubba (2004) realizaram um prognóstico baseado em conhecimento, mesclando regras definidas por especialistas e *Fuzzy*, enquanto Majidian e Saidi (2007) utilizaram exclusivamente regras *Fuzzy* para estimar a RUL de tubos de caldeiras.

Já a segunda categoria, Modelos de expectativa de vida, leva em conta a degradação dos componentes do ativo, apoiando-se em estocacidade e estatística. Os Modelos de expectativa de vida, em geral, são confiáveis e conseguem modelar processos dinâmicos, contudo necessitam de grandes volumes de dados (SI et al., 2011; SIKORSKA et al., 2011). Há uma série de estudos que apresentam estes conceitos, como Finkelstein e Esaulova (2001), que exploram curvas de taxas de falhas; Kallen e van Noortwijk (2005), cujo modelo Bayesiano busca uma política de manutenção e substituição como o objetivo de minimizar o custo; Baruah e Chinnam (2005), que utilizam HMMs (*Hidden Markov Models*) em prognóstico de ferramentas metálicas para corte; Yan et al. (2004), cujo modelo prognóstico é baseado em auto regressão com média móvel, ou ARMA (*Auto-Regressive Moving Average*); entre outros.

As Redes artificiais neurais são a terceira categoria, nas quais a RUL é estimada através de uma representação matemática do sistema oriunda de dados e observações. Sendo assim, esta abordagem requer banco de dados e conhecimento de programação de redes neurais, e consegue modelar sistemas complexos (SIKORSKA et al., 2011). Um exemplo de Redes artificiais neurais aplicado em manutenção prognóstica é apresentado por Heng et al. (2009a).

Por fim, os Modelos físicos estimam a RUL por meio de uma representação matemática do comportamento físico do processo de degradação. Por isso, podem resultar em estimativas mais precisas de RUL, apesar de necessitar de conhecimentos profundos do funcionamento do sistema em questão (SIKORSKA et al., 2011). Heng et al. (2009b) apresentam uma revisão sobre modelos específicos de degradação física de equipamentos.

Ademais, percebe-se que estes diversos tipos de modelos são aplicados em uma variedade de ambientes. Pode-se citar trabalhos na indústria aeroespacial (X. WANG et al., 2009; CHEN et al., 2012), na indústria elétrica (DATLA; PANDEY, 2006), relacionados a baterias (SAHA et al., 2009; ZHANG; LEE, 2011), em máquinas e equipamentos (PENG; DONG, 2011; CAMCI, 2015), em estruturas (KARANDIKAR et al., 2012), na previsão do clima (HYNDMAN; KOEHLER, 2006), na medicina (ABU-HANNA; LUCAS, 2001), entre outros.

Além dos trabalhos supracitados, podem-se destacar alguns autores que realizaram revisões da literatura sobre modelos prognósticos ou modelos de estimativa de RUL. Destes, é possível trazer algumas conclusões e recomendações sobre o assunto. Scarf (1997) possivelmente foi o primeiro a consolidar modelos matemáticos utilizados na manutenção e

defendeu a criação e aplicação deles para resolver problemas reais, aumentando a cooperação entre ciência e indústria, ou teoria e prática.

Outra revisão da literatura foi apresentada por Si et al. (2011), que consolidaram modelos estatísticos de estimativa de RUL a partir de base de dados. Os autores identificaram quatro desafios para futuros trabalhos na área: (i) desenvolvimento de estimativa de RUL com nenhum ou poucos dados, utilizando informações subjetivas; (ii) utilização de todos os dados disponíveis para a estimativa, caso eles não estejam bem organizados, com diferentes limites, por exemplo; (iii) inclusão de dados externos ao modelo, como variáveis ambientais; (iv) desenvolvimento de um modelo para lidar com vários modos de falha para um componente ou ativo. Ainda, eles também apontam negativamente a existência de muitos modelos puramente teóricos, sem aplicação real.

No mesmo ano, Sikorska et al. (2011) realizaram uma vasta revisão sobre modelos de estimativa de RUL, comparando-os conforme sua utilização, além de destacar suas vantagens e desvantagens. Ao final, fizeram diversas observações, tais como: o modelo deve ser escolhido de acordo com seu objetivo e sua aplicação; as companhias devem melhorar o seu processo de coleta de dados se quiserem utilizar, de forma mais eficiente, os modelos de estimativa de RUL; nem todos os modelos conseguem a mesma acurácia na estimativa; há pouca utilização dos modelos acadêmicos para a solução de problemas reais.

Recentemente, An et al. (2015) descreveram modelos presentes na literatura de forma prática, para direta aplicação e, posteriormente, compararam suas performances através de um estudo aplicado. Os autores abordaram os modelos neurais, os que utilizam processos Gaussianos, Bayesianos e filtragem de partículas. Como conclusões, destacaram o objetivo prático da pesquisa, de ajudar na aplicação de modelos de RUL, ressaltando as diferenças e vantagens de cada um.

Ao comparar as conclusões das revisões da literatura sobre estimativa de RUL, percebe-se a preocupação com a praticidade dos modelos, principalmente ao apresentar como ponto negativo a pouca criação e utilização de modelos com o objetivo de resolver problemas reais. Deste modo, é recomendado buscar um problema real, entendê-lo profundamente para, então, sugerir uma solução.

No que se refere ao ambiente aeroportuário, o problema em relação à gestão de ativos, principalmente nos aeroportos brasileiros, já foi identificado. McKinsey (2010) e Wanke (2013) corroboram que vários aeroportos brasileiros de grande porte não utilizam eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos, entretanto não entram em detalhes. Da mesma forma, a norma brasileira (ABNT, 2014) e a legislação em vigor (BRASIL, 1998)

sobre gestão e vida útil de ativos são muito amplas, sem aprofundamento adequado. Deste modo, há pouca literatura detalhada sobre o assunto. Conforme já comentado, os atuais modelos de estimativa de RUL são pouco práticos e não analisam o ambiente ou o processo em que estão inseridos. O ambiente aeroportuário não é exceção e carece de estudos.

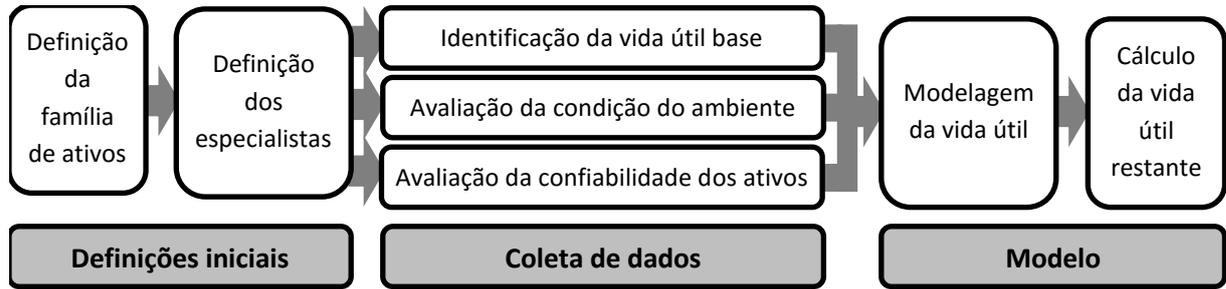
Neste sentido, este trabalho tem como base os resultados do Capítulo II, que estudaram em profundidade a natureza dos ativos aeroportuários. Eles identificaram os ativos mais importantes e, posteriormente, os elementos que influenciam nas suas vidas úteis. Os autores concluíram que a maioria dos ativos (ar condicionado, elevador, escadas, esteiras, geradores, *fingers*, etc.) é influenciada por fatores operacionais, como a vida técnica. Enquanto isso, poucos ativos (detector de metal, raio-X e veículo contra incêndio) são influenciados pela obsolescência tecnológica.

3. Modelo para estimativa de vida útil restante de ativos em aeroportos

O modelo adaptado neste artigo está baseado em um trabalho técnico de grande porte realizado em 2010 com o objetivo de avaliar a vida residual dos ativos de um grupo empresarial, através de uma correção da vida útil base através da avaliação da condição do ambiente (RIBEIRO et al., 2010). Neste, foram totalizadas cerca de 48 mil estimativas de vida útil para 819 famílias de ativos em 25 plantas industriais. Na mesma linha, o modelo proposto neste artigo busca superar a escassez de dados sobre manutenção de ativos em aeroportos utilizando conhecimento consolidado, seja via trabalhos técnicos, normas, técnicas estatísticas e de confiabilidade.

O modelo proposto tem sua execução dividida em sete etapas, conforme Figura 3.2. São elas: (1) definição da família de ativos a ser estudada, (2) definição dos especialistas que detêm conhecimento referente à família de ativos, (3) identificação da vida útil base para a família de ativos, (4) avaliação da condição do ambiente, (5) avaliação da confiabilidade dos ativos, (6) modelagem da vida útil e (7) cálculo da vida útil restante. Percebe-se que há uma divisão entre as etapas, com definições iniciais e coletas de dados, em um primeiro momento, seguida da aplicação do modelo proposto.

Figura 3.2 - Modelo proposto para vida útil restante.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

As duas primeiras etapas envolvem as definições iniciais. A primeira trata de definir a família de ativos que é estudada. Esta família deve ser composta por ativos que são semelhantes tecnologicamente e realizem a mesma função, de forma que apresentem a mesma vida útil base. Identificadas as famílias de ativos, o próximo passo é definir os especialistas que detêm o conhecimento referente a essas famílias. São eles que devem participar das etapas posteriores de coletas de dados, certificando, assim, que os *inputs* do modelo têm base no conhecimento técnico e aplicado advindo da experiência dos especialistas.

Em seguida, nas etapas 3, 4 e 5, são propostas as coletas de dados das entradas para o modelo. Começando pela identificação da vida útil base para cada família de ativos, esta etapa tem duas fontes de dados: normas ou legislação sobre vida útil de ativos e conhecimento dos especialistas. Sendo assim, sugere-se identificar nas normas/leis nacionais qual é a vida útil indicada para a família de ativos em questão e, posteriormente, checar com os especialistas se, em condições normais (dois turnos de uso, intensidade de uso normal, nível de manutenção médio), aquele valor está estimado corretamente ou não. Caso negativo, é solicitado aos especialistas uma nova estimativa de vida útil base para a família de ativos, justificando e informando o tipo de evidência que embasou esta nova estimativa. Caso exista discordância entre os especialistas, sugere-se a utilização da mediana como vida útil base.

Na sequência, é proposta uma avaliação da condição do ambiente dos ativos. Deve ser requisitado que os especialistas avaliem os ativos individualmente com relação à três aspectos importantes para a vida útil: número de turnos de operação, intensidade de uso e nível de manutenção. Esta avaliação é transformada em valores através de uma escala contínua de 0,5 a 1,5, com valores de referência conforme Tabela 3.1. É esperado que os ativos de uma mesma família que estejam em um ambiente comum sejam avaliados de forma

similar, porém pode haver diferenças, por exemplo, quando há ativos dedicados para alguma função específica ou quando há ativos reserva no sistema.

Tabela 3.1 - Escala de referência para avaliação da condição do ambiente.

	Pontuação		
	0,5	1,0	1,5
Turnos de uso (Tur)	um	dois	três
Intensidade do uso (Int)	baixa	normal	alta
Nível de manutenção (Man)	baixo	médio	alto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Posteriormente, é proposta uma avaliação da confiabilidade dos ativos, através da disponibilidade, um aspecto simples, porém importante. A partir dos dados de manutenção dos ativos, é possível organizá-los e calcular a disponibilidade tanto da família de ativos quanto dos ativos individualmente em cada período de tempo. A disponibilidade (Disp) pode ser calculada conforme Equação 3.1, onde o tempo de parada se refere ao tempo que o equipamento estava indisponível devido a quebras e necessidade de manutenção corretiva.

$$Disp = \frac{\text{tempo de uso}}{\text{tempo de uso} + \text{tempo de parada}} \quad (3.1)$$

Assim sendo, pode-se comparar a disponibilidade dos ativos com a disponibilidade da família a qual ele pertence e consolidar informações importantes referentes ao seu desempenho atual. Assim, é proposto um índice (ÍndDisp), com limites delimitados em 0,5 e 1,5 de forma a coincidir com as avaliações da condição do ambiente. A escala de referência para o índice de disponibilidade pode ser vista na Tabela 3.2, onde a indisponibilidade é igual a $1 - Disp$. Os valores intermediários são obtidos através de interpolação linear.

Tabela 3.2 - Escala de referência para o índice de disponibilidade (ÍndDisp).

Referência para o ÍndDisp	Pontuação
Indisponibilidade do ativo ≥ 2 x Indisponibilidade da família	0,5
Indisponibilidade do ativo = Indisponibilidade da família	1,0
Indisponibilidade do ativo $\leq \frac{1}{2}$ x Indisponibilidade da família	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Por fim, as duas últimas etapas correspondem a aplicação do modelo proposto. A modelagem da vida útil utiliza as informações coletadas nas etapas anteriores, conforme Equação 3.2.

$$Vida\ útil = VB \times \left(\frac{Man \times ÍndDisp}{Tur \times Int} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.2)$$

Onde VB corresponde a vida útil base da família de ativos, enquanto as abreviações Man, ÍndDisp, Tur e Int representam, respectivamente, nível de manutenção, índice de disponibilidade, turnos de uso e intensidade de uso. As influências destes índices são amenizadas para não distorcer o modelo, na mesma proporção da quantidade de fatores que ajustam a vida útil base da família. Assim, explica-se a aplicação do coeficiente $\frac{1}{4}$, mantendo a vida útil estimada no intervalo entre [0,58 a 1,73] vezes a vida útil base. Vale observar que esse intervalo, definido empiricamente, mostrou-se adequado no trabalho técnico de grande porte mencionado anteriormente.

Enfim, é possível calcular a vida útil restante de um ativo. Para isso, basta retirar da vida útil do ativo a sua idade, conforme mostra a Equação 3.3. Esta etapa também serve para checar a validade das informações coletadas e do modelo para os ativos em questão: se houver um grande número de ativos da mesma família com vida residual igual a zero, é necessário recomençar a aplicação do modelo, revisando a estimativa de vida útil base e as avaliações da condição do ambiente.

$$Vida\ útil\ restante = \max \left\{ \begin{array}{l} Vida\ útil - Idade\ do\ ativo \\ 0 \end{array} \right. \quad (3.3)$$

4. Estudo aplicado

Nesta seção, é apresentado o estudo aplicado realizado em um aeroporto brasileiro de grande porte, localizado em uma das capitais nacionais. Esse aeroporto foi escolhido por ser um dos principais terminais em movimentação de passageiros do Brasil e estar entre os dez maiores aeroportos brasileiros em movimentação de cargas (INFRAERO, 2014). Esta seção está organizada conforme proposto nos procedimentos metodológicos: definições iniciais e coletas de dados e, então, aplicação do modelo proposto.

4.1 Definições iniciais e coleta de dados

Primeiramente, foram definidas duas famílias de ativos para a realização do estudo aplicado, através de uma reunião entre o pesquisador e o responsável pela gestão de ativos no aeroporto em estudo. Desta forma, foi possível testar e aplicar o modelo duas vezes, garantindo a sua robustez frente a ativos de diferentes naturezas. As famílias de ativos escolhidas foram: Empilhadeiras GLP (11 unidades) e Carros contra incêndio (8 unidades). Ambas respeitam as condições de possuírem ativos semelhantes tecnologicamente e que realizem a mesma função. Além disso, estes ativos são cruciais para o funcionamento do aeroporto por fazerem parte de subsistemas críticos, que afetam diretamente o passageiro: Equipamentos de transporte de carga (área comercial) e Veículos de combate a incêndios (área segurança), respectivamente.

Na sequência, na mesma reunião, foram definidos os especialistas das duas famílias de ativos supracitadas. Para as Empilhadeiras GLP, três especialistas foram identificados, totalizando 30 anos de experiência em manutenção, 25 anos de experiência em aeroportos e 25 anos de experiência em manutenção de Empilhadeiras GLP. Referente aos Carros contra incêndio, dois especialistas foram identificados, totalizando 25 anos de experiência em manutenção, 25 anos de experiência em aeroportos e 25 anos de experiência em manutenção de Carros contra incêndio.

Concluídas as definições iniciais, as etapas seguintes são de coletas de dados das entradas para o modelo proposto. A primeira informação necessária é a vida útil base para cada família de ativos. Para tal, foi identificada na legislação em vigor (BRASIL, 1998) a vida útil indicada para Empilhadeiras GLP (Ref. NCM 8427 - Empilhadeiras: 10 anos) e Carros contra incêndio (Ref. NCM 8705 - Veículos automóveis para usos especiais: 4 anos). Na sequência, os especialistas de cada família de ativos responderam se esta vida útil base, em condições normais (dois turnos de uso, intensidade de uso normal, nível de manutenção médio), estava estimada corretamente ou não. Os especialistas de Empilhadeiras GLP, baseados em histórico de sobrevivência, manutenção e falhas, discordaram e estimaram a vida útil base em 15 anos. Da mesma forma, os especialistas de Carros contra incêndio, também baseados em histórico de sobrevivência, manutenção e falhas, discordaram da legislação, já que estes ativos no aeroporto são utilizados somente em raros episódios de emergência, e estimaram uma vida útil base em 18 anos.

Posteriormente, os especialistas realizaram a avaliação da condição do ambiente dos ativos (individualizados). Os três aspectos abordados foram: número de turnos de operação,

intensidade de uso e nível de manutenção. Os resultados desta avaliação podem ser vistos nas Tabelas 3.3 e 3.4 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente. Percebe-se que algumas empilhadeiras têm regimes diferentes das outras, já que têm capacidades de carga diferentes, por exemplo a Empilhadeira GLP 1 que é destinada para cargas mais pesadas (acima de 5 toneladas), o que não acontece com os carros contra incêndio, pois todos exercem a mesma função.

Tabela 3.3 - Resultados da avaliação da condição do ambiente para Empilhadeiras GLP.

Ativo	Turnos de uso			Intensidade de uso			Nível de manutenção		
	um	dois	três	baixa	normal	alta	baixo	médio	alto
Empilhadeira GLP 1	X			X			X		
Empilhadeira GLP 2			X			X			X
Empilhadeira GLP 3			X			X			X
Empilhadeira GLP 4			X			X			X
Empilhadeira GLP 5			X			X			X
Empilhadeira GLP 6			X			X		X	
Empilhadeira GLP 7			X			X		X	
Empilhadeira GLP 8		X			X			X	
Empilhadeira GLP 9		X			X			X	
Empilhadeira GLP 10			X			X		X	
Empilhadeira GLP 11			X			X		X	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Tabela 3.4 - Resultado da avaliação da condição do ambiente para Carros contra incêndio.

Ativo	Turnos de uso			Intensidade de uso			Nível de manutenção		
	um	dois	três	baixa	normal	alta	baixo	médio	alto
Carro contra incêndio 1			X	X					X
Carro contra incêndio 2			X	X					X
Carro contra incêndio 3			X	X					X
Carro contra incêndio 4			X	X					X
Carro contra incêndio 5			X	X					X
Carro contra incêndio 6			X	X					X
Carro contra incêndio 7			X	X					X
Carro contra incêndio 8			X	X					X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Por fim, a última etapa de coleta de dados é a avaliação da confiabilidade dos ativos, através da disponibilidade. A partir dos dados de tempo de uso e tempo de todas as paradas dos ativos em questão (devido à manutenção preventiva e corretiva), referentes aos últimos 12

meses, fornecidos pela gestão do aeroporto, foi possível organizá-los em tempo de uso e tempo de parada (preventiva e corretiva) e, através da Equação 3.1, calcular a disponibilidade (Disp) tanto da família de ativos quanto dos ativos individualmente. A fim de evitar a penalização individual de algum ativo por paradas que têm comportamento aleatório, os ativos foram agrupados em subfamílias de acordo com características básicas (marca, funcionamento, idades próximas) pelos especialistas. Isso resultou em três subfamílias de empilhadeiras (Empilhadeira 1; Empilhadeiras 2, 3, 4 e 5; Empilhadeiras 6, 7, 8, 9, 10 e 11) e duas subfamílias de carros contra incêndio (Carros contra incêndio 1, 2, 3, 4 e 5; Carros contra incêndio 6, 7 e 8). Assim, a disponibilidade de cada subfamília foi calculada considerando a soma dos tempos de parada e a soma dos tempos de uso da respectiva família.

Os resultados desta avaliação podem ser vistos nas Tabelas 3.5 e 3.6 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente. É possível perceber que a disponibilidade dos carros contra incêndio é mais elevada que a disponibilidade das empilhadeiras, o que é compatível com a sua baixa intensidade de uso e alto nível de manutenção. Ademais, o tempo de uso de cada ativo foi calculado multiplicando o número de turnos de uso vezes 8 (horas por turno) vezes 365 (dias do ano).

Tabela 3.5 - Resultados da avaliação da disponibilidade para Empilhadeiras GLP.

Ativo	Tempo de uso	Tempo de parada	Disponibilidade (Disp)
Empilhadeira GLP 1	2.920 horas	23,9 horas	99,18%
Empilhadeiras GLP 2, 3, 4 e 5	35.040 horas	5.654,7 horas	86,10%
Empilhadeiras GLP 6, 7, 8, 9, 10 e 11	46.720 horas	3.613,9 horas	92,82%
Família (total)	84.680 horas	9.292,5 horas	90,11%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Tabela 3.6 - Resultados da avaliação da disponibilidade para Carros contra incêndio.

Ativo	Tempo de uso	Tempo de parada	Disponibilidade (Disp)
Carros contra incêndio 1, 2, 3, 4 e 5	43.800 horas	158,3 horas	99,63%
Carros contra incêndio 6, 7 e 8	26.280 horas	984,2 horas	96,39%
Família (total)	70.080 horas	1.142,5 horas	98,39%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Apoiado nas avaliações finalizadas, pode-se calcular a pontuação de cada ativo com relação aos índices utilizados na modelagem de vida útil. A transformação de turnos de uso (Tur), intensidade de uso (Int) e nível de manutenção (Man) foi realizada conforme a Tabela

3.1. Já o índice de disponibilidade (ÍndDisp) respeita a escala de referência da Tabela 3.2, sendo os valores intermediários obtidos através de interpolação linear. Desta forma, os dados de entrada para a modelagem de vida útil (vida útil base e pontuações dos índices) estão organizados nas Tabelas 3.7 e 3.8 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente.

Tabela 3.7 - Dados de entrada para a modelagem de vida útil para Empilhadeiras GLP.

Ativo	Vida útil base (VB)	Turnos de uso (Tur)	Intensidade de uso (Int)	Nível de manutenção (Man)	Índice de disponibilidade (ÍndDisp)
Empilhadeira GLP 1	15 anos	0,5	0,5	0,5	1,5
Empilhadeira GLP 2	15 anos	1,5	1,5	1,5	0,80
Empilhadeira GLP 3	15 anos	1,5	1,5	1,5	0,80
Empilhadeira GLP 4	15 anos	1,5	1,5	1,5	0,80
Empilhadeira GLP 5	15 anos	1,5	1,5	1,5	0,80
Empilhadeira GLP 6	15 anos	1,5	1,5	1,0	1,27
Empilhadeira GLP 7	15 anos	1,5	1,5	1,0	1,27
Empilhadeira GLP 8	15 anos	1,0	1,0	1,0	1,27
Empilhadeira GLP 9	15 anos	1,0	1,0	1,0	1,27
Empilhadeira GLP 10	15 anos	1,5	1,5	1,0	1,27
Empilhadeira GLP 11	15 anos	1,5	1,5	1,0	1,27

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Tabela 3.8 - Dados de entrada para a modelagem da vida útil para Carros contra incêndio.

Ativo	Vida útil base (VB)	Turnos de uso (Tur)	Intensidade de uso (Int)	Nível de manutenção (Man)	Índice de disponibilidade (ÍndDisp)
Carro contra incêndio 1	18 anos	1,5	0,5	1,5	1,5
Carro contra incêndio 2	18 anos	1,5	0,5	1,5	1,5
Carro contra incêndio 3	18 anos	1,5	0,5	1,5	1,5
Carro contra incêndio 4	18 anos	1,5	0,5	1,5	1,5
Carro contra incêndio 5	18 anos	1,5	0,5	1,5	1,5
Carro contra incêndio 6	18 anos	1,5	0,5	1,5	0,5
Carro contra incêndio 7	18 anos	1,5	0,5	1,5	0,5
Carro contra incêndio 8	18 anos	1,5	0,5	1,5	0,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

4.2 Aplicação do modelo proposto

Finalmente, após a coleta dos dados, é possível aplicar a modelagem de vida útil restante. Através dos dados presentes nas Tabelas 3.7, para Empilhadeiras GLP, e 3.8, para Carros contra incêndio, calcula-se a vida útil dos ativos de acordo com a Equação 3.2. Além

disso, após obter as idades dos ativos, também é possível calcular a vida útil restante dos ativos por meio da Equação 3.3. O cálculo da vida útil, as idades e o cálculo da vida útil restante dos ativos são apresentados nas Tabelas 3.9 e 3.10 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente.

Tabela 3.9 - Modelagem de vida útil restante para Empilhadeiras GLP.

Ativo	Cálculo da vida útil	Idade	Cálculo da vida útil restante
Empilhadeira GLP 1	$= 15 \times \left(\frac{0,5 \times 1,5}{0,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 19,7$	26,0	$= 19,7 - 26,0 = \mathbf{0 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 2	$= 15 \times \left(\frac{1,5 \times 0,80}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 12,8$	7,0	$= 12,8 - 7,0 = \mathbf{5,8 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 3	$= 15 \times \left(\frac{1,5 \times 0,80}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 12,8$	7,0	$= 12,8 - 7,0 = \mathbf{5,8 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 4	$= 15 \times \left(\frac{1,5 \times 0,80}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 12,8$	7,0	$= 12,8 - 7,0 = \mathbf{5,8 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 5	$= 15 \times \left(\frac{1,5 \times 0,80}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 12,8$	7,0	$= 12,8 - 7,0 = \mathbf{5,8 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 6	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 13,0$	4,0	$= 13,0 - 4,0 = \mathbf{9,0 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 7	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 13,0$	4,0	$= 13,0 - 4,0 = \mathbf{9,0 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 8	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,0 \times 1,0}\right)^{\frac{1}{4}} = 15,9$	9,0	$= 15,9 - 9,0 = \mathbf{6,9 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 9	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,0 \times 1,0}\right)^{\frac{1}{4}} = 15,9$	9,0	$= 15,9 - 9,0 = \mathbf{6,9 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 10	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 13,0$	6,0	$= 13,0 - 6,0 = \mathbf{7,0 \text{ anos}}$
Empilhadeira GLP 11	$= 15 \times \left(\frac{1,0 \times 1,27}{1,5 \times 1,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 13,0$	6,0	$= 13,0 - 6,0 = \mathbf{7,0 \text{ anos}}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Tabela 3.10 - Modelagem de vida útil restante para Carros contra incêndio.

Ativo	Cálculo da vida útil	Idade	Cálculo da vida útil restante
Carro contra incêndio 1	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 1,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 23,7$	2,5	$= 23,7 - 2,5 = \mathbf{21,2 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 2	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 1,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 23,7$	1,5	$= 23,7 - 1,5 = \mathbf{22,2 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 3	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 1,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 23,7$	1,5	$= 23,7 - 1,5 = \mathbf{22,2 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 4	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 1,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 23,7$	1,5	$= 23,7 - 1,5 = \mathbf{22,2 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 5	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 1,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 23,7$	1,5	$= 23,7 - 1,5 = \mathbf{22,2 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 6	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 0,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 18,0$	17,0	$= 18,0 - 17,0 = \mathbf{1,0 \text{ ano}}$
Carro contra incêndio 7	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 0,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 18,0$	21,0	$= 18,0 - 21,0 = \mathbf{0 \text{ anos}}$
Carro contra incêndio 8	$= 18 \times \left(\frac{1,5 \times 0,5}{1,5 \times 0,5}\right)^{\frac{1}{4}} = 18,0$	20,5	$= 18,0 - 20,5 = \mathbf{0 \text{ anos}}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Os resultados mostram que o modelo respondeu bem aos dados de entrada, uma vez que identificou ativos com um amplo intervalo de vida útil restante. Alguns ativos, no caso os

carros contra incêndio 1 a 5, em função da sua intensidade de uso (baixa) e nível de manutenção (alto), possuem previsão de vida útil restante maior do que a sua vida útil base. Paralelamente, outros três ativos (Empilhadeira GLP 1, Carro contra incêndio 7 e Carro contra incêndio 8) apresentam previsão de vidas úteis restantes zeradas. Isso acontece principalmente em função da idade desses ativos, mas vale ressaltar que os carros contra incêndio 6, 7 e 8 revelam um histórico de manutenção com tempo de parada relativamente elevado. Espera-se que o aeroporto possa melhorar o seu planejamento de manutenção e substituição de ativos em decorrência das informações adquiridas através da aplicação do modelo proposto, inclusive estendendo este estudo para todas as famílias de ativos consideradas críticas.

5. Conclusões

A previsão de vida útil restante de ativos surge como um tema importante para as organizações na medida em que promove a redução de custos e aumento de produtividade. Entretanto, esta previsão depende do método utilizado e da quantidade de dados disponível para a análise. Apesar de existir diversos modelos para vida útil restante de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário, que apresenta problemas na gestão de seus ativos. Por conseguinte, surge a necessidade de estudos sobre previsão da vida útil de ativos em aeroportos, em especial a criação de modelos que levem em consideração as especificidades do setor.

Dentro deste contexto, este trabalho contribui com a adaptação de um modelo para a vida útil restante de ativos específico para o setor aeroportuário e, ainda, buscou superar o desafio levantado pela literatura de desenvolver um modelo de estimativa de RUL com nenhum ou poucos dados, utilizando informações subjetivas (SI et al., 2011). O modelo proposto apoia-se em quatro entradas de informações principais: tempo de uso (turnos por dia), intensidade de uso (baixa, normal ou alta), nível de manutenção (baixo, médio ou alto) e confiabilidade do ativo (avaliada através de sua disponibilidade). Essas informações são combinadas com a vida útil base de uma família de ativos para gerar uma estimativa mais precisa de vida útil técnica e vida útil restante.

O modelo proposto foi aplicado para duas famílias de ativos críticas para o aeroporto: Empilhadeira GLP e Carro contra incêndio. Observou-se que o modelo conseguiu responder bem a aplicação, identificando ativos com um amplo intervalo de vida útil restante, mostrando-se promissor e útil para o ambiente aeroportuário brasileiro.

Este trabalho foi conduzido através de uma adaptação de um modelo para vida útil restante e posterior aplicação na forma de estudo aplicado em um aeroporto brasileiro de grande porte. O modelo proposto se baseou em dados históricos do sistema de manutenção do aeroporto e, principalmente, entrevistas com especialistas. Deste modo, é importante destacar as limitações do modelo proposto, tais como depender da experiência e *know-how* dos especialistas e ter sido testado em um único aeroporto. Essas limitações podem ser superadas em estudos futuros sobre o assunto que combinem o modelo proposto com abordagens quantitativas, além da replicação deste modelo em um maior número de terminais aeroportuários.

6. Referências

- ABNT. **ABNT NBR ISO 55000:2014** Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia, 1ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 23 p., 2014.
- ABU-HANNA, A., LUCAS, P. Prognostic models in medicine. **Methods of Information in Medicine**, v. 40, n. 1, p. 1-5, 2001.
- AN, D., KIM, N. H., CHOI, J.-H. Practical options for selecting data-driven or physics-based prognostics algorithms with reviews. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 133, p. 223-236, 2015.
- BARUAH, P., CHINNAM, R. B. HMMs for diagnostics and prognostics in machining processes. **International Journal of Production Research**, v. 43, n. 6, p. 1275-1293, 2005.
- BIAGETTI, T., SCIUBBA, E. Automatic diagnostics and prognostics of energy conversion processes via knowledge-based systems. **Energy**, v. 29, p. 2553-2572, 2004.
- BRASIL. **Secretaria da Receita Federal: Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998, alterada pela Instrução Normativa SRF nº 130, de 10 de novembro de 1999**. Fixa prazo de vida útil e taxa de depreciação dos bens que relaciona. Brasília (DF): Diário Oficial da União, de 07 de janeiro de 1999, 1998.
- CAMCI, F. Maintenance scheduling of geographically distributed assets with prognostics information. **European Journal of Operational Research**, v. 245, p. 506-516, 2015.
- CAMCI, F., CHINNAM, R. B. Health-state estimation and prognostics in machining processes. **IEEE Transaction on Automation Science and Engineering**, v. 7, n. 3, p. 581-597, 2010.
- CHEN, C., VACHTSEVANOS, G., ORCHARD, M. E. Machine remaining useful life prediction: an integrated adaptive neuro-fuzzy and high-order particle filtering approach. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 28, p. 597-607, 2012.
- DATLA, S. V., PANDEY, M. D. Estimation of life expectancy of wood poles in electrical distribution networks. **Structural Safety**, v. 28, p. 304-319, 2006.
- FINKELSTEIN, M. S., ESAULOVA, V. Why the mixture failure rate decreases. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 71, n. 2, p. 173-177, 2001.
- HENG, A., TAN, A. C. C., MATHEW, J., MONTGOMERY, N., BANJEVIC, D., JARDINE, A. K. S. Intelligent condition-based prediction of machinery reliability. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 23, n. 5, p. 1600-1614, 2009a.
- HENG, A., ZHANG, S., TAN, A. C. C., MATHEW, J. Rotating machinery prognostics: state of the art, challenges and opportunities. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 23, n. 3, p. 724-739, 2009b.

- HYNDMAN, R., KOEHLER, A. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 2, p. 679-688, 2006.
- IATA. **Annual Review 2014**. Singapore: International Air Transport Association, 2014.
- ISO. **ISO 13381-1:2004** Condition Monitoring and Diagnostics of Machines – Prognostics – Part 1: General Guidelines, 1ª ed. Genebra: International Standards Organization, 2004.
- INFRAERO. **Anuário Estatístico Operacional 2013**. Brasília: Diretoria de Gestão, Coordenação de Estatística e Estudos de Demanda Operacional, 2014.
- JARDINE, A. K. S., LIN, D., BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 20, p. 1483-1510, 2006.
- KALLEN, M. J., VAN NOORTWIJK, J. M. Optimal maintenance decisions under imperfect inspection. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 90, p. 177-185, 2005.
- KARANDIKAR, J. M., KIM, N. H., SCHMITZ, T. L. Prediction of remaining useful life for fatigue-damaged structures using Bayesian inference. **Engineering Fracture Mechanics**, v. 96, p. 588-605, 2012.
- KIM, K. O., KUO, W. Optimal burn-in for maximizing reliability of repairable non-series systems. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p. 140-151, 2009.
- LEE, B. S., CHUNG, H. S., KIM, K.-T., FORD, F. P., ANDERSEN, P. L. Remaining life prediction methods using operating data and knowledge on mechanisms. **Nuclear Engineering and Design**, v. 191, p. 157-165, 1999.
- LEE, J., NI, J., DJURDJANOVIC, D., QIU, H., LIAO, H. Intelligent prognostics tools and e-maintenance. **Computers in Industry**, v. 57, n. 6, p. 476-489, 2006.
- MAJIDIAN, A., SAIDI, M. H. Comparison of fuzzy logic and neural network in life prediction of boiler tubes. **International Journal of Fatigue**, v. 29, n. 3, p. 489-498, 2007.
- MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo no Brasil: Relatório Consolidado**, 1ª ed. Rio de Janeiro: McKinsey e Company, 2010.
- MOURA NETO, A. Eficiência técnica: uma avaliação de aeroportos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 4, p. 147-174, 2013.
- ØIEN, K. Improved quality of input data for maintenance using expert judgment. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 60, p. 93-101, 1998.
- PENG, Y., DONG, M. A prognosis method using age-dependent hidden semi-Markov model for equipment health prediction. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 25, p. 237-252, 2011.
- RIBEIRO, J. L. D., TINOCO, M. A. C., MIORANDO, R. F. **Laudo de avaliação da vida residual dos ativos do Grupo Empresarial**. [S.l:s.n.], 2010.
- SAHA, B., GOEBEL, K., CHRISTOPHERSEN, J. Comparison of prognostic algorithms for estimating remaining useful life of batteries. **Transactions of the Institute of Measurement and Control**, v. 31, n. 3-4, p. 293-308, 2009.
- SANKARARAMAN, S. Significance, interpretation, and quantification of uncertainty in prognostics and remaining useful life prediction. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 52, p. 228-247, 2015.
- SCARF, P. A. On the application of mathematical models in maintenance. **European Journal of Operational Research**, v. 99, n. 3, p. 493-506, 1997.
- SI, X.-S., WANG, W., HU, C.-H., ZHOU, D.-H. Remaining useful life estimation - A review on the statistical data driven approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 213, p. 1-14, 2011.
- SIKORSKA, J. Z., HODKIEWICZ, M., MA, L. Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 25, p. 1803-1836, 2011.

- SON, K. L., FOULADIRAD, M., BARROS, A., LEVRAT, E., IUNG, B. Remaining useful life estimation based on stochastic deterioration models: A comparative study. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 112, p. 165-175, 2013.
- WANG, W., ZHANG, W. An asset residual life prediction model based on expert judgments. **European Journal of Operation Research**, v. 188, p. 496-505, 2008.
- WANG, L., CHU, J., MAO, W. A condition-based replacement and spare provisioning policy for deteriorating systems with uncertain deterioration to failure. **European Journal of Operation Research**, v. 194, p. 184-205, 2009.
- WANG, X., RABIEI, M., HURTADO, J., MODARRES, M., HOFFMAN, P. A probabilistic-based airframe integrity management model. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 94, n. 5, p. 932-941, 2009.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 1-5, 2013.
- YAN, J., KOC, M., LEE, J. A prognostic algorithm for machine performance assessment and its application. **Production Planning and Control**, v. 76, p. 796-801, 2004.
- ZHANG, J., LEE, J. A review on prognostics and health monitoring of Li-ion battery. **Journal of Power Sources**, v. 196, p. 6007-6014, 2011.
- ZHOU, Y., SUN, Y., MATHEW, J., WOLFF, R., MA, L. Latent degradation indicators estimation and prediction: A Monte Carlo approach. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 25, p. 222-236, 2011.

IV. ARTIGO 3: Modelo para avaliação da substituição de ativos em terminais aeroportuários

Resumo: Estudos destacam a importância da gestão de ativos e, em especial, a substituição de ativos para o sucesso da manutenção e das organizações, já que equipamentos em más condições causam, entre outras perdas, a diminuição das receitas. No entanto, esta decisão não é trivial e deve levar em consideração fatores de ordem financeira, econômica e técnica. Apesar de existir diversos modelos para substituição de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário, que apresenta problemas na gestão de seus ativos. Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é adaptar um modelo para avaliação da substituição de ativos em aeroportos, além da sua aplicação em um aeroporto brasileiro na forma de estudo de caso. O trabalho concluiu que o modelo foi consistente para tomar uma decisão completa sobre a substituição de ativos, contemplando elementos técnicos, tecnológicos e econômicos. Como principal contribuição, cita-se o estudo das variáveis presentes em ambientes aeroportuários, o que permitiu a proposição de um modelo mais adequado para lidar com as especificidades do setor.

Palavras-chave: Substituição de ativos, Vida útil econômica, Setor aeroportuário, Aeroportos.

1. Introdução

Um dos principais responsáveis pelo custo total das organizações é a manutenção, que deve garantir a eficiência do processo produtivo (VAN OOSTEROM et al., 2014). Como equipamentos com falhas, quebras ou operando em más condições causam diminuição da qualidade, aumento do consumo de recursos e, portanto, diminuição de receitas, o objetivo da manutenção deve ser ampliado, abordando também questões referentes à gestão de ativos e substituição de ativos (NGUYEN et al., 2013).

Sendo assim, é necessário perceber que, ao longo do tempo, os ativos passam a apresentar maiores taxas de falhas e menor produtividade, incorrendo em maior tempo parados, maiores custos em operação e manutenção, além de menor receita. Desta forma, existe um certo ponto em que a substituição do ativo por um novo é economicamente recomendável. Logo, a substituição de ativos busca determinar o momento ótimo para substituir um ativo e, se houver mais de uma alternativa, selecionar um novo ativo para a reposição (HARTMAN, 2004; NODEM et al., 2009; RICHARDSON et al., 2013).

Apesar de existir diversos modelos para avaliação da substituição de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando as especificidades do ambiente aeroportuário. Paralelamente, vale ressaltar que este setor apresentou um grande crescimento nos últimos anos, particularmente no Brasil, que se destaca apresentando uma das maiores taxas (MOURA NETO, 2013; IATA, 2014; INFRAERO, 2014). Estudos indicam que vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos, além de não apresentar um processo ou modelo unificado para a substituição de ativos, como visto no Capítulo II (MCKINSEY, 2010; WANKE, 2013). Desta forma, justifica-se a importância de pesquisas visando o desenvolvimento de modelos para a substituição de ativos em aeroportos.

Em razão disto, o objetivo principal deste trabalho é adaptar um modelo para avaliação da substituição de ativos em aeroportos. Após a adaptação do modelo, ele será aplicado em um aeroporto brasileiro na forma de estudo aplicado. A principal contribuição deste artigo é a construção de um modelo considerando as variáveis próprias do setor aeroportuário, o que permite melhores resultados referentes à gestão de ativos neste setor.

Este artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, é realizada um referencial teórico sobre modelos de substituição de ativos, destacando as particularidades do setor aeroportuário relacionadas ao assunto. A seguir, é proposto o modelo para avaliação da substituição de ativos em aeroportos e, posteriormente, é reportada a sua aplicação em um aeroporto brasileiro, analisando e discutindo os resultados obtidos, incluindo a comparação com outras pesquisas. Enfim, nas conclusões são destacados os principais achados do estudo e são indicadas recomendações para trabalhos futuros.

2. Substituição de ativos

Com o passar do tempo, os ativos de uma organização sofrem com o uso, podendo apresentar falhas, quebras, fadiga e deterioração, o que faz com que incorram maiores custos de operação e manutenção e menores receitas. Além disso, novos ativos no mercado podem oferecer novas tecnologias que representem vantagens operacionais. Portanto, existe um momento em que a substituição do ativo é economicamente recomendável. Destarte, a substituição de ativos está preocupada em determinar o momento ótimo para substituir um ativo e, caso houver mais de uma alternativa, selecionar um novo ativo para a reposição (HARTMAN, 2004; NODEM et al., 2009).

Os modelos econômicos para substituição de ativos são estudados há muito tempo. Talvez o primeiro documentado seja o de Faustmann, em 1849 (LINNARD; GANE, 1968). No entanto, as primeiras aplicações práticas só aparecem a partir de 1940 (PREINREICH, 1940). Nos anos 50, o assunto avançou e foi estabelecido que a decisão de substituição de ativos é um problema de investimento que leva em consideração as seguintes áreas de conhecimento: financeira, econômica e engenharia (LUTZ; LUTZ, 1951; BELLMAN, 1955). Na sequência, Terborgh (1958) cunhou os termos, ainda muito conhecidos e estudados atualmente, *defensor* e *desafiante*, para se referir ao ativo que se estuda a desativação e ao ativo que se estuda a aquisição, respectivamente.

Desde então, o assunto foi estudado por vários pesquisadores que desenvolveram uma série de modelos de análise. Atualmente, segundo Yatsenko e Hritonenko (2015), os modelos para substituição de ativos podem ser agrupados nas seguintes categorias: horizonte infinito (*infinte-horizon*), horizonte variável (*variable-horizon*), horizonte fixo (*fixed-horizon*) e vida econômica (*economic life*).

As três primeiras categorias buscam a minimização dos custos de substituição sequencial de um ativo através da determinação da sua vida útil ótima em um determinado horizonte. O horizonte infinito é considerado como o que apresenta os modelos mais precisos através da minimização do valor presente (*present worth*). O horizonte variável minimiza o custo anual equivalente (*equivalente anual cost*) dos próximos dois ciclos de substituição. Já o horizonte fixo é considerado o menos eficiente por fixar um horizonte final na minimização do valor presente (CHRISTER; SCARF, 1994; SCARF; HASEHM, 2002; REGNIER et al., 2004; YATSENKO; HRITONENKO, 2005, 2015).

Por fim, a categoria de vida econômica minimiza o custo anual equivalente por meio da identificação da vida útil ótima de um ativo. Este método é defendido pela simplicidade e eficiência, porém deve seguir as suposições de repetitividade: custos estacionários e horizonte infinito (NEWMAN et al., 2004; HARTMAN; MURPHY, 2006; YATSENKO; HRITONENKO, 2011, 2015).

Pode-se ver que há, basicamente, duas abordagens clássicas para o problema econômico da substituição de ativos: valor presente (ou variações, como valor presente líquido e fluxo de caixa descontado – *net present value* e *discounted cash flow*, respectivamente) e custo anual equivalente. O valor presente é o método mais geral, enquanto o custo anual equivalente é uma variação sua que apresenta um resultado mais fácil de ser interpretado, entretanto deve seguir as suposições de repetitividade. Mesmo assim, para ambientes que não respeitam essas suposições, foi concluído que para taxas pequenas (de até

1%) na diferença de custos entre gerações de ativos por causa da mudança tecnológica, os resultados advindos dos dois métodos coincidem, enquanto que para taxas maiores o resultado é somente parecido (YATSENKO; HRITONENKO, 2011, 2015; ADKINS; PAXSON, 2013a).

Com relação aos horizontes, é fácil entender que teoricamente o modelo mais preciso é aquele que considera um horizonte infinito. No entanto, a literatura reconhece que a decisão mais urgente e, portanto, a mais importante é a identificação da vida econômica do ativo atual. Sendo assim, na prática os modelos para substituição de ativos são raramente utilizados para identificar vidas ótimas além da vida econômica do ativo atual (THUESEN; FABRYCKY, 1993; NEWMAN et al., 2004; HARTMAN, 2007; YATSENKO; HRITONENKO, 2011).

Nesta linha, segundo Yatsenko e Hritonenko (2015), a previsão da vida econômica do ativo pode ser calculada através da minimização apresentada nas Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

$$EL_1 = \min C_1(L) \quad (4.1)$$

$$C_1(L_1) = R(r, T)PV_1(L_1, 0) \quad (4.2)$$

$$R(r, T) = \frac{r}{1 - e^{-rT}} \quad (4.3)$$

$$PV_k(L_k, \tau_{k-1}) = e^{-r(\tau_{k-1} + L_k)} [P(\tau_{k-1} + L_k) - S(\tau_{k-1}, \tau_{k-1} + L_k)] + \int_{\tau_{k-1}}^{\tau_{k-1} + L_k} e^{-ru} A(\tau_{k-1}, u) du \quad (4.4)$$

Onde EL_1 é a vida econômica do ativo atual, em R\$/ano, $C_1(L)$ é o custo anual equivalente do ciclo de vida do ativo atual, em R\$/ano, que depende da vida L do ativo, em anos, $R(r, T)$ é o fator de recuperação anual de capital, que depende da taxa de desconto r , em % ao ano, e do tempo T , em anos, PV_k é o valor presente do custo total da substituição do k -ésimo ativo, que depende do tempo de introdução do k -ésimo ativo τ_{k-1} , em anos, do custo de compra e instalação do novo ativo $P(t)$ no tempo t , em R\$, do valor residual do ativo $S(t, u)$ no tempo u comprado no tempo t , em R\$, e dos custos de manutenção e operação do ativo $A(t, u)$ no tempo u comprado no tempo t , em R\$.

Ademais, a principal diferença entre os modelos para avaliação da substituição de ativos está nos elementos considerados. De modo geral, estes elementos podem ser

características da deterioração do ativo analisado ou características do mercado. O Quadro 4.1 expõe uma variedade destes elementos de forma organizada (MEYER, 1993; CHANG, 2005).

Quadro 4.1 - Elementos da degradação de ativos.

Elementos da degradação de ativos				
Ativo (operacional)			Oportunidade (estratégico)	
Deterioração			Obsolescência de custos	Obsolescência de mercado
Aumento nos custos	Diminuição de capacidade e de qualidade	Diminuição do valor de venda	Aumentos nos custos de operação (comparado a novos ativos)	Diminuição de receita potencial (comparado a novos ativos)
<i>Energia, tempo parado, reparo, revisão, manutenção preventiva, custo do espaço ocupado, seguro</i>	<i>Produção, hora extra, sucata, retrabalho, custo do trabalho, subcontratação</i>	<i>Valor residual</i>	<i>Produção, energia, tempo parado, reparo, manutenção preventiva, custo do espaço ocupado, seguro, tempo de ciclo, estoque, custo do trabalho, sucata, retrabalho, programação, design da interface.</i>	<i>Qualidade, variedade de produtos, flexibilidade, produtividade, entrega, demanda, importância técnica, market share, preço</i>
Função da idade e do uso acumulado			Função de mudanças tecnológicas	
Substituição pura: minimização dos custos				
Substituição estratégica: maximização dos lucros				

Fonte: Adaptado de Chang, 2005.

Os elementos que caracterizam a deterioração do ativo podem ser divididos em: aumento nos custos; diminuição de capacidade e de qualidade; e diminuição do valor de venda. Em geral, estes elementos aparecem em diversos modelos, mesmo que de forma simplificada. O mais comum é ter uma taxa de aumento nos custos de operação a cada período e uma taxa de diminuição do valor residual do ativo. Quando há um maior detalhamento, a diminuição das receitas, advindas da diminuição de capacidade e de qualidade, pode aparecer de forma separada, e não integrada ao aumento de custos na forma de perdas (MEYER, 1993; CHANG, 2005; ZHAO; NAKAGAWA, 2012; VAN OOSTEROM et al., 2014).

Já os elementos que caracterizam o mercado são vistos como oportunidades estratégicas. A obsolescência de custos é bastante discutida na literatura e sua incorporação em modelos para substituição de ativos já é uma realidade. Entretanto, os elementos que compõem a obsolescência de mercado são mais subjetivos e de complexa mensuração. Por isso, eles dificilmente são incluídos nos modelos, mesmo com alertas de pesquisadores para a sua importância estratégica e competitiva, em especial para os mercados tecnológicos (MEYER, 1993; CHANG, 2005; YATSENKO; HRITONENKO, 2011, 2015).

É possível exemplificar a utilização destes diversos elementos. Cheevaprawatdomrong e Smith (2003), Hritonenko e Yatsenko (2007) e Yatsenko e Hritonenko (2011, 2015) estudaram em maior detalhe as implicações e a incorporação da obsolescência de custos, ou mudanças tecnológicas, em modelos para a substituição de ativos. Já Hartman (2004), Chang (2005) e Chang et al. (2013) buscaram entender os efeitos da deterioração dos ativos na sua vida útil e, portanto, na sua substituição, utilizando programação dinâmica estocástica, estratégia *fuzzy* e modelo matemático, respectivamente. Outros autores analisaram as consequências de alternativas nas decisões para substituição de ativos: Adkins e Paxson (2013a) consideraram a possibilidade de adiantar ou adiar a substituição de ativos; Nguyen et al. (2013) levaram em consideração o inventário de peças sobressalentes na manutenção e na substituição de ativos; e Richardson et al. (2013) incluíram na análise a incerteza em relação ao *lead time* entre a compra e a entrega do novo ativo.

Além disso, há abordagens mais amplas para a questão de substituição de ativos. Alguns modelos tratam o problema dentro da política de manutenção, como Nodem et al. (2009), cujo modelo de decisão hierárquica busca otimizar o planejamento na manutenção (reparar ou substituir), ou Stasko e Gao (2012), que propõem um modelo de programação dinâmica estocástica para o gerenciamento de frotas (reparar, restaurar ou substituir), ou van Oosterom et al. (2014), cujo objetivo é otimizar a política de manutenção com a possibilidade de adiar a substituição de ativos, ou então Puig e Basten (2015), que discutem o nível de substituição para otimização econômica da manutenção (peça, sistema ou ativo). Outros autores buscam enfoques diferentes para a substituição de ativos: Sharma et al. (2007), com o enfoque logístico; Sloan (2011), com enfoque ambiental; Zambujal-Oliveira e Duque (2011) e Adkins e Paxson (2013b), com enfoque contábil; e Tang (2013), com enfoque na programação da substituição de ativos.

Ademais, Hartman e Tan (2014) realizaram uma revisão da literatura sobre substituição de ativos. Esses autores apresentaram vários modelos considerando elementos, como impostos, utilização do ativo, incorporação de incertezas e mudanças tecnológicas. Eles também indicam sugestões para trabalhos futuros nesta área que, de maneira geral, concentram-se na estimativa de vida útil econômica de ativos de forma prática. Alguns métodos sugeridos são programação dinâmica, modelos de capital econômico e algoritmos para resolver problemas não lineares.

No que se refere ao ambiente aeroportuário, o problema em relação à gestão de ativos, principalmente nos aeroportos brasileiros, já foi identificado. McKinsey (2010) e Wanke (2013) corroboram que vários aeroportos brasileiros de grande porte não utilizam

eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos, entretanto não entram em detalhes. Deste modo, há pouca literatura aprofundada sobre a substituição de ativos aeroportuários e este ambiente carece de estudos práticos.

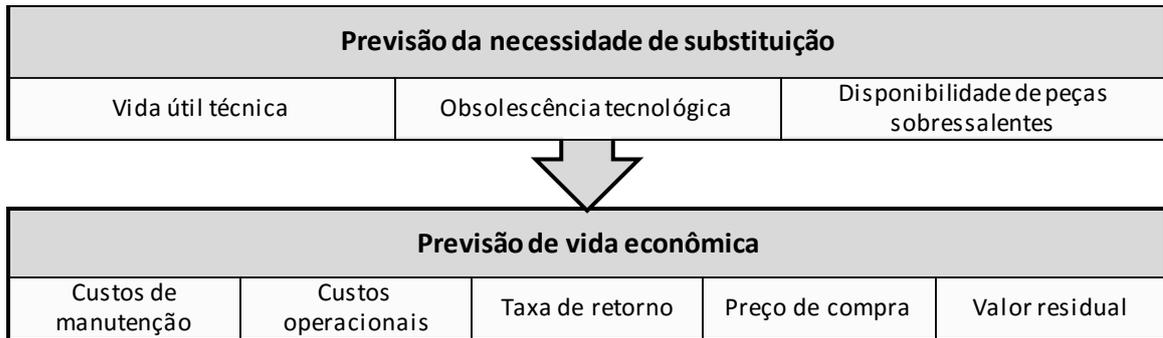
Neste sentido, este trabalho tem como base os resultados dos Capítulos II e III, que estudaram em maior detalhe os ativos aeroportuários. Os autores identificaram os ativos mais importantes e os elementos que influenciam nas suas vidas úteis, além de propor e aplicar um modelo para vida útil restante neste ambiente. Os autores concluíram que a maioria dos ativos (ar condicionado, elevador, escadas, esteiras, geradores, *fingers*, etc.) é influenciada por fatores operacionais, como a vida técnica e os custos de manutenção e operação. Enquanto isso, poucos ativos (detector de metal, raio-X e veículo contra incêndio) são influenciados pela obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças sobressalentes. Também foi proposto e aplicado um modelo para a identificação da vida útil restante técnica de ativos em terminais aeroportuários, baseado em conhecimento de especialistas e dados de manutenção.

3. Modelo para avaliação da substituição de ativos em aeroportos

O modelo adaptado neste artigo está baseado na literatura apresentada na seção anterior. Em especial, os elementos a serem considerados pelo modelo proposto são os cinco mais relevantes para ativos aeroportuários, destacados no Capítulo II: (1) elementos técnicos, (2) custo de manutenção, (3) custo operacional, (4) obsolescência tecnológica e (5) disponibilidade de peças sobressalentes. Já o método para o cálculo da substituição econômica de ativos utilizado é baseado na vida econômica, ou *economic life replacement*, por causa da sua simplicidade e eficiência (YATSENKO; HRITONENKO, 2015).

O modelo proposto tem sua execução dividida em duas etapas, conforme Figura 1. São elas: (1) previsão da necessidade de substituição e (2) previsão da vida econômica. A primeira etapa considera os elementos técnicos (através da vida útil técnica), a obsolescência tecnológica e a disponibilidade de peças sobressalentes, enquanto a segunda etapa cobre os elementos de custo de manutenção e operação, assim como taxa de retorno, preço de compra e valor residual.

Figura 4.1 - Modelo proposto para avaliação da substituição de ativos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A primeira etapa busca entender a necessidade de substituição do ativo em um determinado horizonte de planejamento através de três elementos, cujas informações são mais complexas de serem obtidas ou transformadas em termos monetários. O primeiro deles é a vida útil técnica, que considera os elementos técnicos do ativo em questão. Sugere-se a aplicação do método proposto no Capítulo III para a identificação da vida útil restante do ativo. Então, responde-se a seguinte questão:

- Há previsão de fim da vida útil técnica do ativo antes do final deste horizonte de planejamento?

O segundo elemento considerado nesta etapa é a obsolescência tecnológica. Aqui, estuda-se a necessidade de adquirir um novo ativo por causa de uma funcionalidade adicional ou totalmente nova que ele apresenta em relação ao ativo atual. Para tal, deve-se ter em mente novas normas ou leis que recomendem ou obriguem os terminais aeroportuários a adquirir esta funcionalidade, além de vantagens operacionais e estratégicas que a nova funcionalidade pode proporcionar. Após esta análise, que pode ser realizada de diversas formas e não está no escopo deste trabalho, responde-se a seguinte questão:

- Há funcionalidades tecnológicas em novos ativos que apontem a necessidade da substituição antes do final deste horizonte de planejamento?

Por fim, na primeira etapa também é considerado a disponibilidade de peças sobressalentes. Uma preocupação da manutenção é que algumas peças de ativos mais antigos deixam de ser comercializadas e, portanto, impossibilita a sua troca, quando necessário. Desta forma, este assunto deve ser analisado pelas equipes responsáveis (manutenção e compras, por exemplo) e, então, deve-se responder a seguinte questão:

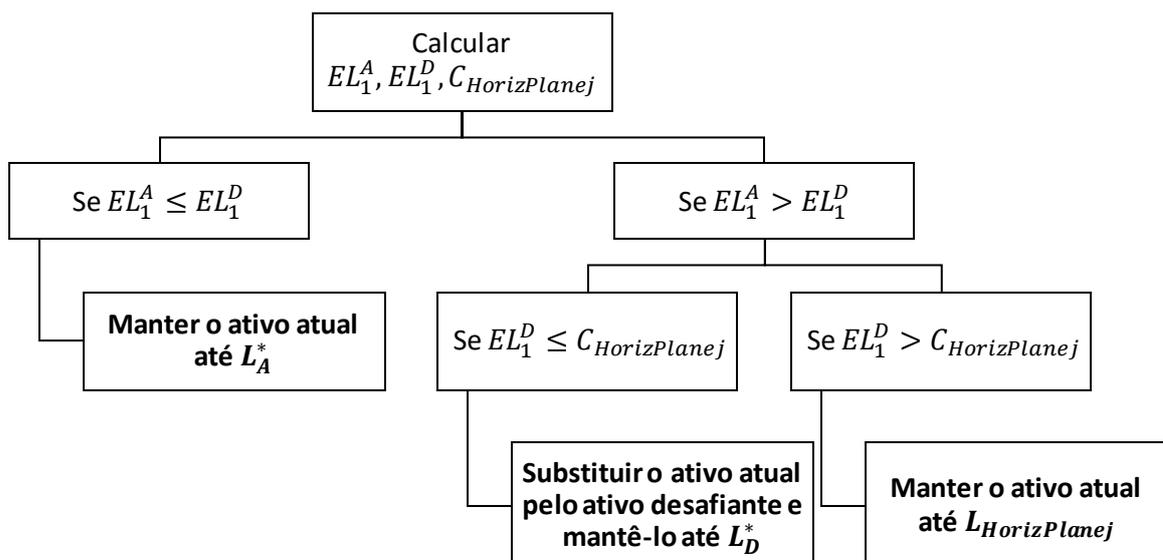
- Há dificuldades na aquisição de peças sobressalentes que apontem para a substituição antes do final deste horizonte de planejamento?

Caso qualquer uma das três perguntas acima tiver resposta positiva, sugere-se incluir a substituição do ativo em questão neste horizonte de planejamento. Caso a resposta para todas as perguntas for negativa, deve-se continuar para a segunda etapa e realizar a previsão de vida econômica do ativo.

Após a avaliação dos elementos técnicos e tecnológicos, é possível aplicar o método da vida econômica apresentado por Yatsenko e Hritonenko (2015), através da minimização apresentada nas Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, assumindo razoavelmente os seus princípios.

Através da aplicação do método para o ativo atual, encontra-se o EL_1^A , ou a minimização da vida econômica do ativo atual ao encontrar a sua vida ótima L_A^* . O método também deve ser aplicado para o melhor ativo desafiante no mercado, encontrando-se o EL_1^D , ou a minimização da vida econômica do ativo desafiante ao encontrar a sua vida ótima L_D^* . Ademais, é necessário o cálculo de $C_{HorizPlanej}(L_{HorizPlanej}) = R(r, T)PV_{HorizPlanej}(L_{HorizonPlanej}, 0)$, ou seja, o custo anual equivalente do ativo atual para o horizonte de planejamento. Com estas três informações, é possível tomar uma decisão econômica sobre a substituição ou não do ativo atual no horizonte de planejamento, conforme regras apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Regras para a tomada de decisão econômica.



Fonte: Adaptado de Hartman, 2007.

Vale ressaltar que, caso o horizonte de planejamento seja muito grande (mais de um ano, por exemplo), pode ser vantajoso aplicar a previsão de vida econômica do ativo também para aqueles ativos que têm recomendação de substituição por elementos técnicos, obsolescência tecnológica e/ou disponibilidade de peças. Assim, se a resposta da previsão de vida econômica for “Substituir o ativo atual pelo ativo desafiante e mantê-lo até L_D^* ”, a substituição deve ocorrer o mais rápido possível. Nos outros casos, a substituição deve ser adiada ao máximo, respeitando os limites dos elementos da previsão da necessidade de substituição.

Além disso, sugere-se a aplicação do método proposto a cada novo horizonte de previsão, visto que os valores futuros são estimados e, portanto, quanto menor o tempo até eles, maior a sua acurácia. Também é importante ressaltar que o custo de compra e instalação, o valor de revenda e o custo de manutenção e operação podem ser caracterizados por uma série de estimativas anuais ou por funções matemáticas, dependendo dos dados disponíveis.

4. Estudo aplicado

Nesta seção, é apresentado o estudo aplicado realizado em um aeroporto brasileiro de grande porte, localizado em uma das capitais nacionais. Esse aeroporto foi escolhido por ser um dos principais terminais em movimentação de passageiros do Brasil e estar entre os dez maiores aeroportos brasileiros em movimentação de cargas (INFRAERO, 2014). Esta seção está organizada conforme proposto nos procedimentos metodológicos: previsão da necessidade de substituição e previsão de vida econômica.

4.1 Previsão da necessidade de substituição

Inicialmente, foram definidos dois ativos distintos para a realização do estudo aplicado, através de uma reunião entre o pesquisador e o responsável pela gestão de ativos no aeroporto em estudo. Desta forma, foi possível testar e aplicar o modelo duas vezes, garantindo a sua robustez frente a ativos de diferentes naturezas. Dando sequência ao Capítulo III, os ativos escolhidos foram uma Empilhadeira GLP (nomeada Empilhadeira GLP 1 no Capítulo III) e um Carro contra incêndio (nomeado Carro contra incêndio 2 no Capítulo III). Ambos ativos são cruciais para o funcionamento do aeroporto por fazerem parte de subsistemas críticos, isto é, afetam diretamente o passageiro: Equipamentos de transporte de carga (área comercial) e Veículos de combate a incêndios (área segurança), respectivamente.

Na sequência, na mesma reunião, o horizonte de planejamento, isto é a periodicidade em que acontece o planejamento do processo para substituição de ativos, foi identificado como sendo de 1 ano. Além disso, foram respondidas as perguntas referentes à previsão da necessidade de substituição. A primeira pergunta “Há previsão de fim da vida útil técnica do ativo antes do final deste horizonte de planejamento?” foi respondida de forma negativa para o Carro contra incêndio, já que a sua vida útil restante estimada é de 22,2 anos e, assim, maior que o horizonte de planejamento, conforme Capítulo III. No entanto, a resposta foi positiva para a Empilhadeira GLP, pois a sua vida útil restante estimada é zero e, portanto, menor do que o horizonte de planejamento, conforme Capítulo III. Desta forma, caracteriza-se a necessidade de substituição da empilhadeira em questão, entretanto este estudo seguirá para as próximas etapas a fim de testar o modelo proposto por completo.

Em seguida, a segunda pergunta “Há funcionalidades tecnológicas em novos ativos que apontem a necessidade da substituição antes do final deste horizonte de planejamento?” foi respondida de forma negativa para o Carro contra incêndio, visto que ele é um ativo relativamente novo (adquirido em 2014) e, portanto, pode ser considerado tecnologicamente atual. Entretanto, a resposta foi positiva para a Empilhadeira GLP, uma vez que ela é bastante antiga (adquirida em 1989) e, por isso, perde muito para as novas empilhadeiras com relação a emissão de poluentes, facilidade de operação e precisão nos movimentos. Novamente, caracteriza-se a necessidade de substituição da empilhadeira em questão, entretanto este estudo seguirá para as próximas etapas a fim de testar o modelo proposto por completo.

Por fim, a terceira pergunta “Há dificuldades na aquisição de peças sobressalentes que apontem para a substituição antes do final deste horizonte de planejamento?” foi respondida de forma negativa para ambos os ativos. Por conseguinte, não houve nem há previsão de haver dificuldade na aquisição de peças sobressalentes para nenhum dos dois ativos em estudo. Esta conclusão foi alcançada através de informações das equipes de gestão de ativos, manutenção e compras.

Assim sendo, pode-se concluir que há previsão de necessidade de substituição antes do final deste horizonte de planejamento para a Empilhadeira GLP estudada, pois há previsão de fim da vida útil restante e foi constatada obsolescência tecnológica com relação a este ativo. Mesmo assim, este estudo seguirá para as próximas etapas a fim de testar o modelo proposto por completo. Por outro lado, o Carro contra incêndio não apresenta previsão de necessidade de substituição antes do final deste horizonte de planejamento e, por isso, deve seguir para o estudo de previsão de vida econômica.

4.2 Previsão de vida econômica

Após a etapa de previsão de necessidade de substituição, é possível seguir para a etapa de previsão de vida econômica dos ativos em estudos. Para a aplicação do modelo proposto, são necessárias informações atuais e previsões para o futuro, relativos ao custo de manutenção e operação, taxa de retorno, preço de compra e valor residual. Estas foram coletados em reunião entre o pesquisador e o responsável pela gestão de ativos no aeroporto em estudo, baseadas em preços de mercado, histórico de manutenção e compra/venda de ativos, além do conhecimento da equipe de manutenção. A Tabela 4.1 resume os custos anualizados relativos a estes elementos para ambos ativos, Empilhadeira GLP e Carro contra incêndio.

Tabela 4.1 - Dados de entrada para a previsão de vida econômica.

Ativo	Elementos	Empilhadeira GLP (<i>valores anuais</i>)	Carro contra incêndio (<i>valores anuais</i>)
Atual	Custo de manutenção e operação (<i>atualmente</i>)	R\$ 5.000	R\$ 0
	Custo de manutenção e operação (<i>futuramente</i>)	Aumento de R\$ 1.000 por ano	R\$ 16.000 quando acaba a garantia (no ano 2), diminuição de R\$ 3.000 no segundo ano, aumento de R\$ 1.100 por ano até o décimo ano e, então, aumento de R\$ 2.400 por ano
	Valor residual (<i>atualmente</i>)	R\$ 37.500	R\$ 2.000.000
	Valor residual (<i>futuramente</i>)	Redução de R\$ 12.500 por ano	Redução de R\$ 110.000 por ano
Novo	Custo de manutenção e operação (<i>atualmente</i>)	R\$ 2.000	R\$ 0
	Custo de manutenção e operação (<i>futuramente</i>)	Diminuição de R\$ 500 no primeiro ano, aumento de R\$ 100 por ano até o nono ano e, então, aumento de R\$ 250 por ano	R\$ 14.000 quando acaba a garantia (no ano 4), diminuição de R\$ 3.500 no quarto ano, aumento de R\$ 1.100 por ano até o décimo segundo ano e, então, aumento de R\$ 2.400 por ano
	Valor residual (<i>atualmente</i>)	-	-
	Valor residual (<i>futuramente</i>)	R\$ 175.000 no primeiro ano, redução de R\$ 10.000 por ano	R\$ 2.100.000 após 1 ano, redução de R\$ 110.000 por ano
	Preço de compra (<i>atualmente</i>)	R\$ 200.000	\$ 600.000 euros (cerca de R\$ 2.600.000)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Especificamente, os custos de manutenção e operação estão baseados em históricos de manutenção e no conhecimento da equipe de manutenção, assim como a sua provável evolução ao longo dos próximos anos. Assim, em geral, estes custos formam uma curva de banheira, começando em um patamar mais elevado na compra do ativo, baixando-se os custos nos primeiros anos através de ganhos em produtividade e operação, além de baixos custos de manutenção corretiva, e, por fim, estes custos começam no final da vida do ativo, por causa de menor produtividade e maiores custos de operação e de manutenção. Ressalta-se que tais custos foram zerados (atualmente) para os Carros contra incêndio, uma vez que há garantia total por três anos por parte do fabricante.

O preço de compra e o valor residual dos ativos, assim como as suas prováveis variações para o futuro, foram fundamentados no histórico de compra/venda de ativos e no conhecimento da equipe de manutenção. Destaca-se, ainda, que a venda de ativos somente é possível através de leilão, o que justifica uma maior incerteza quanto a este valor e, também, um valor levemente menor para os Carros contra incêndio, já que seu mercado é mais restrito. Já a taxa de retorno utilizada foi de 4% ao ano, considerada baixa, porém necessária afins de gestão e riscos, pois considera-se que o aeroporto, controlado pelo governo, não busca lucro. Ademais, ressalta-se que os valores da Tabela 4.1 não apresentam variabilidade, pois o estudo de riscos e incertezas não está no escopo deste trabalho.

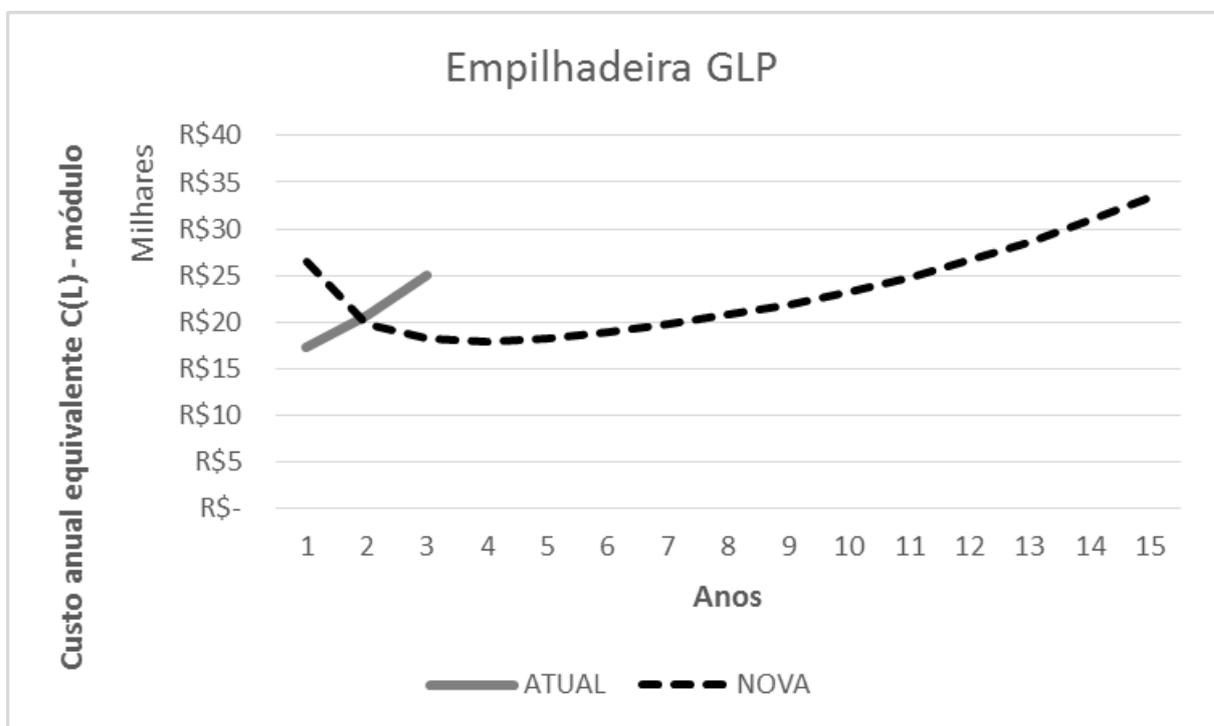
A partir dos dados coletados no aeroporto em estudo, é possível realizar a previsão de vida econômica dos ativos, através da aplicação das Equações 4.1-4.4 para os ativos de acordo com a sua vida útil base dos ativos: 15 anos para Empilhadeira GLP e 18 anos para Carro contra incêndio. Para os ativos atuais este horizonte foi reduzido levando em consideração a sua idade: 26 anos para Empilhadeira GLP e 2 anos para o Carro contra incêndio, conforme Capítulo III. Desta forma, a Tabela 4.2 e as Figuras 4.3 e 4.4 destacam os custos anuais equivalentes $C(L)$ e, conseqüentemente, as vidas econômicas EL_1 e as vidas ótimas L^* da Empilhadeira GLP e do Carro contra incêndio, tanto para os ativos atuais quanto para os novos ativos.

Tabela 4.2 - Resultados da previsão de vida econômica.

L em anos	C(L) em R\$/ano			
	Empilhadeira GLP atual	Empilhadeira GLP nova	Carro contra incêndio atual	Carro contra incêndio novo
1	17.251,67	26.503,33	107.814,67	490.066,66
2	20.801,66	19.819,33	123.814,67	302.762,68
3	25.064,87	18.212,65	131.693,19	240.361,30
4	-	17.934,26	140.176,82	223.185,55
5	-	18.235,13	149.411,56	212.419,44
6	-	18.866,22	159.453,10	208.281,14
7	-	19.721,34	170.331,25	208.292,39
8	-	20.747,85	182.066,04	211.219,22
9	-	21.916,91	194.673,08	216.380,62
10	-	23.211,58	208.165,71	223.372,00
11	-	24.771,40	222.556,00	231.939,49
12	-	26.579,73	239.155,16	241.917,05
13	-	28.625,76	257.896,08	253.192,71
14	-	30.902,35	278.736,81	266.989,15
15	-	33.404,88	301.652,07	283.187,57
16	-	-	326.627,95	301.704,02
17	-	-	-	322.479,00
18	-	-	-	345.470,63

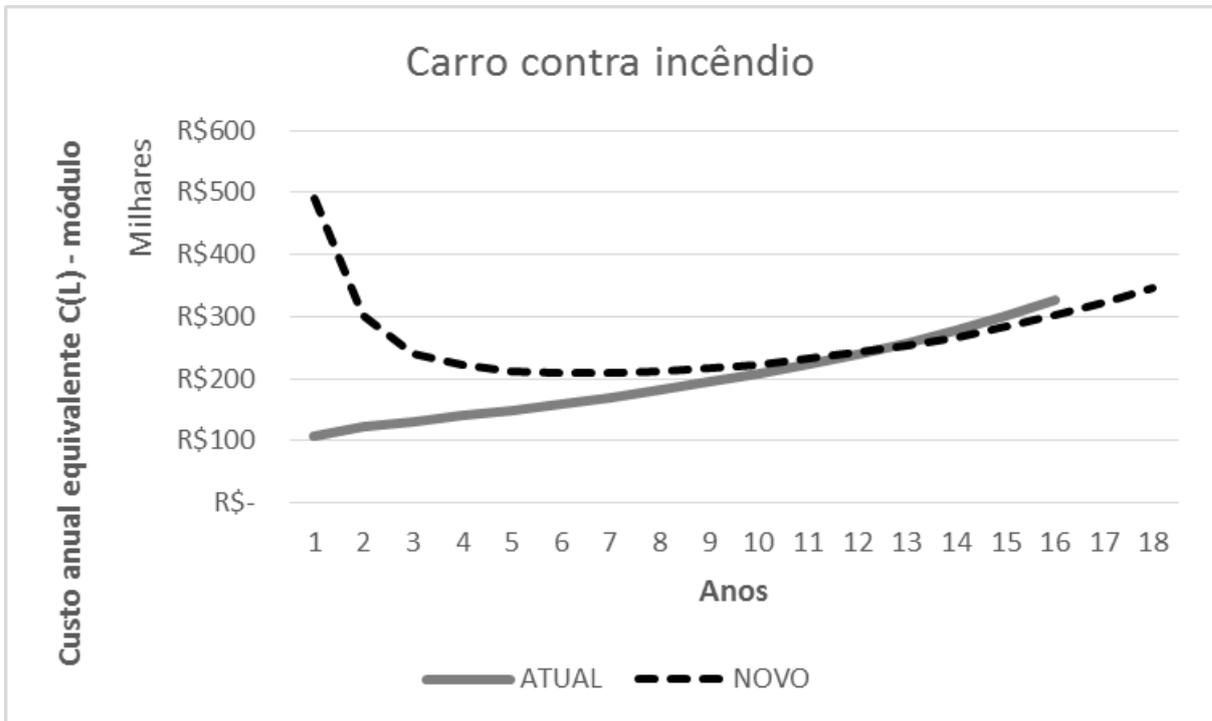
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 4.3 - Resultados da previsão de vida econômica para Empilhadeira GLP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Figura 4.4 - Resultados da previsão de vida econômica para Carro contra incêndio.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Com base nas regras apresentadas pela Figura 4.2 e nas informações constantes na Tabela 4.2, é possível tomar uma decisão econômica sobre a substituição ou não do ativo atual no horizonte de planejamento. Percebe-se que tanto para a Empilhadeira GLP quanto para o Carro contra incêndio a situação encontrada é Se $EL_1^A \leq EL_1^D$, ou seja a vida econômica do ativo atual tem custo menor do que referente ao novo ativo. Desta forma, deve-se manter o ativo atual até L_A^* , que em ambos os casos corresponde a 1 ano.

Cabe ressaltar que a Empilhadeira GLP, conforme visto na subseção anterior, tem a necessidade de substituição por fim de vida útil e obsolescência tecnológica, portanto já estava sugerida a sua substituição imediata. Além disso, a vida econômica da nova Empilhadeira GLP se torna mais vantajosa logo após o primeiro ano de uso da atual Empilhadeira GLP. Em relação ao Carro contra incêndio, percebe-se que a vida econômica do ativo novo, no 6º ano, tem custo de R\$ 208.281,14, sendo este inferior a vida econômica do atual ativo a partir do seu 11º ano. Assim, prevê-se que a substituição deva ocorrer no 10º ano, entretanto o método deve ser reaplicado a cada novo horizonte de previsão, visto que os valores futuros são estimados, portanto, quanto menor o tempo até eles, maior a sua acurácia, além da possibilidade de novos ativos entrarem no mercado com condições mais favoráveis com relação aos seus custos.

5. Conclusões

Uma das principais decisões da gestão de ativos é referente à substituição de ativos, já que ela é crucial para o processo de manutenção, auxiliando na prevenção de perdas produtivas e de diminuição das receitas. Contudo, esta decisão é complexa e deve contemplar elementos financeiros, econômicos e técnicos. Apesar de existir diversos modelos para avaliação da substituição de ativos, nenhum deles foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário, que apresenta problemas na gestão de seus ativos. Assim sendo, percebe-se a necessidade de estudos que contemplem a substituição de ativos em aeroportos, em especial a criação de modelos que levem em consideração as especificidades do setor.

Dentro deste contexto, este trabalho contribui com a adaptação de um modelo para avaliação da substituição de ativos específico para o setor aeroportuário. Este modelo foi, na sequência, aplicado para dois ativos que pertencem a famílias de ativos críticas para o aeroporto: Empilhadeira GLP e Carro contra incêndio. O modelo proposto é dividido em duas etapas: previsão da necessidade de substituição, que considera os elementos técnicos (através da vida útil técnica), a obsolescência tecnológica e a disponibilidade de peças sobressalentes; e previsão de vida útil, onde são abordados os elementos de custo de manutenção e operação, assim como taxa de retorno, preço de compra e valor residual. Ao final, é possível tomar uma decisão completa sobre a substituição ou não do ativo em estudo.

Este trabalho foi conduzido a partir de uma adaptação de um modelo para avaliação da substituição de ativos com posterior estudo aplicado em um aeroporto brasileiro de grande porte. O modelo proposto é fundamentado na literatura, desde os elementos considerados até o método de cálculo da vida econômica dos ativos. As informações necessárias foram obtidas através de entrevistas com o responsável pela gestão de ativos que, por sua vez, basearam-se em dados do sistema de controle do aeroporto. Ao final da aplicação, recomenda-se substituir a Empilhadeira GLP, por fim de vida útil e obsolescência tecnológica e manter o Carro contra incêndio por, pelo menos, 1 ano (horizonte de planejamento). Ao analisar a previsão de vida econômica dos ativos, percebe-se que a nova Empilhadeira GLP se torna mais vantajosa logo após o primeiro ano de uso da atual Empilhadeira GLP. Em relação ao Carro contra incêndio, prevê-se que a substituição deva ocorrer no 10º ano.

Ainda, é importante destacar as limitações deste método, tais como o baixo nível de detalhamento do método proposto na etapa de previsão da necessidade de substituição, especialmente para as decisões referentes à obsolescência tecnológica e disponibilidade de

peças sobressalentes, e ter a visão de um único aeroporto. Essas limitações podem ser superadas em estudos futuros sobre o assunto que incluam abordagens para prever a necessidade de substituição por causa de obsolescência tecnológica e indisponibilidade de peças sobressalentes, além da replicação deste modelo em um maior número de terminais aeroportuários. Ademais, sugere-se para trabalhos futuros a inclusão de técnicas para lidar com incertezas e riscos ligados aos valores utilizados na previsão de vida econômica dos ativos, uma vez que esta análise pode aperfeiçoar o modelo proposto.

6. Referências

- ADKINS, R., PAXSON, D. Deterministic models for premature and postponed replacement. **Omega**, v. 41, n. 6, p. 1008-1019, 2013a.
- ADKINS, R., PAXSON, D. The effect of tax depreciation on the stochastic replacement policy. **European Journal of Operational Research**, v. 229, p. 155-164, 2013b.
- BELLMAN, R. Equipment replacement policy. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 3, n. 3, p. 133-136, 1955.
- CHANG, P.-T. Fuzzy strategic replacement analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 160, p. 532-559, 2005.
- CHANG, C.-C., SHEU, S.-H., CHEN, Y.-L. Optimal replacement model with age-dependent failure type based on cumulative repair-cost limit policy. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, p. 308-317, 2013.
- CHEEVAPRAWATDOMRONG, T., SMITH, R. L. A paradox in equipment replacement under technological improvement. **Operations Research Letters**, v. 31, p. 77-82, 2003.
- CHRISTER, A. H., SCARF, P. A. A robust replacement model with applications to medical equipment. **European Journal of Operational Research Society**, v. 45, p. 261-275, 1994.
- HARTMAN, J. C. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. **European Journal of Operational Research**, v. 159, p. 145-165, 2004.
- HARTMAN, J. C. **Engineering economy and the decision-making process**. Upper Saddle River (New Jersey): Pearson Prentice Hall, 2007.
- HARTMAN, J. C., MURPHY, A. Finite-horizon equipment replacement analysis. **IEE Transactions**, v. 38, n. 5, p. 409-419, 2006.
- HARTMAN, J. C., TAN, C. H. Equipment replacement analysis: a literature review and directions for future research. **The Engineering Economist**, v. 59, n. 2, p. 136-153, 2014.
- HRITONENKO, N., YATSENKO, Y. Optimal equipment replacement without paradox: A continuous analysis. **Operations Research Letters**, v. 35, p. 245-250, 2007.
- IATA. **Annual Review 2014**. Singapore: International Air Transport Association, 2014.
- INFRAERO. **Anuário Estatístico Operacional 2013**. Brasília: Diretoria de Gestão, Coordenação de Estatística e Estudos de Demanda Operacional, 2014.
- LINNARD, W., GANE, M. **Martin Faustmann and the evolution of discounted cash flow: two articles from the original German of 1849**. University of Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1968.
- LUTZ, F., LUTZ, V. **The theory of investment of the firm**. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1951.

- MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo no Brasil: Relatório Consolidado**, 1ª ed. Rio de Janeiro: McKinsey e Company, 2010.
- MEYER, B. C. Market obsolescence and strategic replacement models. **The Engineering Economist**, v. 38, p. 209-221, 1993.
- MOURA NETO, A. Eficiência técnica: uma avaliação de aeroportos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 4, p. 147-174, 2013.
- NEWMAN, D., ESCHENBACH, T., LAVELLE, J. **Engineering economic analysis**, 9ª ed. New York: Oxford University Press, 2004.
- NGUYEN, T. P. K., YEUNG, T. G., CASTANIER, B. Optimal maintenance and replacement decisions under technological change with consideration of spare parts inventories. **International Journal of Production Economics**, v. 143, p. 472-477, 2013.
- NODEM F. I. D., KENNE, J. P., GHARBI, A. Hierarchical decision making in production and repair/replacement planning with imperfect repairs under uncertainties. **European Journal of Operational Research**, v. 198, p. 173-189, 2009.
- PREINREICH, G. A. D. The economic life of industrial equipment. **Econometrica**, v. 8, n. 1, p. 12-44, 1940.
- PUIG, J. E. P., BASTEN, R. J. I. Defining line replaceable units. **European Journal of Operational Research**, v. 247, p. 310-320, 2015.
- REGNIER, E., SHARP, G., TOVEY, C. Replacement under ongoing technological progress. **IIE Transactions**, v. 36, n. 6, p. 497-508, 2004.
- RICHARDSON, S., KEFFORD, A., HODKIEWICZ, M. Optimised asset replacement strategy in the presence of lead time uncertainty. **International Journal of Production Economics**, v. 141, p. 659-667, 2013.
- SCARF, P. A., HASHEM, M. Characterization of optimal policies for capital replacement models. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 13, p. 261-271, 2002.
- SHARMA, M., AMMONS, J. C., HARTMAN, J. C. Asset management with reverse product flow and environment considerations. **Computers & Operations Research**, v. 34, p. 464-486, 2007.
- SLOAN, T. W. Green renewal: incorporation environment factor in equipment replacement decisions under technological change. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 173-186, 2011.
- STASKO, T. H., GAO, H. O. Developing green fleet management strategies: Repair/retrofit/replacement decisions under environment regulation. **Transportation Research Part A**, v. 46, p. 1216-1226, 2012.
- TANG, C.-H. A replacement schedule model for airborne service helicopters. **Computers & Industrial Engineering**, v. 64, p. 1061-1073, 2013.
- TERBORGH, G. **Business investment policy**. Washington (DC): Machinery and Allied Products Institute, 1958.
- THUESEN, G., FABRYCKY, W. **Engineering economy**, 8ª ed. Englewoods Cliffs (New Jersey): Prentice Hall, 1993.
- VAN OOSTEROM, C. D., ELWANY, A. H., ÇELEBI, D., VAN HOUTUM, G. J. Optimal Policy for a delay time model with postponed replacement. **European Journal of Operational Research**, v. 232, p. 186-197, 2014.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 1-5, 2013.
- YATSENKO, Y., HRITONENKO, N. Optimization of the lifetime of capital equipment using integral models. **Journal of Industrial and Management Optimization**, v. 1, n. 4, p. 415-432, 2005.

YATSENKO, Y., HRITONENKO, N. Economic life replacement under improving technology. **International Journal of Production Economics**, v. 133, p. 596-602, 2011.

YATSENKO, Y., HRITONENKO, N. Algorithms for asset replacement under limited technological forecast. **International Journal of Production Economics**, v. 160, p. 26-33, 2015.

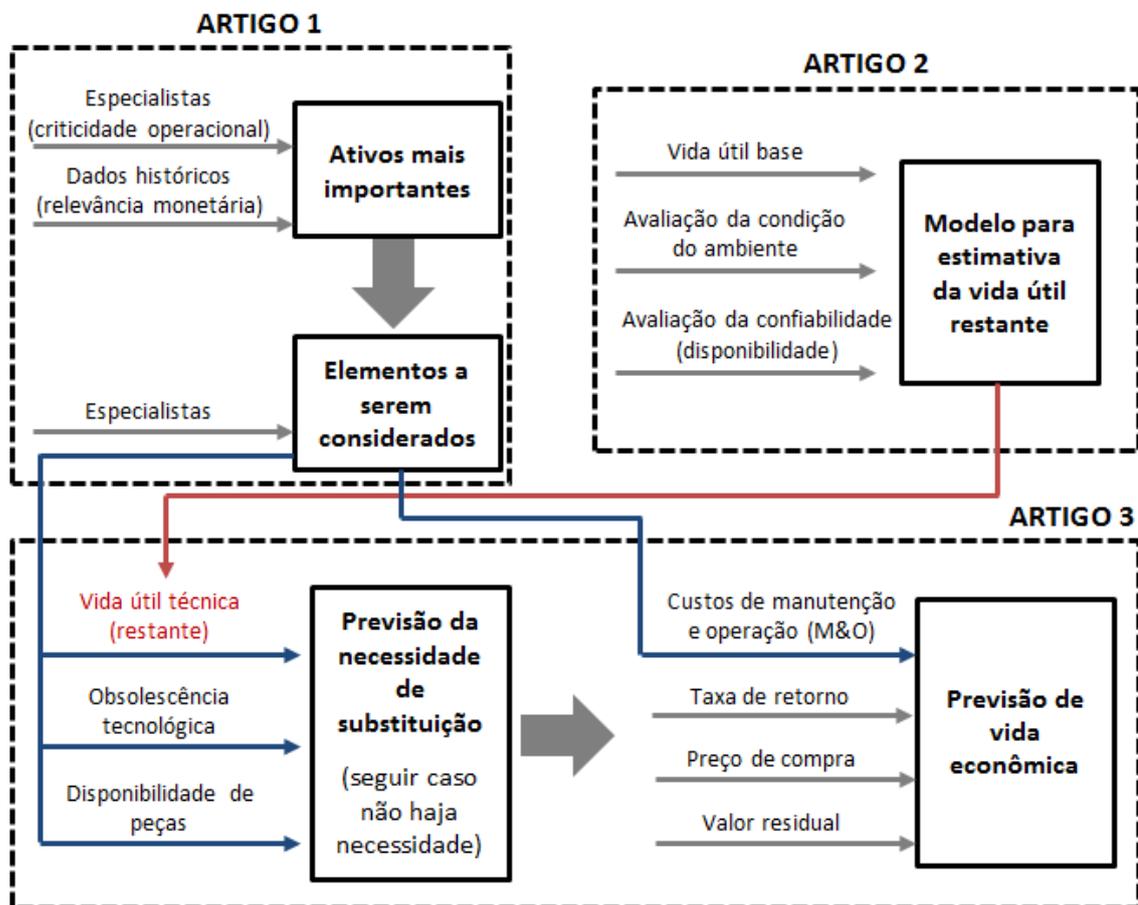
ZAMBUJAL-OLIVEIRA, J., DUQUE, J. Operational asset replacement strategy: A real options approach. **European Journal of Operational Research**, v. 210, p. 318-325, 2011.

ZHAO, X., NAKAGAWA, T. Optimization problems of replacement first or last in reliability theory. **European Journal of Operational Research**, v. 223, p. 141-149, 2012.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo propor e aplicar uma sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário, que pode ser vista em resumo na Figura 5.1. Para tanto, os ativos mais importantes e os principais elementos que influenciam na vida útil de ativos em terminais aeroportuários foram identificados. Além disso, foram propostas adaptações e aplicados dois modelos: o primeiro para estimar a vida útil restante de ativos e o segundo para analisar a substituição econômica de ativos em aeroportos.

Figura 5.1 – Sistemática para avaliação da substituição de ativos no setor aeroportuário.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Assim, o ambiente aeroportuário foi estudado com maior detalhe: os ativos mais importantes foram definidos, assim como os principais elementos que influenciam nas suas vidas úteis. Ainda, modelos de vida útil restante e de substituição econômica de ativos foram levantados a partir da literatura, sendo possível a identificação de pontos positivos e negativos e, desta forma, a proposição de modelos mais próximos à realidade do setor aeroportuário.

Na construção e adaptação dos modelos sugeridos neste trabalho, foram utilizadas diversas áreas de conhecimento, como gestão de ativos, gestão da manutenção, confiabilidade e engenharia econômica. A combinação destas áreas dá robustez ao estudo realizado, ao passo que propicia que seus elementos e técnicas sejam utilizados de forma conjunta.

A compilação dos resultados gerais desta pesquisa é feita através de duas categorias: implicações práticas, que irão abordar os resultados que são aplicáveis diretamente para a empresa gestora e para o aeroporto em estudo, e implicações acadêmicas, que irão mostrar as contribuições deste trabalho para o mundo científico.

5.1 Implicações práticas

Segundo Schuman e Brent (2005), por causa da exaustão das técnicas tradicionais para a redução de custos, as organizações necessitam buscar melhorias apoiadas no uso de métodos mais complexos a fim de aumentar a produtividade de seus ativos. Neste cenário, é importante que a gestão de ativos seja vista como uma atividade essencial dentro da manutenção, em especial a previsão da vida útil de ativos, porque a sua acurácia conduz a melhores planos de manutenção, reduzindo as perdas do processo (SCANFF et al., 2007; ELWANY et al., 2011). Além disso, esta previsão é um dos *inputs* necessários para a análise de substituição econômica de ativos, cujo objetivo é minimizar os custos totais envolvidos (HARTMAN, 2004; NODEM et al., 2009; RICHARDSON et al., 2013).

Ademais, o setor aeroportuário brasileiro apresenta problemas nesta área, uma vez que vários aeroportos brasileiros de grande porte não estão utilizando eficientemente a sua infraestrutura e seus ativos (WANKE, 2013). Por este motivo, é de suma importância para a gestão de ativos aeroportuários uma análise aprofundada sobre o assunto.

Para tal, identificou-se os principais ativos do aeroporto como aqueles que afetam diretamente o passageiro e, na sequência, os elementos que influenciam na vida útil. Observou-se que a maioria dos ativos é influenciada por fatores operacionais, como a vida técnica e os custos de manutenção e operação. Enquanto isso, poucos ativos são influenciados pela obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças.

Em seguida, o modelo de previsão de vida útil restante proposto buscou superar o desafio de desenvolver um modelo de estimativa de RUL com nenhum ou poucos dados, utilizando informações subjetivas, apoiando-se em quatro entradas de informações principais: tempo de uso (turnos por dia), intensidade de uso (baixa, normal ou alta), nível de manutenção (baixo, médio ou alto) e confiabilidade do ativo (avaliada através de sua

disponibilidade). Ainda, o modelo se mostrou robusto, identificando ativos com um amplo intervalo de vida útil restante.

Por fim, o modelo para avaliação da substituição de ativos proposto contemplou elementos financeiros, econômicos e técnicos, resultando em uma decisão completa sobre a substituição ou não do ativo em estudo. Dois ativos serviram como objeto de análise: Empilhadeira GLP e Carro contra incêndio. Recomenda-se substituir a Empilhadeira GLP, por fim de vida útil e obsolescência tecnológica e manter o Carro contra incêndio por, pelo menos, 1 ano (horizonte de planejamento). Ao analisar a previsão de vida econômica dos ativos, percebe-se que a nova Empilhadeira GLP se torna mais vantajosa logo após o primeiro ano de uso da atual Empilhadeira GLP. Em relação ao Carro contra incêndio, prevê-se que a substituição deva ocorrer no 10º ano.

Como um todo, a sistemática proposta realiza um estudo com enfoque no setor aeroportuário, destacando as variáveis específicas do setor como dados de entrada nos modelos. Além disso, propõe-se a incorporar elementos de diversas áreas de conhecimento, tais como engenharia e economia, de forma auxiliar, da melhor forma possível, a tomada de decisão por parte dos gestores de aeroportos.

5.2 Implicações acadêmicas

Diversos autores já demonstraram sua preocupação com a praticidade de modelos construídos para a gestão de ativos (SIKORSKA et al., 2011; HARTMAN; TAN, 2014; AN, et al., 2015). Eles defendem a criação e aplicação de modelos para resolver problemas reais, ou seja, recomendam buscar um problema real, entendê-lo profundamente para, então, sugerir uma solução. Além disso, os modelos propostos devem ser simples, levar em consideração os elementos importantes para o ambiente estudado e lidar com dificuldades, como falta ou escassez de dados (CHANG, 2005; SI et al., 2011).

Neste contexto, apesar dos diversos modelos construídos nesta área, nenhum foi desenvolvido considerando especificamente o ambiente aeroportuário. Portanto, é relevante um estudo das variáveis presentes em ambientes aeroportuários, o que permite a proposição de modelos mais adequados para lidar com as especificidades do setor.

Este estudo apresenta como principal contribuição acadêmica o desenvolvimento de uma sistemática que permite estimar a vida útil e analisar a substituição econômica de ativos aeroportuários. A sistemática é facilmente adaptável e pode ser utilizado por qualquer aeroporto nacional ou internacional, podendo ser replicado ao longo do tempo para fins de

comparação e melhorias a partir de *feedback*. A sequência de etapas dos dois modelos propostos é bastante simples, sendo que os dados necessários para ambos podem ser obtidos ou estimados por especialistas do processo.

O primeiro modelo, que diz respeito a estimativa de vida útil restante de ativos, é baseado principalmente no conhecimento de especialistas, enfrentando a dificuldade de escassez de dados presente em terminais aeroportuários brasileiros. Mesmo assim, o modelo também se utiliza de dados de normas ou legislação, dados de disponibilidade de ativos e de uma modelagem robusta para estimar a vida útil restante dos ativos.

O segundo modelo, referente à avaliação da substituição econômica de ativos, leva em consideração os principais elementos que influenciam na substituição de ativos em terminais aeroportuários. Deste modo, primeiramente verifica a necessidade de substituição, considerando a vida útil restante, a obsolescência tecnológica e a disponibilidade de peças sobressalentes, e na sequência calcula a vida econômica, através dos custos e taxas envolvidas.

Os resultados encontrados para o aeroporto em estudo, apresentados neste trabalho, mostram-se robustos à medida que estão coerentes com a realidade, de acordo com o conhecimento empírico dos próprios responsáveis pela gestão de ativos. Este primeiro passo ajudou a consolidar a sistemática empregada, visto que serviu como modelo estruturado do processo informal já existente na empresa gestora para substituição de ativos.

A partir deste estudo, surgem novas oportunidades para futuros trabalhos, como propor modelos para a previsão da necessidade de substituição, a fim de definir um processo para as decisões referentes à obsolescência tecnológica e disponibilidade de peças sobressalentes dos ativos. Da mesma forma, pode-se sugerir um estudo com outro enfoque para a substituição de ativos, permitindo estudar outros elementos, como contábeis e ambientais, por exemplo. Outra importante contribuição a ser levantada é uma pesquisa com enfoque mais quantitativo para a estimativa de vida útil restante, utilizando somente dados históricos de manutenção e confiabilidade, a fim de se comparar com os resultados obtidos através da abordagem qualitativa e verificar os dados apresentados.

VI. REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR ISO 55000:2014** Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia, 1ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 23 p., 2014.
- AHN, Y.-H., MIN, H. Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index. **Journal of Air Transport Management**, v. 39, p. 12-22, 2014.
- AN, D., KIM, N. H., CHOI, J.-H. Practical options for selecting data-driven or physics-based prognostics algorithms with reviews. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 133, p. 223-236, 2015.
- ANAC. **Anuário do Transporte Aéreo: Dados Estatísticos e Econômicos de 2012**. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2013.
- BSI. **BSI PAS 55-1:2008** Asset Management – Part 1: Specification for the optimized management of physical assets, 1ª ed. London: British Standards Institution, 24 p., 2008.
- CERVO, A. L., BERVIAN, P. A., DA SILVA, R. **Metodologia Científica**, 6 ed. São Paulo: Pearson Education, 162 p., 2012.
- CHANG, P.-T. Fuzzy strategic replacement analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 160, p. 532-559, 2005.
- DE MARCHI, M. Reviewing some OECD's R&D definitions. **Scientometrics**, v. 63, n. 2, p. 403-405, 2005.
- DIEESE. **Nota Técnica Número 132**. São Paulo: Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos, 2014. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/notatecnica/2013/notaTec132SalarioMinimo2014.pdf>>. Acesso em: 16/10/2015.
- ELWANY, A., GEBRAEEL, N. Z., MAILLART, L. Structured replacement policies for systems with complex degradation processes and dedicated sensors. **Operations Research**, v. 59, n. 3, p. 684-695, 2011.
- GIBBONS, P. M., KENNEDY, C., BURGESS, S. C., GODFREY, P. Developing an asset management value improvement model (a-VIM) approach for an airport operational engineering environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 29, n. 7, p. 797-819, 2012.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 5. ed. São Paulo: Atlas, 200 p., 2010.
- HARTMAN, J. C. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. **European Journal of Operational Research**, v. 159, p. 145-165, 2004.
- HARTMAN, J. C., TAN, C. H. Equipment replacement analysis: a literature review and directions for future research. **The Engineering Economist**, v. 59, n. 2, p. 136-153, 2014.
- IATA. **Annual Review 2014**. Singapore: International Air Transport Association, 2014.
- INFRAERO. **Anuário Estatístico Operacional 2013**. Brasília: Diretoria de Gestão, Coordenação de Estatística e Estudos de Demanda Operacional, 2014.
- JARDINE, A. K. S., LIN, D., BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 20, p. 1483-1510, 2006.
- KIM, K. O., KUO, W. Optimal burn-in for maximizing reliability of repairable non-series systems. **European Journal of Operational Research**, v. 193, p. 140-151, 2009.
- MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo no Brasil: Relatório Consolidado**, 1ª ed. Rio de Janeiro: McKinsey e Company, 2010.
- MELLO, C. H. P., TURRIONI, J. B., XAVIER, A. F., CAMPOS, D. F. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2012.

- MITCHELL, J. S. **Physical Asset Management Handbook**, 4^a ed. Huston (Texas): Clarion Technical publishers, 2012.
- MOURA NETO, A. Eficiência técnica: uma avaliação de aeroportos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 4, p. 147-174, 2013.
- NODEM F. I. D., KENNE, J. P., GHARBI, A. Hierarchical decision making in production and repair/replacement planning with imperfect repairs under uncertainties. **European Journal of Operational Research**, v. 198, p. 173-189, 2009.
- OUERTANI, M. Z., PARLIKAD, A. K., MCFARLANE, D. Towards an approach to select an asset information management strategy. **International Journal of Computer Science and Applications**, v. 5, n. 3b, p. 25-44, 2008.
- PECHT, M. **Prognostics and Health Management of Electronics**, 1^a ed. New Jersey: Wiley, 2008.
- RAINERI, R. Asset life and pricing the use of electricity transmission infrastructure in Chile. **Energy Policy**, v. 38, p. 30-41, 2010.
- RICHARDSON, S., KEFFORD, A., HODKIEWICZ, M. Optimised asset replacement strategy in the presence of lead time uncertainty. **International Journal of Production Economics**, v. 141, p. 659-667, 2013.
- SCANFF, E., FELDMAN, K. L., GHELAM, S., SANDBORN, P., GLADE, M., FOUCHER, B. Life cycle cost estimation of using prognostic health management (PHM) for helicopter avionics. **Microelectronics Reliability**, v. 47, n. 12, p. 1857-1864, 2007.
- SCHUMAN, C. A., BRENT, A. C. Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 6, p. 566-579, 2005.
- SI, X.-S., WANG, W., HU, C.-H., ZHOU, D.-H. Remaining useful life estimation – A review on the statistical data driven approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 213, p. 1-14, 2011.
- SI, X.-S., CHEN, M.-Y., WANG, W., HU, C.-H., ZHOU, D.-H. Specifying measurement errors for required lifetime estimation performance. **European Journal of Operational Research**, v. 231, p. 631-644, 2013.
- SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, 4^a ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SIKORSKA, J. Z., HODKIEWICZ, M., MA, L. Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 25, p. 1803-1836, 2011.
- TOLEDO-LÓPEZ, A., PICHARDO, R. D., CASTAÑEDA, J. C. J., SÁNCHEZ-MEDINA, P. S. Defining success in subsistence businesses. **Journal of Business Research**, v. 65, n. 12, p. 1658-1664, 2012.
- WANG, H. Z. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European Journal of Operation Research**, v. 139, n. 3, p. 469-489, 2002.
- WANG, W., ZHANG, W. An asset residual life prediction model based on expert judgments. **European Journal of Operation Research**, v. 188, p. 496-505, 2008.
- WANG, L., CHU, J., MAO, W. A condition-based replacement and spare provisioning policy for deteriorating systems with uncertain deterioration to failure. **European Journal of Operation Research**, v. 194, p. 184-205, 2009.
- WANKE, P. F. Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 31, p. 1-5, 2013.