ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO APLICADO AO AEROPORTO DE FORTALEZA/CE

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza, CE**,** (85) 33669488 heber@det.ufc.br

Luan Fontenelle Vieira Rodrigues
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Departamento de Construção Civil
Av. Treze de Maio, 2081. Fortaleza, CE, (85) 33073600 luanfontenelle@gmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Departamento de Construção Civil
Av. Treze de Maio, 2081. Fortaleza, CE, (85) 33073600 marcosfpa@hotmail.com

RESUMO

Como medida de aumento do desempenho da segurança das operações de pousos e decolagens nos aeroportos brasileiros, este artigo propõe a análise de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, através de um procedimento de avaliação técnico-econômica, visando o apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. Com isso, o Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza – CE serviu como análise dos cenários simulados com o auxílio do programa computacional, resultando ser possível o planejamento e a execução adequada das técnicas, dos custos e da aplicação das estratégias de manutenção e reabilitação de uma rede de aeroportos.

Palavras-chave: Pavimentos, Aeroportos, Gerência, Tomada de decisão, Estratégia.

1. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos aeroportos brasileiros, com destaque para aqueles localizados nas regiões Norte e Nordeste, foram construídos na época da 2ª Guerra Mundial, com infraestruturas que serviam de bases de apoio às operações de combate norte-americanas. Com a criação da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), em meados dos anos 1970, os aeroportos passaram por algumas reformas nos terminais de passageiros e nos complexos de pátios e pistas.

As estatísticas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018) indicam que em 2017 mais de 98,9 milhões de passageiros embarcaram e desembarcaram pelos aeroportos brasileiros. Para suportar essa movimentação, é preciso dispor de uma infraestrutura aeroportuária capaz de permitir a execução segura de todas as operações necessárias ao atendimento adequado das aeronaves e seus ocupantes, pois os incidentes ou acidentes aéreos podem proporcionar perdas materiais e humanas irrecuperáveis.

Dessa forma, é imprescindível que seja definida uma metodologia que possa ser efetivamente implantada numa rede de aeroportos para avaliar os pavimentos das pistas de pouso e decolagem e, a partir dessa avaliação, integrar atividades de manutenção e reabilitação, evitando o desgaste prematuro ou o colapso dessas infraestruturas. Além do caráter técnico, é recomendável a realização de uma avaliação econômica das estratégias de manutenção e reabilitação adotadas, de forma a se verificar qual delas apresenta melhor viabilidade.

No contexto da deficiência de aplicação do gerenciamento dos pavimentos aeroportuários, ao longo dos últimos anos no Brasil, constata-se em diversas pesquisas, com destaque para Oliveira (2009), que o Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza, estado do Ceará, é um dos aeroportos brasileiros que carece do desenvolvimento e da aplicação de tais atividades, devido sua importância para o transporte aéreo regional, nacional e internacional.

Assim, este trabalho tem a pista de pouso e decolagem do mencionado aeroporto como caso para a análise dos cenários simulados com o auxílio do programa computacional, de forma a colaborar no apoio a tomada de decisão das atividades de manutenção e reabilitação.

2. MODELOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

A tomada de decisão sobre a seleção da mais adequada estratégia de manutenção e reabilitação a ser implementada em pistas de pouso e decolagem, é tarefa de grande complexidade e responsabilidade para o operador de aeródromo, pois existem inúmeros parâmetros de análise. Assim, modelos de apoio à tomada de decisão são ferramentas de auxílio essenciais no processo de seleção das estratégias.

Na década de 70, conforme Gomes (2001), vários pesquisadores e usuários de pesquisa operacional notaram que as decisões nunca se dão visando apenas um critério, mas sim na presença de pelo menos dois critérios conflitantes. Em decorrência disso, surgiram as metodologias de Apoio Multicritério à Decisão, compreendendo vários princípios e métodos para dar apoio à tomada de decisão num ambiente considerado complicado.

Os agentes tomadores de decisão, afirma Soares (2006), possuem geralmente, pontos de vista divergentes e diferentes juízos de valor. Os métodos multicritérios de análise de decisão aparecem como uma ferramenta à gestão das infraestruturas de transportes, onde as diversas variáveis envolvidas, um grande número de dados, interações e objetivos referentes a essas diversidades sejam avaliados de forma integrada, mostrando que a percepção da necessidade de mudanças pode ser atribuída a um processo de tomada de decisão, refletindo, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos tomadores de decisão.

De acordo com Campos (2013), para uma análise de diferentes alternativas de projeto, faz-se uma decomposição do problema em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. Desta forma, no nível mais alto está o objetivo principal do estudo, nos níveis intermediários estão os critérios (propriedades através das quais as alternativas serão avaliadas) e no nível mais baixo estão às alternativas a serem decididas. Na construção dessa hierarquia, para que a modelagem seja adequada devem ser incluídas todas as características consideradas

importantes para que a representação do problema seja a mais próxima possível do real.

Em todos os casos, o operador de aeródromo deve estar em contínua atenção à prevenção dos incidentes e acidentes por meio da manutenção de todas as condições expostas, sejam elas de aderência, funcionais ou estruturais, objetivando salvaguardar o patrimônio e, principalmente, as vidas que estão sob sua responsabilidade.

3. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Será utilizado como exemplo de simulação de cenários o Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, Estado do Ceará. Esse aeroporto, construído em meados de 1943 para apoio às operações da II Guerra Mundial e com uma última grande reforma (construção de um novo terminal de passageiros e um novo pátio de manobras e estacionamento de aeronaves) entre 1996 e 1998, possui, de acordo com Oliveira (2009) e DECEA (2013), um complexo de pátios e pistas composto de:

a) 4 pátios de manobras e estacionamento de aeronaves: um para aviação geral/executiva, um para aviação de carga e dois para aviação comercial. Todos executados em pavimentação rígida (Concreto Cimento Portland);

b) 14 pistas de taxiamento: com larguras que variam de 22 a 33 m, todas construídas em pavimentação flexível (Concreto Asfáltico);

c) uma única pista de pouso e decolagem, denominada RWY 13/31, com uma extensão de 2.545m e largura de 45m, executada em pavimentação flexível (Concreto Asfáltico), resistência do pavimento com PCN igual a 66/F/A/X/T, com um último recapeamento completo ocorrido em 2011.

Com isso, para um melhor entendimento e utilização do programa computacional desenvolvido para o Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), dez diferentes cenários serão simulados e detalhados nos próximos subitens, fundamentados nos seis parâmetros das condições – estrutural com o *Aircraft Classification Number* (ACN), que representa o número de classificação da aeronave, e o *Pavement Classification Number* (PCN), o número de classificação do pavimento; funcional com o Índice Internacional de Irregularidade (IRI) e o *Pavement Condition Index* (PCI), que caracteriza o índice de condição do pavimento, e; aderência com a macrotextura (P) e o coeficiente de atrito (μ), este de acordo com o equipamento e velocidade de medição, conforme os casos e combinações da Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos casos analisados no SGPA

CASO	*DESCRIÇÃO*
I	Todos os parâmetros adequados (ACN/PCN, PCI, IRI, P, μ).
II	Todos os parâmetros insatisfatórios
III	ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados.
IV	PCI degradado, demais parâmetros adequados.
V	PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados.
VI	IRI, insatisfatório demais parâmetros adequados.
VII	P insatisfatório, demais parâmetros adequados.
VIII	μ degradado, demais parâmetros adequados.
IX	μ insatisfatório, demais parâmetros adequados.
X	ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios.

Desse modo, descrevem-se os limites das condições estruturais, funcionais e de aderência de acordo com as especificações vigentes. Para cada um desses limites adotaram-se as classificações “Adequado”, “Degradado” e “Insatisfatório”, considerando o modelo da escala de gradação otimizada do PCI, sugerido pelo Micro PAVER (USACE, 2004).

Assim, a classificação denominada “Adequado” é destinada para todos os casos em que as condições estejam acima dos limites pré-estabelecidos, proporcionando as situações mais favoráveis à segurança das operações de pousos e decolagens, bem como ao funcionamento normal do aeroporto. Por sua vez, a classificação “Degradado” é proposta para situações intermediárias (de PCI e coeficiente de atrito, por exemplo), abaixo da classificação “Adequado” e acima do “Insatisfatório”. Esta última indicada para os casos abaixo dos limites mínimos e extremos que comprometam a segurança operacional, com prováveis riscos de ocorrências de incidentes ou acidentes envolvendo as aeronaves.

3.1. Cenário de simulação – Caso I: Todos os parâmetros adequados

A Figura 1 mostra o cadastro no SGPA do Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza – CE, proposto por Oliveira (2016).



Figura 1: Cadastro do Aeroporto Internacional Pinto Martins e pista no SGPA

Todos os parâmetros das condições físicas consideradas adequadas foram inseridos no SGPA, conforme demonstra a Figura 2, sendo:

a) Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
b) Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (m/km);
c) Índice de Condição do Pavimento: PCI = 85;
d) Profundidade média da macrotextura: P = 0,60 (mm);
e) Coeficiente de atrito: μ = 0,60 (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).



Figura 2: Destaque do cadastro de todos os parâmetros adequados no SGPA

Para a determinação dos custos unitários, e, posteriormente, do custo total, é necessário incluir, para as possíveis soluções, as medidas da área de intervenção da pista avaliada. Com todos os parâmetros em condições adequadas neste Caso I, o SGPA sugere como solução a estratégia 'M0: Inspeções de acompanhamento', tendo o resultado da Figura 3, como visto, sem custos para o operador de aeródromo, mesmo inserindo-se o comprimento total da RWY13/31, de 2.545m.

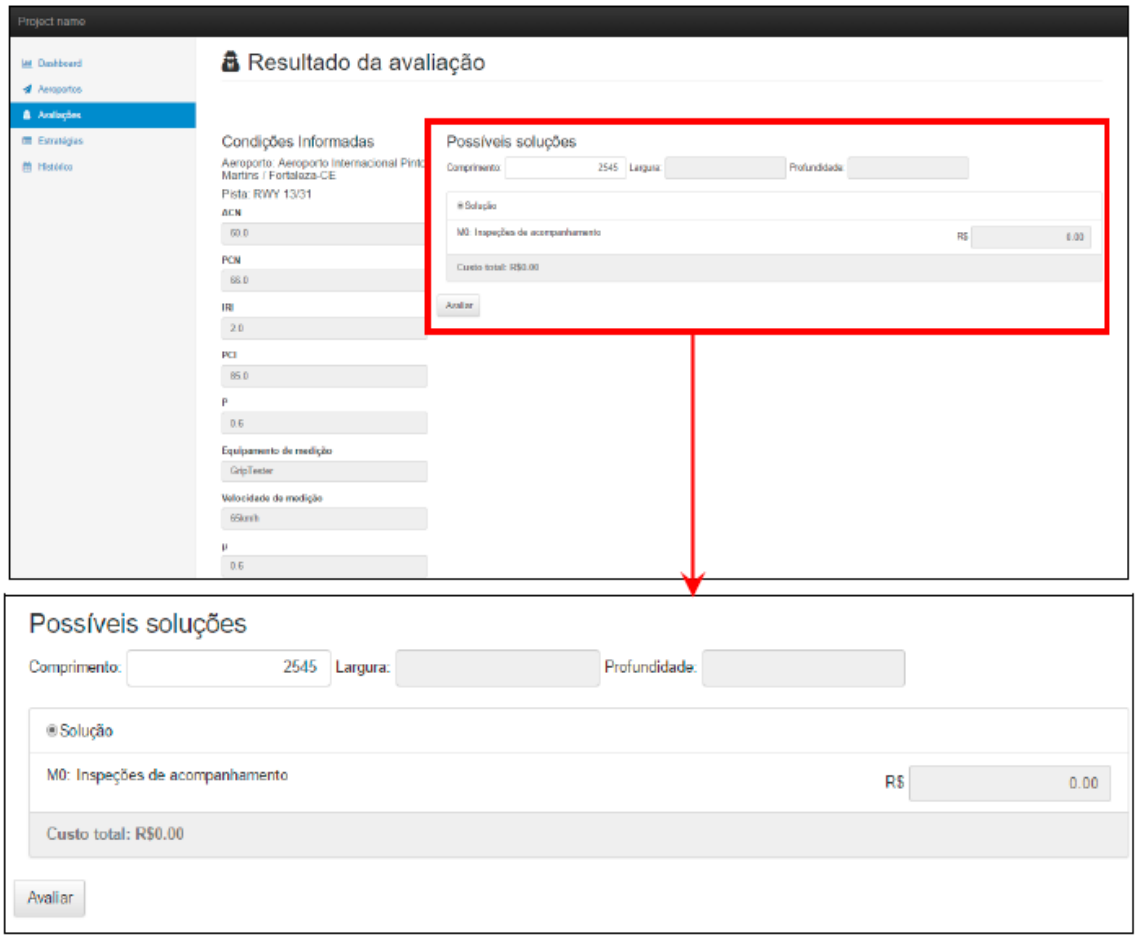


Figura 3: Indicação das possíveis soluções no SGPA

3.2. Cenário de simulação – Caso II: Todos os parâmetros insatisfatórios

Para todas as condições insatisfatórias, os parâmetros das condições que foram inseridos no SGPA (conforme Figura 4) são:

a) Estrutura: ACN = 70 e PCN = 66 (F/A/X/T); b) Irregularidade longitudinal: IRI = 4,0(m/km);

c) Índice de Condição do Pavimento: PCI = 40;
d) Profundidade média da macrotextura: P = 0,50 (mm);
e) Coeficiente de atrito: μ = 0,35 (para Mu-Meter e velocidade de 65km/h).



Figura 4: Cadastro de todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA

Com os dados anteriores inseridos, a Figura 5 apresenta após acionar o comando "Avaliar", a tela das 'Possíveis soluções', sugerindo duas possíveis soluções e a indicação obrigatória para inserção das medidas de comprimento, largura e profundidade (espessura).

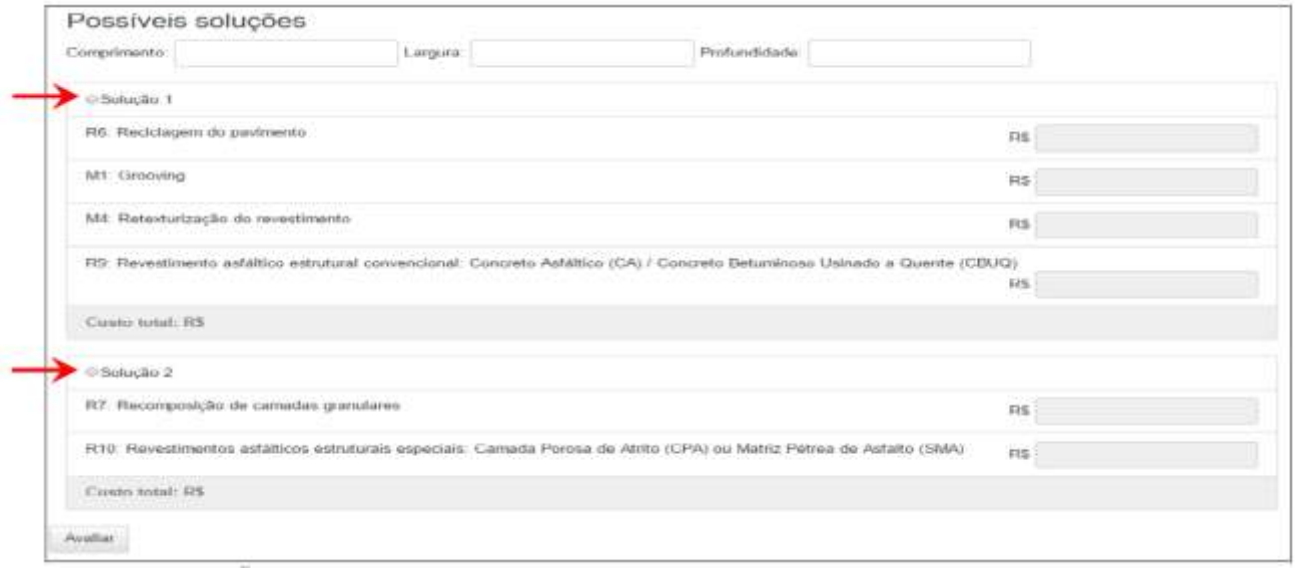


Figura 5: Possíveis soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA

Adotou-se como medidas da área de intervenção da pista de pouso e decolagem, um comprimento de 100,0m, uma largura de 10,0m e uma profundidade de 0,05m (para se manter o padrão de análise futura dos cenários simulados, essas medidas serão adotadas para todos os demais casos). Com isso, o SGPA indica os custos para cada estratégia, bem como o custo total por solução, conforme Figura 6.

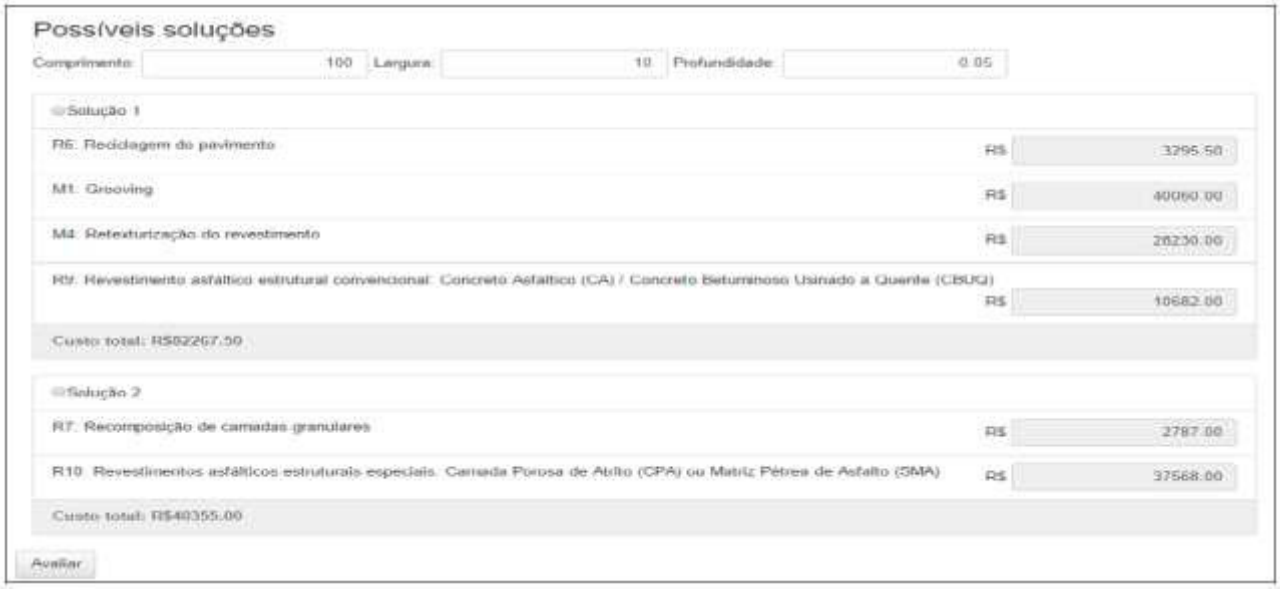


Figura 6: Custos das soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA

Optou-se pela seleção de menor custo total, no caso a Solução 2 (composta de R7: Recomposição de camadas granulares + R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétrea de Asfalto (SMA)), com um valor total de R$ 40.355,00 (a Solução 1 tem um custo total de R$ 82.267,50). Com a escolha da Solução 2,

o SGPA apresenta, no campo ‘Avaliações realizadas’, o resumo dos dados do ‘Levantamento de condições’ e da ‘Solução adotada’, expostos na Figura 7. Todas essas informações encontram-se armazenadas no SGPA para consulta dos interessados envolvidos.



Figura 7: Avaliação realizada com todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA

Após simulados os dez diferentes casos/cenários para O Aeroporto Internacional Pinto Martins – Fortaleza/CE, encontram-se armazenadas no banco de dados do SGPA todas as avaliações realizadas no dia 31/12/2015, conforme exposto na Figura 8.

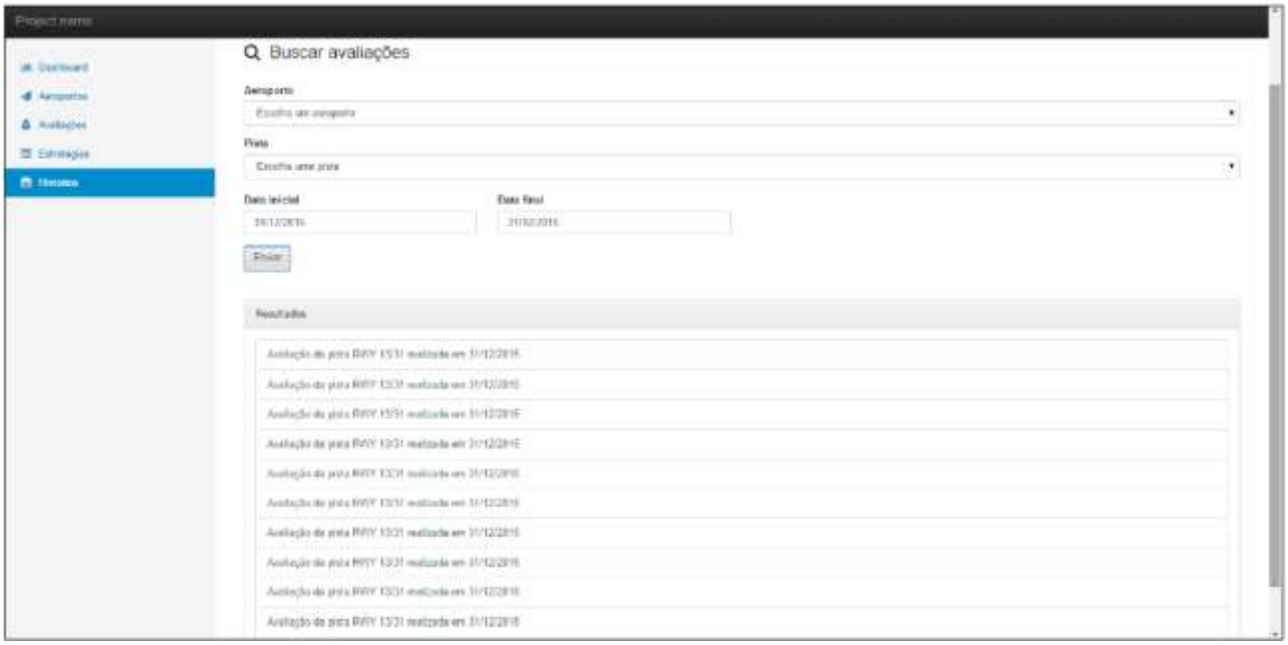


Figura 8: Histórico das avaliações armazenadas no banco de dados do SGPA

As informações detalhadas sobre as avaliações realizadas e demais dados individuais podem ser acessados com a seleção daquela avaliação de interesse. Quando não há indicação do período de tempo (data inicial e final), o SGPA retorna com todas as avaliações armazenadas no seu banco de dados para o aeroporto e para a pista selecionados. Com isso, cumpre-se um dos princípios básicos de funcionamento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP): a alimentação e retroalimentação das diversas atividades componentes com as informações disponíveis no seu banco de dados.

Além da análise dos dados técnicos dos levantamentos de campo, com relação aos casos simulados no SGPA, e a criação do banco de dados, mais especificamente sobre o ponto de vista do custo total das estratégias de manutenção e reabilitação selecionadas, tem-se o resumo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Resumo dos casos analisados e custos simulados no SGPA

Caso	*Descrição*	*Custo total (R$)*
I	Todos os parâmetros adequados.	**0,00**
II	Todos os parâmetros insatisfatórios.	82.267,50 **40.355,00**
III	ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados.	**25.548,50**
IV	PCI degradado, demais parâmetros adequados.	**193,00**
V	PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados.	**2.683,00**
VI	IRI, insatisfatório demais parâmetros adequados.	**2.490,00**
VII	P insatisfatório, demais parâmetros adequados.	**20.490,00**
VIII	μ degradado, demais parâmetros adequados.	**20.490,00**
IX	μ insatisfatório, demais parâmetros adequados.	28.230,00 **20.490,00**
X	ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios.	54.037,50 42.207,50 **37.568,00**

O destaque em negrito na coluna "Custo total (R$)" da Tabela 2 representa a solução de menor custo total dentre as soluções propostas pelo SGPA, e, portanto, a proposta escolhida na análise.

Percebe-se pelos dados da Tabela 2 que os maiores custos ocorrem como já era previsto, quando todos os parâmetros das condições estruturais, funcional e de aderência da pista são considerados insatisfatórios (Caso II). A diferença, para este Caso II, entre o custo de maior e o de menor valor é de cerca de 104%. Mesmo para a seleção da estratégia de menor custo (R$ 40.355,00), esta é maior em, aproximadamente, 7,4% quando se considera o outro caso de maior custo (Caso X), que ocorre quando apenas a condição estrutural ACN/PCN está insatisfatória com os demais parâmetros adequados.

Os menores custos (ou custos inexistentes) são registrados na simulação do Caso I referente a todos os parâmetros das condições adequados. Trata-se, como descrito anteriormente, de Inspeções de Acompanhamento, sem custos diretos ao Operador de Aeródromo para sua execução, já que não há contratação de empresa ou mão-de-obra especializada para realização dessa estratégia. O outro menor custo total refere-se ao Caso IV: PCI degradado, demais parâmetros adequados, pois se trata de um serviço relativamente simples (Inspeção de acompanhamento + Selagem de trincas) e de baixo custo unitário para manter as condições funcionais adequadas.

Outra particularidade verificada nos casos simulados diz respeito aos valores de custo total iguais para os Casos VII, VIII e IX. Estes casos referem-se às condições de aderência, relativas aos parâmetros Profundidade Média de Macrotextura e ao Coeficiente de Atrito, em condições insatisfatórias ou degradadas e representam os mesmos custos de manutenção de R$ 20.490,00. Especificamente no Caso IX: μ insatisfatório, demais parâmetros adequados, ainda é proposta a estratégia M4: Retexturização do revestimento ao custo total de R$ 28.230,00.

4. CONCLUSÃO

Com as análises dos cenários simulados, o SGPA serviu como suporte a tomada de decisão, tornando-o, portanto, uma ferramenta consistente para a alocação dos recursos materiais, humanos e financeiros necessários ao funcionamento seguro das operações de pousos e decolagens.

Além disso, a ferramenta procurou ainda, preencher algumas lacunas existentes na recente legislação brasileira sobre manutenção de áreas pavimentadas em aeroportos. Isso foi alcançado a partir da adoção, por exemplo, do *Pavement Condition Index* (PCI) como parâmetro de levantamento de defeitos nas pistas de pousos e decolagens, pois não existe definição normativa explícita por parte da autoridade aeronáutica, estando o operador do aeroporto responsável pelo monitoramento dessas áreas pavimentadas por inspeção visual.

Ainda nesse sentido, houve definição das frequências mínimas de levantamento das condições estruturais e funcionais (neste caso, especificamente para o *Pavement Condition Index* (PCI), já que existe indicação na legislação das frequências para o *International Roughness In-*

dex (IRI), em função da quantidade de pousos diários.

Assim, espera-se contribuir junto aos operadores de aeródromos para a melhoria dos processos de planejamento a programação do cumprimento obrigatório das manutenções necessárias aos complexos de pistas, bem como à autoridade aeronáutica no acompanhamento dessas frequências de levantamento das condições.

Com isso, o foco na gestão racional dos recursos financeiros foi proposto por meio do estabelecimento dos custos unitários das estratégias de manutenção e reabilitação. Esses custos melhor orientam o tomador de decisão na análise e na escolha das soluções mais confiáveis do ponto de vista econômico e que atendam às restrições orçamentárias, porventura, existentes. Dessa forma, estabeleceu uma viabilidade técnica para a tomada de decisão para o Aeroporto da cidade de Fortaleza – CE.

5. REFERÊNCIAS

ANAC. Empresas aéreas brasileiras transportam 98,9 milhões de passageiros pagos em 2017. 2018. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em <http://www.anac.gov.br/noticias/empresas-aereas-brasileiras-transportam-98-9-milhoes-de-passageiros-pagos-em-2017>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CAMPOS, V. B. G. Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 188 p.

DECEA. Aeronautical Information Publication – AIP Brasil. 2013. 2nd Edition. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica. Disponível em <http://www.aisweb.aer.mil.br/arquivos/publicacoes/AIP-BRASIL(ENG)/20-DE3DF181-F6B7-459D-A989427D6578D6E9.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

GOMES, L. F. A. M. Tomadas de Decisão são Facilitadas com Modelos Matemáticos. 2001. Disponível em: <http://www.comciencia.br/entrevistas/modelagem/autran.htm>. Acesso em: 20 jul. 2018.

OLIVEIRA, F. H. L. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. 202f. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SOARES, U. P. Procedimento para a Localização de Terminais Rodoviários Interurbanos, Interestaduais e Internacionais de Passageiros. 2006. 343 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

USACE. Micro PAVER. Version 5.2. Developed by US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center (ERDC). Construction Engineering Research Laboratory (CERL). Champaign, Illinois, 2004