

EFEITO DO VALOR ASSOCIADO A FATORES OPERACIONAIS NA TOMADA DE DECISÃO EM GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Filipe Almeida Corrêa do Nascimento

Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ)

RESUMO

O Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários é essencial para prever condições atuais e futuras das pistas e auxilia no processo de tomada de decisão. Entretanto, uma limitação encontrada é a baixa abrangência da análise no ambiente daquela infraestrutura. Para prover uma abordagem inicial do impacto dos cenários de intervenção no pavimento sobre a operação do aeroporto e implementá-lo no processo de decisão, esse artigo propõe a inclusão, em fluxo de caixa, do valor presente líquido relacionado ao tempo operacional de pista interdita, que integra previsões de demanda de passageiros baseadas em aprendizagem de máquina e receita operacional líquida. Valendo-se de um estudo de caso realizado no Aeroporto Internacional de Brasília, uma Área Equivalente de Suscetibilidade Operacional trouxe uma ideia palpável de impactos sobre a operação em relação aos custos estruturais, tornando possível a visualização das condições de viabilidade financeira de cenários de intervenção no pavimento que seriam convencionalmente descartados.

ABSTRACT

The Airport Pavement Management Program is essential to predict current and future runway conditions and assists in the decision-making process. However, one of its limitations is the low comprehensiveness of the analysis in the infrastructure environment. In order to provide an initial approach to the impact of the pavement intervention scenarios over the airport operation and to implement it in the decision process, this paper proposes to include, in cash flow, the net present value related to the interdicted runway time, which integrates passenger demand forecasts based on machine learning and net operating revenue. Using an application of the proposed methodology to Brasília International Airport, an Operational Susceptibility Equivalent Area brought a tangible idea of impacts on the operation in relation to structural costs, making it possible to visualize the conditions of financial viability of pavement intervention scenarios that would be conventionally discarded.

1. INTRODUÇÃO

A otimização dos recursos empregados em manutenções de redes de pavimentos sempre esteve em foco nos últimos anos, principalmente em tempos de necessidade de crescimento da malha e de correntes reduções de despesas. Particularmente no setor aéreo, a ferramenta mais indicada para a promoção dessa priorização premente é o Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA). Diversos órgãos de regulação do setor, como a FAA (2014) e a ANAC (2017), já determinam a implantação desse sistema em aeroportos de seus respectivos países, com o objetivo de preservar o patrimônio público concedido à iniciativa privada e de oferecer uma ferramenta para a obtenção do máximo retorno possível dos investimentos realizados dentro de um cenário econômico estipulado.

Para que se possa ter uma noção dos custos envolvidos em gerência de pavimentos aeroportuários, a INFRAERO (2018) informou que utilizou R\$ 17,8 milhões somente no ano de 2017 para realizar intervenções nas pistas de pouso e decolagem, taxi e pátio dos seus 55 aeroportos. Essa média de investimento de pouco mais de R\$ 300 mil por aeroporto poderia crescer substancialmente caso não houvesse a monitoração das condições atuais dos pavimentos e a projeção futura dos cenários dessas infraestruturas.

Além do setor regulatório, diversos pesquisadores buscam otimizar a aplicação dos recursos em SGPA, propondo melhorias e implementações de particularidades inerentes ao setor aéreo. Shahin (2005) propôs a utilização de curvas de sobrevivência para o planejamento de

alternativas de M&R de redes de pavimentos, formadas por meio dos dados de construção, conservação e restauração registrados pelas agências. Ismail, Ismail e Atiq (2009) também mostram que é possível o desenvolvimento de gerência de pavimentos por meio de sistemas especializados baseados em inteligência artificial. Mohammed *et al.* (2019) desenvolvem essa mesma tendência, incluindo as modelagens em engenharia de transportes nos sistemas especializados para facilitar o processo de tomada de decisão.

A despeito das inovações em modelagens na área de gerência de pavimentos, ainda existe um problema de ordem prática, já que muitos operadores postergam empiricamente as manutenções que não possuem relação com a segurança operacional. Esse fato é decorrente da necessidade de interdição das operações na pista de pouso e decolagem para a realização das intervenções. De fato, modelos complexos apresentados nos últimos anos, como os de Augeri, Greco e Nicolosi (2019), Elbagalati *et al.* (2018) ou Arabali *et al.* (2017), focam a tomada de decisão na escolha do melhor cenário de intervenção em termos estruturais ou funcionais, relacionados apenas ao pavimento, sem considerar um efeito mais abrangente dessa decisão na gerência daquela infraestrutura aeroportuária como um todo. Outros autores, como Maggiore e Fitch (2019) e Di Mascio e Moretti (2019), informam as previsões dos impactos operacionais decorrentes da tomada de decisão em gerência de pavimento, mas não as consideram no processo de escolha.

Assim, a presente pesquisa propõe uma integração ao conceito inicial explanado por Hudson, Haas e Uddin (1997), o qual sugere que os sistemas de gerência implementados em infraestruturas de transporte devem levar em consideração seus ambientes operacionais, que são, em última análise, a razão de sua existência. Um método simplificado é apresentado para a realização de uma primeira avaliação e implementação dos impactos operacionais em aeroportos de alto volume de tráfego, sob o condão da viabilidade financeira. As análises foram ilustradas por meio do estudo de caso do Aeroporto Internacional de Brasília.

2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A seguir, serão apresentados os métodos adotados para a formação da análise de viabilidade financeira dos cenários de manutenção de um sistema de gerência de pavimento aeroportuário, com estudo de caso no Aeroporto Internacional de Brasília. Eles são segmentados em critérios estruturais e operacionais, dentro de dois cenários plausíveis de intervenção no pavimento, para que possam ser conjugados em fase final.

2.1. Valor presente líquido sob a ótica estrutural (VPL-E)

As fases que compõem a presente etapa são: levantamento automatizado dos defeitos de superfície do pavimento, com auxílio do equipamento *PavScan*; cálculo do *Pavement Condition Index* (PCI), de acordo com a norma ASTM D5340 (*Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*); projeção do PCI futuro da pista de pouso e decolagem, com auxílio do aplicativo *Paver*®, recomendado pela FAA (2014); seleção das políticas de intervenções e cálculo dos respectivos custos, conforme Tabela 1, adaptada de Batista (2015); e cálculo do valor presente líquido sob a ótica estrutural (VPL-E), por unidade de área de intervenção, computando os custos das manutenções de cada cenário dentro dos respectivos períodos e realizando o desconto até o período presente, considerado o ano de 2017 (ano de realização dos ensaios estruturais na pista), a uma taxa anual de 10%.

Tabela 1: Políticas de intervenções e respectivos custos (Batista, 2015)

INTERVENÇÃO	CÓDIGO SICRO	DESCRIÇÃO	CUSTO (R\$/ m2)	PCI APÓS INTERVENÇÃO
Manutenção Corretiva Leve (MCL)	3 S 08 103 50	Selagem de trinca	1,07	Atual + 10
	3 S 08 109 03	Reparo Localizado (superficial)		
Manutenção Corretiva (MC)	3 S 08 103 50	Selagem de trinca	1,57	Atual + 15
	3 S 08 109 03	Reparo Localizado (superficial)		
Reforço Estrutural Simples (RES)	5 S 02 990 11	Fresagem contínua do revest. Betuminoso	22,97	100
	2 S 02 300 00	Imprimação		
	3 S 02 540 01	Recapamento com mistura betuminosa a quente		
	3 S 02 540 50	Mistura betuminosa usinada a quente		

2.2. Valor presente líquido sob a ótica do tempo operacional (VPL-T)

Para o cálculo do VPL-T, essa pesquisa propõe as seguintes fases: coleta dos dados operacionais e censitários divulgados por ANAC (2019) e IBGE (2018); modelagem da demanda de passageiros movimentados no aeroporto em questão, utilizando as técnicas de Regressão Linear Múltipla (R Core Team, 2019), Árvore de Decisão (Therneau e Atkinson, 2019), *Random Forest* (Liaw e Wiener, 2002), Máquina de Vetores Suporte (*Support Vector Machines*) (Meyer *et al.*, 2019) e Redes Neurais Artificiais (LeDell *et al.*, 2019); classificação dos algoritmos por meio da média de dez determinações dos coeficientes de determinação dos agrupamentos de treino e de teste e do erro médio absoluto, obtidos em validação cruzada; cálculo do valor do fluxo de caixa referente ao movimento de passageiros e da receita operacional líquida do ano inicial, conforme Equação 1; e cálculo do valor presente líquido sob a ótica do tempo operacional (VPL-T), computando os custos das interdição da pista de cada cenário dentro dos respectivos períodos e realizando o desconto até o período presente, considerado o ano de 2017 (ano de realização dos ensaios estruturais na pista), a uma taxa anual de 10%.

$$V = - M_i \times T \times \frac{R}{M_0} \quad (1)$$

em que V : valor em fluxo de caixa referente aos aspectos operacionais [R\$];
 M_i : movimento de passageiros por hora no mês menos movimentado do ano i , conforme modelo de demanda [pax / h];
 T : tempo necessário para promover a intervenção [h];
 R : receita operacional líquida do ano inicial do fluxo de caixa [R\$]; e
 M_0 : movimento anual de passageiros do ano inicial do fluxo de caixa [pax].

2.3. Valor presente líquido final

Nesse aspecto, para facilitar a visualização e comparação do VPL-E e do VPL-T, desenvolveu-se a seguinte relação disposta na Equação 2, referente à Área Equivalente de Suscetibilidade Operacional (AESO). Ela indica a área na qual o VPL-E equivale ao VPL-T; portanto, quanto maior a AESO, maior a suscetibilidade do sistema de gerência daquele pavimento aos aspectos operacionais.

$$AESO = \frac{VPL_T}{VPL_E} V = - M_i \times T \times \frac{R}{M_0} \quad (2)$$

em que $AESO$: área equivalente de suscetibilidade operacional [m²];
 VPL_T : valor presente líquido sob a ótica do tempo operacional [R\$]; e

VPL_E : valor presente líquido sob a ótica estrutural [R\$ / m²].

Ultrapassada essa fase, procedeu-se ao cálculo da área crítica, que separa as viabilidades financeiras dos cenários em comparação. Ela foi encontrada no cruzamento das retas de VPL final, cujas equações possuem coeficientes e interceptos iguais aos respectivos valores de VPL-E e VPL-T.

3. RESULTADOS

A seguir, serão explanados os resultados obtidos nas fases de previsões estruturais e operacionais. Na primeira parte, os resultados de projeção de PCI da pista de pouso e decolagem, obtidos por meio do aplicativo *Paver*, serão descritos no intervalo temporal de 2017 a 2026. Em seguida, as simulações acerca da gerência do pavimento, à luz estrutural, serão expostas, demonstrando o custo, a valor presente, para cada intervenção. Na segunda parte, serão revelados os dados sobre a previsão de demanda, no mesmo horizonte temporal utilizado na parte de previsão estrutural, bem como os cálculos do movimento horário de passageiros. A terceira parte conjuga os resultados elucidados na etapa estrutural e na operacional, contemplando, sob aspectos financeiros, as análises sobre a área crítica de intervenção.

3.1. Projeções estruturais

O levantamento visual contínuo realizado com equipamento *PavScan* demonstrou que a maioria dos defeitos de superfície encontrados se refere a trincas tipo couro de jacaré, trincas longitudinais ou transversais e desagregação. A Figura 1 mostra a concentração encontrada.

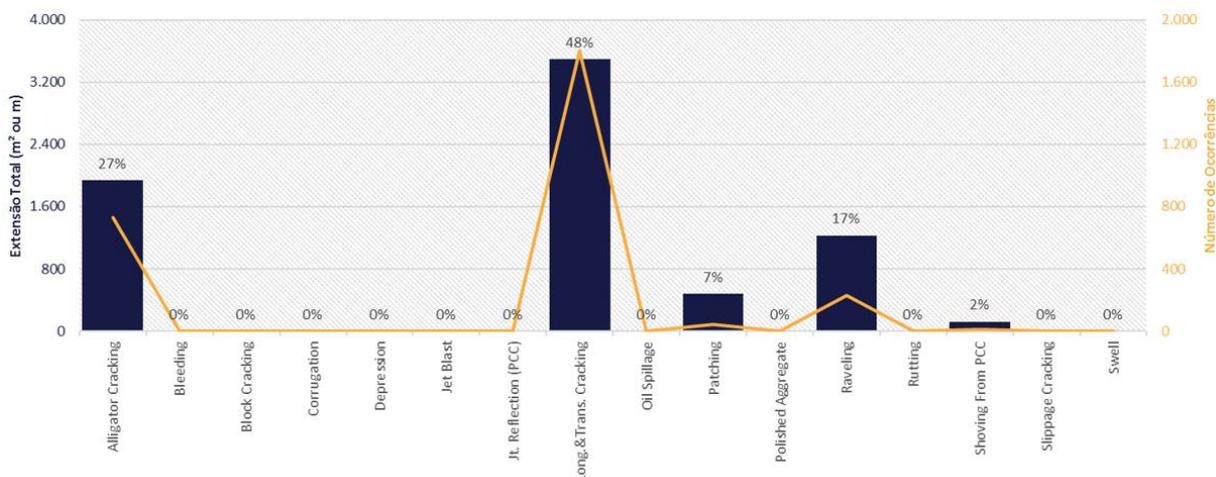


Figura 1: Concentração de defeitos por área típica nos pavimentos flexíveis

Em seguida, para cada segmento homogêneo, foi possível calcular o PCI atual, segundo os critérios de tipo, quantidade e severidade de defeitos, de acordo com a norma ASTM D5340. Conforme o valor de PCI obtido, foi possível realizar a classificação dos segmentos, conforme demonstrado na Figura 2.

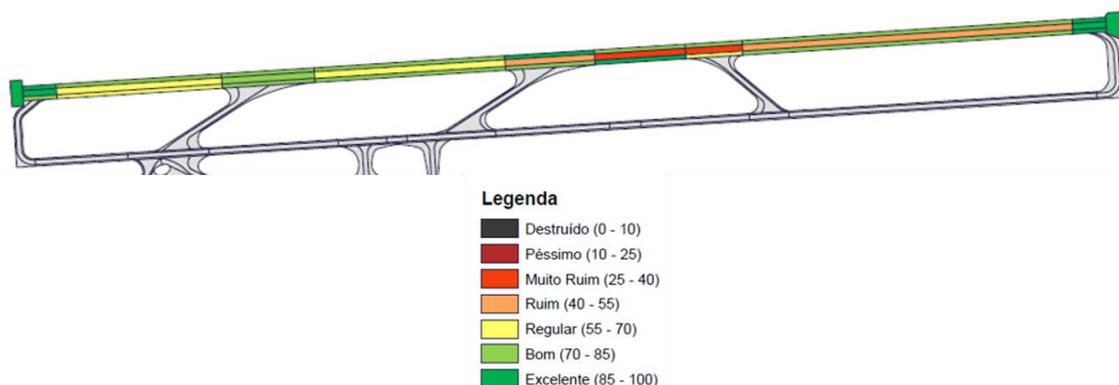


Figura 2: Classificação do PCI dos segmentos homogêneos

Após os cálculos de PCI por segmento homogêneo, utilizou-se, como ferramenta, o aplicativo *Paver*® para a projeção do PCI futuro da pista, de acordo com o tráfego especificado. Para a demonstração do estudo proposto, a seção R20 foi a escolhida para o prosseguimento do estudo de caso, por apresentar PCI atual de 57 (regular) e projeção de PCI futuro percorrendo diversas faixas de classificação. Na Tabela 2 estão demonstrados os valores projetados de PCI até o ano de 2026, da porção central (R20C1) do segmento R20 e de seus respectivos acostamentos (R20W1 e R20W2). Verifica-se que sua parte central varia da classificação “Regular” até o limite da classificação “Muito Ruim”.

Tabela 2: Projeção de PCI para o segmento R20

SEGMENTO	R20C1	R20W1	R20W2
PCI 2017	61	82	84
PCI 2018	57	79	80
PCI 2019	55	76	78
PCI 2020	52	74	75
PCI 2021	49	72	73
PCI 2022	46	70	71
PCI 2023	42	69	70
PCI 2024	38	68	69
PCI 2025	33	67	68
PCI 2026	28	66	67

Verificou-se, em análises anteriores, que o segmento R20 possui capacidade estrutural suficiente para o tráfego futuro. Assim, como política de intervenção, foram adotados os procedimentos MCL (manutenção corretiva leve), MC (manutenção corretiva) e RES (reforço estrutural simples) previstos por Batista (2015) para as simulações do comportamento do PCI desse segmento com as intervenções.

A partir da definição da política de intervenções, foram definidos dois possíveis cenários para a gerência desse pavimento. O Cenário 1 mantém o valor do PCI acima de 70, que é o limite inferior da classificação “Bom”, utilizando-se de uma MC e três MCL. O Cenário 2 é caracterizado pelo RES, necessário quando o pavimento adquire a classificação “Ruim”. Em ambos os casos, o PCI do ano final é classificado como “Bom” e apresentam valores próximos. A Figura 3 mostra a disposição anual dos valores de PCI para cada cenário

mencionado, incluindo as intervenções no pavimento do segmento R20C1.

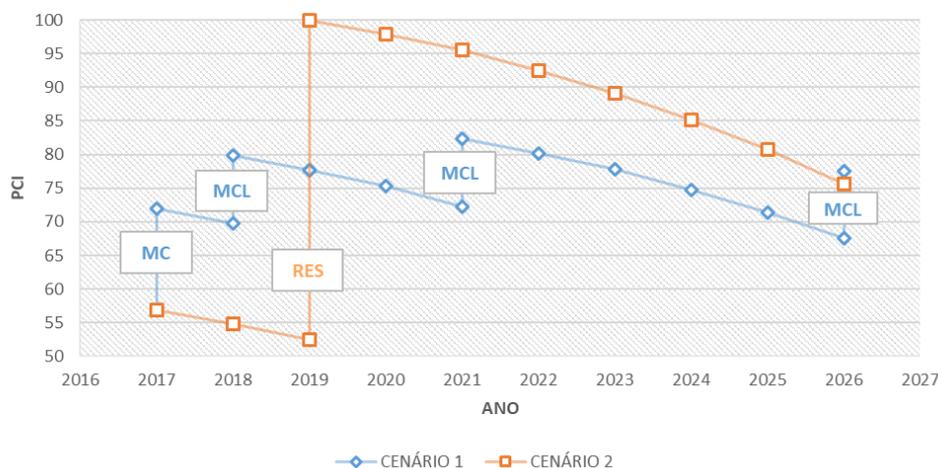


Figura 3: Cenários de PCI na gerência do pavimento do segmento R20C1

Para demonstrar uma comparação entre a viabilidade dos cenários apresentados, recorreu-se à análise financeira utilizando o fluxo de caixa e o consequente cálculo do valor presente líquido (VPL), descontado a uma taxa de 10% ao ano. Para fins elucidativos, denominar-se-á esse valor presente de VPL-E, realizando uma referência à sua ótica estrutural. Os valores calculados estão contidos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de VPL-E por unidade de área para manutenção do pavimento do segmento R20C1

CENÁRIO	ANO DO INVESTIMENTO	CUSTO (R\$ / m ²)	VPL-E (R\$ / m ²)
1	2017	-R\$ 1,57	-R\$ 3,73
	2018	-R\$ 1,07	
	2021	-R\$ 1,07	
	2026	-R\$ 1,07	
2	2019	-R\$ 22,97	-R\$ 18,98

Como já se poderia esperar, em conformidade com as revisões literárias, o Cenário 1 apresenta, sob a ótica estrutural, uma maior viabilidade financeira. De fato, o recurso a ser disponibilizado para a manutenção do pavimento desse segmento, mantendo-o sempre com o valor de PCI acima de 70, é cerca de cinco vezes menor que o cenário que necessita de uma única intervenção de maior vulto e que não atinge valor de PCI inferior a 50. Resta verificar, por oportuno, o valor presente líquido referente ao tempo necessário de interdição de uma pista de pouso e decolagem para as devidas intervenções de manutenção em seu pavimento.

3.2 Projeções operacionais

De posse dos dados estatísticos provenientes da ANAC (2019) e do IBGE (2018), foi possível, em primeiro momento, realizar a previsão de demanda de passageiros (pagos e grátis) do Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR) por meio de cinco algoritmos regressores: Regressão Linear Múltipla, Árvore de Decisão, *Random Forest* com 10 árvores, Máquina de Vetores Suporte (*Support Vector Machines*) em base radial e Redes Neurais Artificiais com 100 camadas ocultas.

Além das variáveis dependentes (passageiros pagos e grátis), as variáveis independentes coletadas foram as seguintes: Empresa Aérea, Natureza do Voo (doméstico ou internacional), Tipo de Voo (regular ou não regular), ASK (*Available seat kilometer*), RPK (*Revenue seat kilometer*), ATK (*Available tonne kilometer*), RTK (*Revenue tonne kilometer*), Combustível, Distância, Horas Voadas, Decolagens, Carga Paga Km, Carga Grátis Km, Correio Km, Assentos, *Payload*, População do Distrito Federal (DF), População do Brasil, PIB (produto interno bruto) do DF, PIB do Brasil, Participação Setorial no PIB do DF (Agropecuária; Indústria extrativa mineral; Indústria de transformação; Eletricidade, gás e água ; Construção; Comércio e reparação de veículos e de objetos pessoais e de uso doméstico ; Alojamento e alimentação; Transportes e armazenagem; Comunicações; Intermediação financeira; Atividades imobiliárias, aluguéis e serviços prestados às empresas; Administração pública, defesa e seguridade social; Saúde e educação mercantis; Outros serviços coletivos, sociais e pessoais; e Serviços domésticos), Taxa de Desemprego do DF e Rendimento Médio da População do DF. Todas as variáveis foram classificadas nos algoritmos como numéricas, com exceção da Natureza de Voo e do Tipo do Voo, categóricas, que receberam variáveis *dummy* (binárias).

Para fins de simplificação, a seleção das variáveis que compuseram o modelo final foi realizada pelo critério do valor-p < 0,1 do Teste para Média (teste t), quando as variáveis foram modeladas pela regressão linear múltipla. O valor final do teste t de cada variável selecionada nesse algoritmo está descrito na Tabela 4. Faz-se importante ressaltar a seleção das variáveis operacionais (ASK; ATK; RPK; RTK; e *Payload*) e censitárias/macroeconômicas da região (Comunicações; Construção; Outros serviços coletivos sociais e pessoais; e População do Brasil) na formação do modelo para a previsão da demanda desse aeroporto, coerente com a realidade socioeconômica regional.

Tabela 4: Valores do teste t das variáveis selecionadas pela regressão linear múltipla

VARIÁVEL	ESTIMATIVA	ERRO MÉDIO	VALOR T	Pr(> t)
Intercepto	-0,0192	0,0012	-16,4779	7,12E-61
Ano	0,0892	0,0071	12,5169	6,67E-36
ASK	-0,2675	0,0043	-62,2276	0,00E+00
ATK	-0,4983	0,0033	-152,8934	0,00E+00
Comunicações	0,0109	0,0027	3,9901	6,61E-05
Construção	0,0067	0,0012	5,5569	2,76E-08
Tipo do Voo	0,0370	0,0027	13,6307	3,03E-42
Mês	0,0016	0,0010	1,6664	9,56E-02
Natureza do Voo	0,2133	0,0052	41,0505	0,00E+00
Outros serviços coletivos sociais e pessoais	-0,0185	0,0029	-6,4528	1,11E-10
<i>Payload</i>	0,8466	0,0018	462,4034	0,00E+00
População do Brasil	-0,0366	0,0072	-5,1085	3,26E-07
RPK	1,2126	0,0066	183,2383	0,00E+00
RTK	-0,3355	0,0060	-55,7774	0,00E+00

Todos os algoritmos passaram pelo processo de validação cruzada de dez estágios, cada um contendo 90% dos dados em grupamento para treinamento (aprendizagem) e o restante em

grupamento de teste. Em cada estágio, foi computado o coeficiente de determinação R^2 para o grupo de treinamento (R^2 – treino) e para o grupo de teste (R^2 – teste), além do erro absoluto médio (*mean absolute error* – MAE). Os valores mínimos, máximos e médios desses parâmetros estão sintetizados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de avaliação dos algoritmos regressores de demanda de passageiros

REGRESSÃO	VALORES	R2 - treino	R2 - teste	MAE
Linear Múltipla	Mínimo	0,9402	0,9375	791
	Máximo	0,9408	0,9428	832
	Médio	0,9405	0,9404	812
Árvore de Decisão	Mínimo	0,8823	0,8762	985
	Máximo	0,8939	0,8967	1216
	Médio	0,8891	0,8874	1087
Random Forest	Mínimo	0,9959	0,9833	296
	Máximo	0,9963	0,9868	314
	Médio	0,9961	0,9852	306
SVM	Mínimo	0,9801	0,9770	456
	Máximo	0,9806	0,9820	473
	Médio	0,9803	0,9797	464
Redes Neurais	Mínimo	0,9870	0,9839	345
	Máximo	0,9884	0,9874	360
	Médio	0,9877	0,9861	353

Pelo critério de maior coeficiente de determinação médio nos grupamentos de teste, o regressor *Random Forest* seria o mais indicado para a previsão da demanda do Aeroporto Internacional de Brasília. Entretanto, Segal (2004) já havia relatado que modelos baseados em árvores não são adequados para a realização de extrapolações, visto que eles se apoiam no conceito de agrupamento de vizinhos mais próximos, o que não ocorre quando se tenta prever dados que não estão no conjunto de treinamento. Assim, optou-se pelo regressor Redes Neurais, que também apresentou bom enquadramento aos grupamentos de treino e de teste. Seus baixos valores de MAE, na ordem de 353 passageiros mensais, ajudaram a corroborar a decisão.

Finda a etapa de regressão, foi possível estabelecer previsões mensais e anuais para a demanda de passageiros pagos e não pagos que movimentarão o aeroporto no horizonte de 2019 a 2026, contemplando o crescimento das variáveis dependentes a taxas anuais variáveis, dentro de suas respectivas probabilidades de ocorrência registradas no histórico dos dados. Assim, formou-se um intervalo de confiança com nível de significância de 5%. A projeção da demanda anualizada até o horizonte de 2026, bem como os limites mínimos e máximos do modelo, encontram-se na Figura 4.

Verifica-se, na Figura 5, que o regressor escolhido conseguiu identificar a sazonalidade ocorrida em anos anteriores para a projeção futura da demanda de passageiros. Os meses de maior movimentação, enquadrados em julho, dezembro e janeiro, assim como o mês de menor movimento, situado em fevereiro, correspondem aos índices operacionais factualmente registrados no aeroporto.

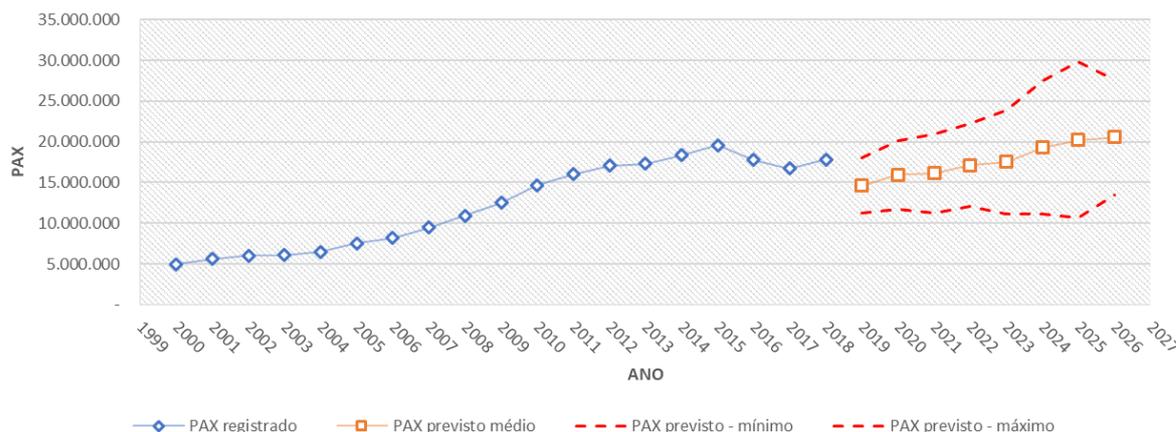


Figura 4: Previsão de demanda anual de passageiros no horizonte 2019 a 2026

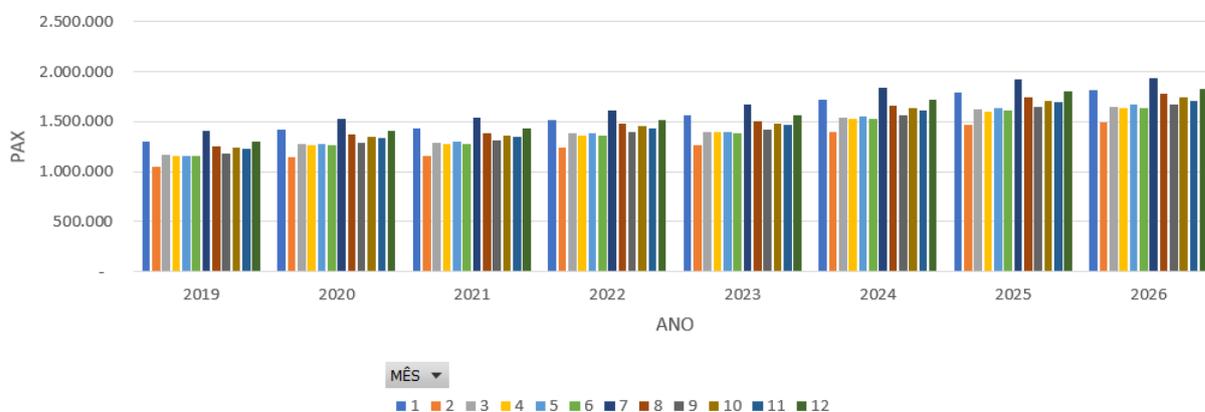


Figura 5: Previsão de demanda mensal de passageiros no horizonte 2019 a 2026

Verifica-se nas previsões realizadas que, no mês de fevereiro, existe a menor movimentação de passageiros no aeroporto. Portanto, esse seria o mês mais propício para a programação das intervenções no pavimento da pista de pouso e decolagem. Os cálculos propostos para previsão horária de passageiros foram desenvolvidos, então, nesse mês de 28 ou 29 dias. Assim, foram calculados os resultados para o mês de fevereiro dos anos previstos para as intervenções no pavimento, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Previsões anual e horária de passageiros no mês de fevereiro no aeroporto

ANO	PREVISÃO ANUAL	PREVISÃO HORÁRIA
2017	1.224.292	1.822
2018	1.269.964	1.890
2019	1.050.169	1.563
2021	1.161.111	1.728
2026	1.490.492	2.218

3.3 Plano estrutural e operacional de gerência de pavimento aeroportuário

De acordo com os planos de gerência do pavimento da pista de pouso e decolagem, pode-se obter o tempo necessário para a realização de cada tipo de intervenção (MC, MCL e RES), que estão computados na Tabela 1. Esse tempo de pista de pouso e decolagem interdita causará impactos negativos na receita operacional líquida, que podem ser computados em

fluxo de caixa conforme Equação 1. Assim, pode-se proceder ao cálculo do valor presente líquido sob a ótica do tempo operacional (VPL-T), conforme dados da Tabela 7. A mesma taxa de desconto anual de 10% foi aplicada nesse caso.

Tabela 7: Valores de VPL-T por unidade de área para manutenção do pavimento do segmento R20C1

CENÁRIO	ANO DO INVESTIMENTO	VALOR	VPL-T
1	2017	-R\$ 324,31	-R\$ 845,80
	2018	-R\$ 256,73	
	2021	-R\$ 234,72	
	2026	-R\$ 301,31	
2	2019	-R\$ 203,81	-R\$ 168,44

Verifica-se, portanto, que, operacionalmente, o somatório dos custos de pista interditada do Cenário 1 ultrapassa em, aproximadamente, cinco vezes o do Cenário 2. Essa verificação contrasta com aquela oriunda da análise estrutural, que priorizava a constância de pequenas manutenções. Para a realização da análise financeira mais balanceada entre os aspectos estruturais e operacionais, recorreu-se ao índice de Área Equivalente de Suscetibilidade Operacional, a qual relaciona o VPL-E e o VPL-T, conforme a Equação 2. Quanto maior a AESO de um cenário, maior é a influência dos custos operacionais relativos à interdição da pista em relação aos custos de execução da intervenção. No caso em tela, como o Cenário 1 apresenta uma AESO maior que a do Cenário 2, conforme demonstrado na Figura 6, existe uma área de intervenção na qual compensará, financeiramente, a adoção do segundo cenário.

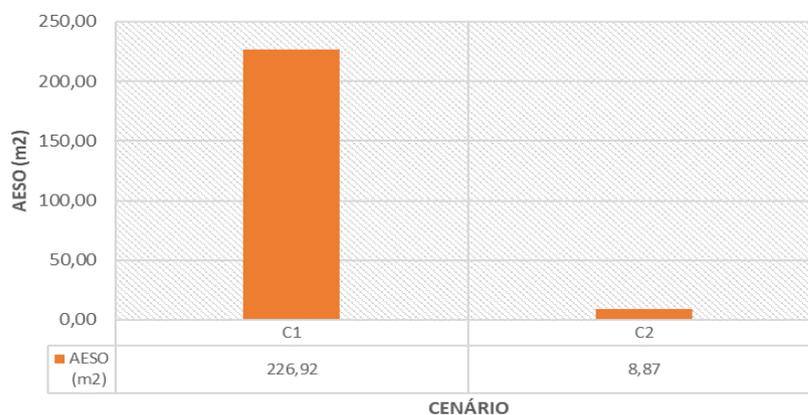


Figura 6: Área Equivalente de Suscetibilidade Operacional do segmento R20C1

O valor presente líquido final, então, será uma reta com intercepto igual ao VPL-T e coeficiente da variável independente “área de intervenção” igual ao VPL-E. A tomada de decisão pode ser realizada pelo cruzamento dessas retas, levando-se em consideração a área a ser mantida ou recuperada e, indiretamente, o tempo de pista interditada. No presente estudo de caso, compensa, financeiramente, a adoção do Cenário 2 em áreas inferiores a 44,4 m²; áreas superiores podem sofrer as intervenções previstas pelo Cenário 1 com viabilidade financeira, conforme se observa na Figura 7.

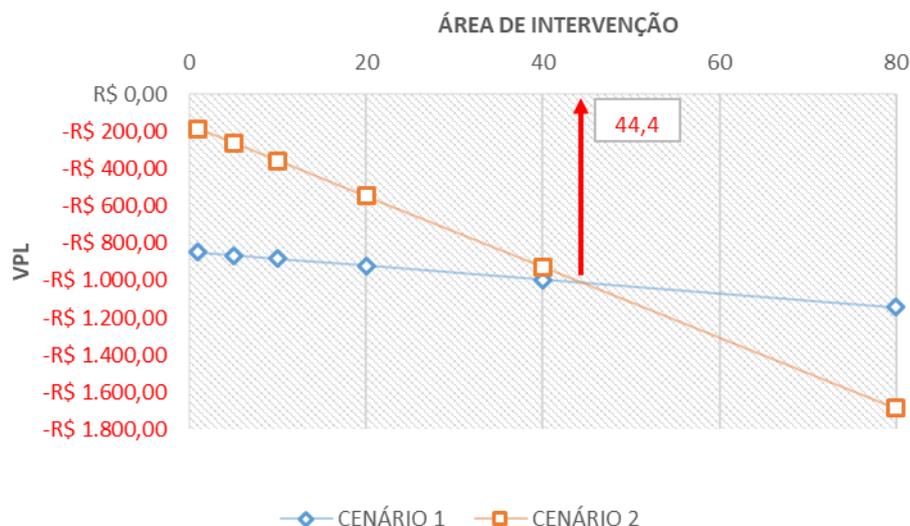


Figura 7: Retas de VPL para comparação dos cenários de intervenção no segmento R20C1

4. CONCLUSÕES

De acordo com os dados relatados, foi apresentada uma sugestão de abordagem à tomada de decisão de cenários de intervenção de manutenção em pavimentos aeroportuários com base em seus custos operacionais e estruturais. Um estudo de caso foi aplicado no Aeroporto Internacional de Brasília, objetivando exemplificar a aplicação dessa abordagem. Os resultados mostraram que os aspectos operacionais, como o tempo de intervenção e os reflexos na receita operacional líquida do aeroporto, podem ser incorporados aos aspectos estruturais para ampliar o escopo de uma tomada de decisão de gerência de pavimento aeroportuário.

Na abordagem dos aspectos estruturais, foi realizada uma projeção do PCI no horizonte de 10 anos (2017 a 2026) de uma pista de pouso com base em dois cenários de manutenção. Seus custos por unidade de área de intervenção no pavimento foram calculados, assim como o valor presente líquido sob a ótica estrutural (VPL-E) após estruturação em fluxo de caixa. O cenário com maior viabilidade financeira foi aquele em que havia maior periodicidade de pequenas manutenções.

Quando o foco passou a ser os aspectos operacionais, verificou-se que o tempo necessário de interdição da pista de pouso exerce influência sobre o fluxo de caixa do aeroporto. Esse custo adicional foi calculado com base na projeção de demanda, verificada por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina, e na receita operacional líquida informada em Demonstrativo de Resultado de Exercício. O cálculo da Área Equivalente de Suscetibilidade Operacional (AESO) mostrou que o Cenário 1, por apresentar maior periodicidade de intervenções, acumula maior tempo de pista interditada e, por consequência, exerce maior pressão na geração de receita operacional líquida no aeroporto em comparação com os custos unitários de execução das intervenções no pavimento. Do ponto de vista operacional, portanto, o Cenário 2 seria aquele mais viável por apresentar o menor valor presente líquido sob a ótica do tempo de execução (VPL-T).

A ideia de conjugar o VPL-E e o VPL-T forneceu uma análise mais abrangente na tomada de decisão na gerência do pavimento aeroportuário. No estudo de caso, verificou-se que os

cenários podem apresentar viabilidades diferentes dependendo da área de intervenção no pavimento. O cruzamento das retas representativas do VPL final, que conjuga o VPL-E e o VPL-T indica a área crítica para a tomada de decisão. Tal procedimento metodológico possui potencial para ser aplicado em nível de rede e incorporar maiores detalhes da receita operacional do aeroporto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC. (2017) *Manual de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários – SGPA*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.
- ANAC. (2019) *Dados Estatísticos*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/dados-estatisticos/dados-estatisticos>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- Arabali, P. *et al.* (2017). Decision-making guideline for preservation of flexible pavements in general aviation airport management. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 143(2).
- Augeri, M. G.; Greco, S.; Nicolosi, V. (2019). Planning urban pavement maintenance by a new interactive multiobjective optimization approach. *European Transport Research Review*, 11(1).
- Batista, N. A. (2015) *Uma proposta para sistema de gerência de pavimentos aplicada a aeroportos militares*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
- Di Mascio, P.; Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*, 11.
- Elbagalati, O.; Elseifi, M. A.; Gaspard, K.; Zhang, Z. (2018). Development of an enhanced decision-making tool for pavement management using a neural network pattern-recognition algorithm. *Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements*, 144(2).
- FAA. (2014) *AC 150/5380-71: Airport pavement management program (PMP)*. Federal Aviation Administration, Washington.
- Hudson, W.; Haas, R.; Uddin, W. (1997) *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilitation and Renovation*. McGraw-Hill, Nova Iorque.
- IBGE. (2018) *Sistema de contas regionais: Brasil 2016*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- INFRAERO. (2018) *Relatório Anual – 2017*. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, Brasília.
- Ismail, N.; Ismail, A.; Atiq, R. (2009). An overview of expert systems in pavement management. *European Journal of Scientific Research*, 30(1), 99-111.
- LeDell, E. *et al.* (2019). *h2o: R Interface for 'H2O'*. R package version 3.24.0.5. <https://CRAN.R-project.org/package=h2o>.
- Liaw, A.; Wiener, M. (2002) *Classification and Regression by randomForest*. R News 2(3), 18--22.
- Maggiore, C.; Fitch, G. (2019). A new decision support tool for asset management of airfield pavements. *Proceedings of the World Conference on Pavement and Asset Management, WCPAM 2017*, 605-610.
- Meyer, D.; Dimitriadou, E.; Hornik, K.; Weingessel, A.; Leisch, F. (2019) *e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien*. R package version 1.7-2. <https://CRAN.R-project.org/package=e1071>
- Mohammed, A. A.; Ambak, K.; Mosa, A. M.; Syamsunur, D. (2019). Expert system in engineering transportation: A review. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(1), 229-252.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Segal, M. R. (2004). *Machine Learning Benchmarks and Random Forest Regression*. UCSF: Center for Bioinformatics and Molecular Biostatistics.
- Shahin, M.Y. (2005) *Pavement management for airports, roads, and parking lots*. 2.ed. Springer, Nova Iorque.
- Therneau, T; Atkinson, B. (2019). *rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees*. R package version 4.1-15. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>

Filipe Almeida Corrêa do Nascimento (filipeacn@pet.coppe.ufrj.br)
Marcelino Aurelio Vieira da Silva (marcelino@pet.coppe.ufrj.br)
Programa de Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ
Av. Horácio Macedo, 2030 – Bloco H Sala 106 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-450