

Alerta aos Operadores de Aeródromos

nº 003/2021

Processo SEI: 00058.063121/2021-30

Aprovado por: Superintendente de Infraestrutura Aeroportuária

Data: 23/11/2021

Assunto: Considerações sobre Ensaios Não Destrutivos (END) para avaliações estruturais ou, ainda, determinação de PCN/PCR de pavimentos aeroportuários.

Contato: obras.sia@anac.gov.br

1. Objetivo

Este Alerta aos operadores de aeródromos visa a apresentar considerações sobre Ensaios Não Destrutivos (END) com o objetivo de se avaliar aspectos estruturais ou, ainda, de se determinar a resistência de pavimentos aeroportuários pelo método ACN-PCN referenciado na seção 153.103 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 153, cujas orientações detalhadas encontram-se na IS nº 153.103-001 – Revisão A.

Os princípios contidos neste Alerta também serão válidos para a determinação da resistência de pavimentos pelo método ACR-PCR, que deverá fazer parte da regulação brasileira em breve.

Destaca-se que o presente Alerta revoga o Alerta nº 001/2019, trazendo modificações, atualizações e complementação sobre o tema.

2. Contexto

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 153, na seção 153.103, estabelece condições operacionais para a infraestrutura disponível, dentre as quais consta a compatibilidade entre a resistência do pavimento e as aeronaves que o utilizam. Nesse sentido, a forma vigente de demonstrar tal compatibilidade é a partir do método ACN-PCN, detalhado na IS nº 153.103-001 – Revisão A, sendo que novo método, denominado ACR-PCR, deverá substituir o existente.

Ainda no RBAC nº 153, o item 153.203(b)(1) requer que o operador de aeródromo mantenha as condições estruturais e funcionais da área operacional conforme aceito pela ANAC, sendo que formas de cumprimento preferenciais são expostas na IS nº 153.203-001.

No método ACN-PCN ou ACR-PCR, o valor do PCN/PCR (Número ou Índice de Classificação do Pavimento) expressa a capacidade de carga de um pavimento, sem especificar informações detalhadas ou uma aeronave em particular. Esse índice é, então, comparado com o Número ou Índice de Classificação da Aeronave (ACN), que expressa o efeito relativo de uma aeronave com uma determinada carga.

Trata-se, portanto, de informação importante para a operação dos sistemas de pistas e pátios, uma vez que o valor do PCN/PCR limita a carga e o tipo de aeronave que pode utilizar a estrutura pavimentada do aeroporto, considerando operações irrestritas dentro da vida útil esperada.

3. Levantamentos de parâmetros operacionais e específicos de engenharia

Para se avaliar a capacidade de suporte de áreas pavimentadas, faz-se necessário o levantamento de parâmetros operacionais e específicos de engenharia, dentre os quais se destacam:

(a) o *mix* de aeronaves no aeroporto (tipos de aeronaves e número de partidas anuais);

(b) as informações geotécnicas e estruturais do pavimento avaliado, o que inclui o conhecimento da resistência do subleito (CBR ou módulo de elasticidade), a espessura das camadas do pavimento, os materiais constituintes e o coeficiente de Poisson; e

(c) o número de passadas das aeronaves sobre o pavimento considerado no processo de cálculo.

Os parâmetros operacionais podem ser obtidos junto aos operadores de aeródromos. Já a obtenção dos parâmetros específicos de engenharia deve ser realizada por meio de ensaios destrutivos ou não destrutivos.

Nos ensaios destrutivos, são abertos poços de visita ou são utilizadas sondas rotativas para avaliação e coleta de material a ser estudado posteriormente em laboratório. Nos ensaios não destrutivos, utilizam-se equipamentos que aplicam cargas de impacto sobre o pavimento, o que provoca deflexões na estrutura (bacias de deflexão). As deflexões são lidas por sensores específicos (geofones) estrategicamente posicionados em barra metálica que se apoia sobre o pavimento.

Nem todos os ensaios não destrutivos em pavimentos fazem uso de cargas de impacto. Esses estão associados à obtenção de deflexões no pavimento. Todavia, há outras finalidades para os ensaios não destrutivos, como a que pretende avaliar as espessuras dos

pavimentos por meio do *Ground Penetrating Radar – GPR*, que se utiliza de ondas eletromagnéticas de alta frequência (50 a 1.600 MHz) no processo.

Comentário oportuno sobre o uso do GPR é que, em algumas situações, faz-se necessário o conhecimento da profundidade do objeto para calibração prévia do equipamento, o que pode ser entendido como uma desvantagem do método.

Uma vez coletados, os dados de deflexão possibilitam, por meio de *softwares* de retroanálise, a obtenção do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e do módulo de elasticidade do subleito e das demais camadas da estrutura, variáveis consideradas nos cálculos de PCN e de PCR, respectivamente.

Em suma, os processos de retroanálise fazem uso de modelagem matemática para avaliar, simultaneamente, quais os módulos de elasticidade que, associados às espessuras e aos materiais constituintes, proporcionam deflexões teóricas compatíveis com aquelas registradas pelos sensores (geofones).

4. O potencial problema da retroanálise

Potencial problema que envolve os processos de retroanálise diz respeito à ausência de solução única para o objeto de estudo. Dito de outra forma, a retroanálise visa a obter espessuras e módulos da estrutura que, por meio de modelos matemáticos, produzam as mesmas deflexões encontradas em campo.

Ocorre que essa solução não envolve sistema linear determinado, de solução única, mas, sim, indeterminado, que apresenta mais de uma solução. É nessa realidade que os ensaios destrutivos se mostram importantes, uma vez que os resultados por estes apresentados podem ser balizadores do processo de retroanálise, eliminando os resultados que apresentam mais características de ruído que de informação.

5. Alguns exemplos de equipamentos não destrutivos utilizados

Os equipamentos mais conhecidos para levantamento das bacias de deflexão em pavimentos aeroportuários são o FWD (*Falling Weight Deflectometer*) e o HWD (*Heavy Weight Deflectometer*). Em algumas condições, o LWD (*Light Weight Deflectometer*) também pode ser utilizado.

O FWD, em função do fabricante, em geral aplica cargas que variam entre 7 e 120 kN (Brasil), enquanto o HWD pode aplicar cargas de 13 até cerca de 320 kN. O LWD, por sua vez, é capaz de aplicar cargas menores, normalmente compreendidas entre 1 e 15 kN.

Os equipamentos mencionados anteriormente aplicam cargas em pratos circulares. Como exemplo, o FWD geralmente trabalha com pratos de 30 cm, o HWD com 45 cm e o LWD com 10 ou 15 cm. Diante disso, apesar da carga do LWD ser menor, a pressão que esse equipamento aplica no solo pode ser relevante, tendo em vista a menor área.

A AC 150/5370-11B, da *Federal Aviation Administration* (FAA), dos Estados Unidos da América, aborda a utilização de ensaios não destrutivos para a avaliação de pavimentos aeroportuários, apresentando as características técnicas de equipamentos destinados à avaliação de bacias de deflexão, dividindo-os por categoria, uma vez que existem equipamentos cujo princípio de medição é estático, vibratório ou por impulso. Uma tabela será mostrada adiante.

Destaca-se que a referida AC 150/5370-11B, em seu item 4 do capítulo 2, chama a atenção para a necessidade de compatibilização entre as cargas utilizadas no ensaio com as usuais no aeroporto:

"The magnitude of the impulse load can be varied by changing the mass and/or drop height so that it is similar to that of a wheel load on the main gear of an aircraft".

("A magnitude da carga impulsiva pode variar em função da mudança da massa e/ou da altura de queda, de modo que seja semelhante ao carregamento da roda no trem de pouso principal da aeronave", em uma tradução livre).

Nesse sentido, vale destacar a necessidade dos operadores de aeródromos – no processo de avaliação ou de contratação de tal serviço – atentarem para o uso de cargas compatíveis às aeronaves em operação ou que pretendam operar no aeródromo.

Ocorre que, em função da inexistência de norma específica da ANAC sobre o tema, tem-se utilizado, muitas vezes por desconhecimento, a carga rodoviária padrão preconizada no Procedimento DNER-PRO 273-96, isto é, 80 kN (40 kN por roda), o que é bem inferior às cargas por rodas aplicadas à estrutura por aeronaves da aviação regular.

Como exemplo, o B737-800 (B738) é responsável por aplicar uma carga ao pavimento da ordem de 180 kN por roda, enquanto o B763 aplica uma carga de cerca de 190 kN. Já o A380-800 é responsável por uma carga de cerca de 250 kN por roda.

A questão abordada anteriormente diz respeito apenas à carga aplicada. Por outro lado, a pressão da roda sobre o pavimento é mais importante, uma vez que essa consiste, fisicamente, na relação força/área. Dito isso, a forma de se avaliar a compatibilidade das cargas utilizadas nos equipamentos com as aeronaves do *mix* operacional é em termos de pressão.

Nesse sentido, o quadro 1 mostra a pressão em função do equipamento e da carga aplicada para algumas aeronaves, que pode ser comparada com a pressão dos pneus das aeronaves listadas para fins de avaliação da compatibilidade.

Quadro 1 – Pressão no solo em função do equipamento e da carga utilizados.

#	Aeronave	Pressão dos pneus (kPa)	LWD Pressão exercida (kPa) ¹	FWD Pressão exercida (kPa) ¹	HWD Pressão exercida (kPa) ¹	Carga utilizada (kN)
1	Cessna Citation II	896	849	212	94	15
2	B727-200	1.020		566	252	40
3	EMB-195 STD	1.062		1.132	503	80
4	A320neo	1.220		1.698	754	120
5	A321-100	1.358		1.006	160	
6	Learjet 45	1.386		1.258	200	
7	B737-800	1.407		1.509	240	
8	B777-300ER A380-800	1.503		1.761	280	
9	A350-900	1.662		2.012	320	

¹Foram considerados os seguintes diâmetros: $\phi_{LWD} = 15$ cm; $\phi_{FWD} = 30$ cm; $\phi_{HWD} = 45$ cm.

Fonte: GTEA/GCOP/SIA

Nota-se que, para aeroporto que opere o A380-800 como aeronave mais exigente, fica evidente a necessidade do uso de carga de 120 kN no FWD para que essa possa ser compatível com a pressão exercida pelos pneus da aeronave no pavimento.

Por compatibilidade, este órgão regulador considera carga compatível aquela que não varia mais de 15% na comparação entre a pressão exercida pelo equipamento (LWD/FWD/HWD) e a pressão dos pneus das aeronaves.

Considerando que essa carga pode, a depender do fabricante, não estar disponível, nessa situação o uso do HWD faz-se necessário. Por sua vez, o HWD cobre uma ampla faixa de cargas possíveis, razão pela qual é mais versátil. Portanto, faz-se necessário análise caso a caso.

A tabela 1, obtida da AC 150/5370-11B, traz lista com equipamentos de diversos fabricantes, incluindo algumas especificações.

Table 1. Summary of Nondestructive Testing Measuring Equipment

Category	Equipment	Manufacturer	Load Range, lb (kN)	Load Transmitted by, in (cm)	Number of Sensors	Sensor Spacing, in (cm)
Static	Benkleman Beam	Soiltest Inc.	Vehicle Dependent	Loaded Truck or Aircraft	1	N/A
	La Croix Deflectograph	Switzerland	Vehicle Dependent	Loaded Truck	1	N/A
	Plate Bearing Test	Several, ASTM D1196	Vehicle Dependent	Loaded Truck	1	N/A
Vibratory	Dynalect	Geolog, Inc.	1,000 (5)	15 (240) Diameter Steel Wheels	4	Variable, 0 - 48 (0 - 120)
	Road Rater	Foundations Mechanic, Inc.	500 - 8,000 (2 - 35)	18 (45) Diameter plate	4 - 7	Variable, 0 - 48 (0 - 120)
	WES Heavy Vibrator	U.S. Corps of Engineers	500 - 30,000 (2 - 130)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	5	Variable, 0 - 60 (0 - 120)
Impulse	Dynatest FWD	Dynatest Engineering	1,500 - 27,000 (7 - 240)	12 - 18 (30 - 45) Diameter plate	7 - 9	Variable, 0 - 90 (0 - 120)
	Dynatest HWD	Dynatest Engineering	6,000 - 54,000 (27 - 240)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	7 - 9	Variable, 0 - 96 (0 - 240)
	JILS FWD	Foundation Mechanics, Inc.	1,500 - 24,000 (7 - 107)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	7	Variable 0 - 96 (0 - 240)
	JILS HWD	Foundation Mechanics, Inc.	6,000 - 54,000 (27 - 240)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	7	Variable, 0 - 96 (0 - 240)
	KUAB FWD	KUAB	1,500 - 24,000 (7 - 150)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	7	Variable, 0 - 72 (0 - 180)
	KUAB HWD	KUAB	6,000 - 54,000 (13 - 294)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	7	Variable, 0 - 72 (0 - 180)
	Carl Bro FWD	Carl Bro Group	1,500 - 34,000 (7 - 150)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	9 - 12	Variable, 0 - 100 (0 - 250)
	Carl Bro HWD	Carl Bro Group	1,500 - 27,000 (7 - 250)	12 or 18 (30 - 45) Diameter plate	9 - 12	Variable, 0 - 100 (0 - 250)
	Carl Bro LWD	Carl Bro Group	1,500 - 27,000 (1 - 15)	4 or 8 or 12 (30 - 45) Diameter plate	9 - 12	Variable, 0 - 40 (0 - 100)

Equipment mentioned above is for information purposes only.

Tabela 1 - Resumo dos equipamentos de medição utilizados em ensaios não destrutivos.

Diante do exposto, a visão da ANAC é que o FWD pode ser utilizado em boa parte dos aeroportos da aviação regular, desde que aplicada a carga adequada. Em pavimentos com espessura reduzida, além do FWD, também podem ser usadas cargas menores (LWD). Já em pavimentos com espessuras maiores, tipo pavimento rígido com *overlay* de pavimento flexível, o uso do FWD pode se mostrar inadequado, e deve-se considerar o uso do HWD.

Outro ponto importante abordado pela AC 150/5370-11B diz respeito à carga de impulso. De acordo com a FAA, a carga de impulso geralmente varia entre 90 kN e 250 kN em

pavimentos que atendam aeronaves do transporte aéreo comercial. Todavia, destaca-se que pode haver necessidade do uso de cargas maiores, assim como o uso de cargas menores também poderá ser aceito em determinadas condições.

6. Ações recomendadas

Os operadores de aeródromos devem atentar para a compatibilidade das cargas utilizadas na realização de ensaios não destrutivos visando à avaliação estrutural do pavimento e, também, à determinação do PCN/PCR de pavimentos aeroportuários.

Para essa finalidade, os principais equipamentos disponíveis atualmente são o LWD, o FWD e o HWD, cujas principais diferenças entre eles consiste na intensidade da carga aplicada ao pavimento e, naturalmente, no tamanho do equipamento (dimensões físicas). Com efeito, análise da compatibilidade entre a pressão aplicada ao pavimento por aeronaves e a pressão a ser utilizada pelo equipamento de ensaio deve ser realizada.

A carga rodoviária (40 kN por roda) comumente utilizada nesse tipo de avaliação no Brasil mostra-se inadequada para boa parte dos pavimentos aeroportuários, de modo que os resultados obtidos por meio desse impulso são, no mínimo, questionáveis.

Ainda, na opção pela realização de ensaios não destrutivos, a orientação deste órgão regulador é que estes sejam realizados em função do direcionamento dado pelo ensaio destrutivo, visando a restringir o leque possível de resultados que se depreende de processos de retroanálise, o que pode afetar significativamente as estimativas de resistência do pavimento.

Em suma, não se recomenda o uso **exclusivo** de ensaios não destrutivos para avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários.

7. Contato

Dúvidas sobre situações específicas podem ser endereçadas ao e-mail obras.sia@anac.gov.br, incluindo no assunto: “AOA nº 003/2021 – Considerações sobre Ensaios Não Destrutivos (END) com o objetivo de se avaliar aspectos estruturais ou, ainda, de se determinar o PCN/PCR de pavimentos aeroportuários”.

Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária
SIA/ANAC