

MODELO PARA VIDA ÚTIL RESTANTE DE ATIVOS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS

REMAINING USEFUL LIFE MODEL TO AIRPORT ASSETS

Marcelo Müller Beuren* E-mail: mmbeuren@hotmail.com
José Luis Duarte Ribeiro* E-mail: ribeiro@producao.ufrgs.br
*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

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. 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. O objetivo principal deste trabalho é propor 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 adequado para lidar com as especificidades do setor.

Palavras-chave: Vida útil de ativos. Vida útil restante. Aeroportos.

Abstract: Studies highlight the importance of accurate asset life estimation in order to reduce costs and increase productivity in companies, in particular the Remaining Useful Life (RUL). However, this estimation is very sensitive to the method used and the amount of data available for analysis. Although there are several models for remaining useful life of assets, none of those were developed specifically to airports, which present problems in asset management. The main objective of this work is to develop a model to estimate the remaining life of assets in airports, in addition to its application in a Brazilian airport. It can be concluded that model was able to identify assets with a wide range of remaining useful life, relying on subjective information and few historical data. In addition, the study of the airports variables appears as a main contribution, which allows the development of models more appropriated to the specificities of the sector.

Keywords: Asset life. Remaining useful life. Airports.

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 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 RUL (MCKINSEY, 2010; WANKE, 2013; BEUREN; RIBEIRO, 2016). 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 propor um modelo para RUL em aeroportos. Após a proposição do modelo, ele foi aplicado em um aeroporto brasileiro na forma de estudo de caso. 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.

1.1 Vida útil restante

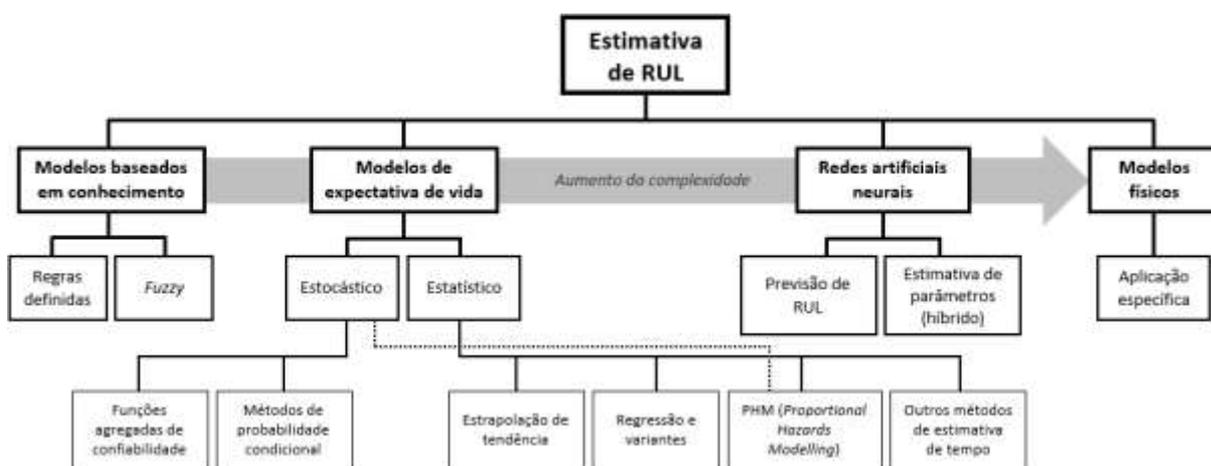
O conceito de vida útil restante, ou *Remaining Useful Life* (RUL), vem da engenharia prognóstica e surgiu como um diagnóstico preventivo que, em princípio, buscava uma estimativa de tempo de vida e risco de falhas para ativos, pela análise de sua condição e degradação ao longo do tempo. Mais tarde, 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 RUL e seu intervalo de confiança são os principais resultados da engenharia prognóstica. O intervalo de confiança está diretamente relacionado 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, utilizando dados observados para identificar a condição e degradação de ativos, ou abordagem baseada em modelos físicos, 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 1.

Figura 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 neurais artificiais são a terceira categoria, nas quais a RUL é estimada pela 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 neurais artificiais 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 seus desempenhos por meio de um estudo de caso. 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.

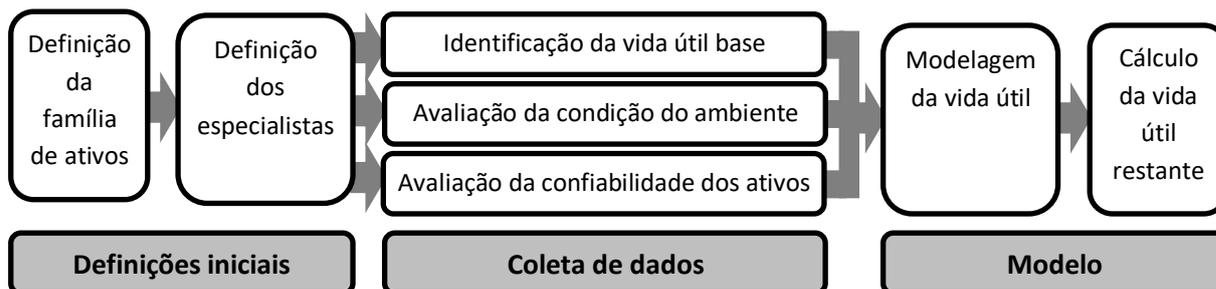
Neste sentido, este trabalho tem como base os resultados de Beuren e Ribeiro (2016), que estudaram em profundidade a natureza dos ativos aeroportuários. Eles identificaram os ativos mais importantes e, posteriormente, os elementos que influenciam nas suas vidas úteis. Os autores concluíram que a maioria 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.

1.2 Modelo para 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, pela correção da vida útil base na 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 unidades 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.

Figura 2 – Modelo proposto para vida útil restante



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. Identificada 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, verificar com os especialistas se, em condições normais, 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 numa escala contínua de 0,5 a 1,5, com valores de referência conforme Tabela 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 1 – Escala de referência para avaliação da condição do ambiente

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

Posteriormente, é proposta uma avaliação da confiabilidade dos ativos pela 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 1, na qual o tempo de parada se refere ao tempo que o equipamento estava indisponível devido a quebras e necessidade de manutenção corretiva.

$$Disp = \frac{\textit{tempo de uso}}{\textit{tempo de uso} + \textit{tempo de parada}} \quad (1)$$

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 2, na qual a indisponibilidade é igual a $1 - Disp$. Os valores intermediários são obtidos pela interpolação linear.

Tabela 2 – Escala de referência para o índice de disponibilidade (ÍndDisp)

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

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 2.

$$Vida\ útil = VB \times \left(\frac{Man \times ÍndDisp}{Tur \times Int} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

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. Esta etapa também serve para verificar 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.

$$Vida\ útil\ restante = \max \left\{ \begin{array}{l} Vida\ útil - Idade\ do\ ativo \\ 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

2 ESTUDO DE CASO

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.

2.1 Definições iniciais e coleta de dados

Primeiramente, foram definidas duas famílias de ativos para a realização do estudo aplicado, após uma reunião entre o pesquisador e o responsável pela gestão de ativos no aeroporto. 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 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 e 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 – 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	

Tabela 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

Por fim, a última etapa de coleta de dados é a avaliação da confiabilidade dos ativos, pela disponibilidade. A partir dos dados dos últimos 12 meses, fornecidos pela gestão do aeroporto, foi possível organizá-los em tempo de uso e tempo de parada (preventiva e corretiva) e, pela Equação 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 5 e 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 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%

Tabela 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%

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 1. Já o índice de disponibilidade (ÍndDisp) respeita a escala de referência da Tabela 2, sendo os valores intermediários obtidos pela interpolação linear. Desta forma, os dados de entrada para a modelagem de vida útil estão organizados nas Tabelas 7 e 8 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente.

Tabela 7 – Dados de entrada para a modelagem de vida útil para Empilhadeiras GLP

Ativo	Vida útil base (VB)	Turnos de uso (Tur)	Intensidad e de uso (Int)	Nível de manutenção (Man)	Índice de disponibilidade e (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

Tabela 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

2.2 Aplicação do modelo proposto

Finalmente, após a coleta dos dados, é possível aplicar a modelagem de vida útil restante. Pelos dados presentes nas Tabelas 7, para Empilhadeiras GLP, e 8, para Carros contra incêndio, calcula-se a vida útil dos ativos de acordo com a Equação 2. Além disso, após obter as idades dos ativos, também é possível calcular a vida útil restante dos ativos por meio da Equação 3. O cálculo da vida útil, as

idades e o cálculo da vida útil restante dos ativos são apresentados nas Tabelas 9 e 10 para Empilhadeiras GLP e Carros contra incêndio, respectivamente.

Tabela 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	$= 19,7 - 26,0 = 0 \text{ anos}$
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	$= 12,8 - 7,0 = 5,8 \text{ anos}$
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	$= 12,8 - 7,0 = 5,8 \text{ anos}$
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	$= 12,8 - 7,0 = 5,8 \text{ anos}$
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	$= 12,8 - 7,0 = 5,8 \text{ anos}$
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	$= 13,0 - 4,0 = 9,0 \text{ anos}$
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	$= 13,0 - 4,0 = 9,0 \text{ anos}$
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	$= 15,9 - 9,0 = 6,9 \text{ anos}$
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	$= 15,9 - 9,0 = 6,9 \text{ anos}$
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	$= 13,0 - 6,0 = 7,0 \text{ anos}$
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	$= 13,0 - 6,0 = 7,0 \text{ anos}$

Tabela 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	$= 23,7 - 2,5 = 21,2 \text{ anos}$
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	$= 23,7 - 1,5 = 22,2 \text{ anos}$
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	$= 23,7 - 1,5 = 22,2 \text{ anos}$
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	$= 23,7 - 1,5 = 22,2 \text{ anos}$
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	$= 23,7 - 1,5 = 22,2 \text{ anos}$
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	$= 18,0 - 17,0 = 1,0 \text{ ano}$
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	$= 18,0 - 21,0 = 0 \text{ anos}$
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	$= 18,0 - 20,5 = 0 \text{ anos}$

Os resultados mostram que o modelo respondeu adequadamente 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 pela aplicação do modelo proposto, inclusive estendendo este estudo para todas as famílias de ativos consideradas críticas.

3 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.

Neste contexto, este trabalho contribui com a proposição 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 proposição 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.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR ISO 55000:2014** Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 23 p.

ABU-HANNA, A., LUCAS, P. Prognostic models in medicine. **Methods of Information in Medicine**, v. 40, n. 1, p. 1-5, 2001. <http://dx.doi.org/10.3414/ME09-01-0039>

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2014.09.014>

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. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540412331327727>

BEUREN, M. M., RIBEIRO, J. L. D. Sistemática para substituição de ativos no setor aeroportuário: Identificação dos principais elementos que influenciam na vida útil de ativos em terminais aeroportuários. In: BEUREN, M. M. **Sistemática para substituição de ativos no setor aeroportuário**. Porto Alegre (RS): Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

BIAGETTI, T., SCIUBBA, E. Automatic diagnostics and prognostics of energy conversion processes via knowledge-based systems. **Energy**, v. 29, p. 2553-2572, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.031>

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, n. 2, p. 506-516, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.03.023>

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. <http://doi.org/10.1109/TASE.2009.2038170>

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. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.ymssp.2011.10.009>

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.strusafe.2005.08.006>

FINKELSTEIN, M. S., ESAULOVA, V. Why the mixture failure rate decreases. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 71, n. 2, p. 173-177, 2001. [http://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00092-2](http://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00092-2)

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2008.12.006>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ymssp.2008.06.009>

HYNDMAN, R., KOEHLER, A. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 2, p. 679-688, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>

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. 1. ed. Geneva: 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

KALLEN, M. J., VAN NOORTWIJK, J. M. Optimal maintenance decisions under imperfect inspection. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 90, p. 177-185, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2004.10.004>

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. <http://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2012.09.013>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.037>

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. [http://doi.org/10.1016/S0029-5493\(99\)00138-7](http://doi.org/10.1016/S0029-5493(99)00138-7)

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. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2006.02.014>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2006.05.001>

MCKINSEY. **Estudo do setor de transporte aéreo no Brasil: relatório consolidado**. 1. 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S2238-10312013000400008>

ØIEN, K. Improved quality of input data for maintenance using expert judgment. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 60, p. 93-101, 1998. [http://doi.org/10.1016/S0951-8320\(98\)83002-0](http://doi.org/10.1016/S0951-8320(98)83002-0)

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymsp.2010.04.002>

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. <http://doi.org/10.1177/0142331208092030>

SANKARARAMAN, S. Significance, interpretation, and quantification of uncertainty in prognostics and remaining useful life prediction. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 52-53, p. 228-247, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.ymsp.2014.05.029>

SCARF, P. A. On the application of mathematical models in maintenance. **European Journal of Operational Research**, v. 99, n. 3, p. 493-506, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00316-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00316-5)

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.018>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.11.018>

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. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.ress.2012.11.022>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.03.044>

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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.012>

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. <http://doi.org/10.1016/j.ress.2008.10.010>

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. <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2012.09.001>

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. <http://dx.doi.org/10.1080/09537280412331309208>

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. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.03.101>

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. <http://doi.org/10.1016%2Fj.ymssp.2010.08.012>



Artigo recebido em 29/03/2016 e aceito para publicação em 25/07/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v17i3.2404>