

ARTIGO REF: 6645

DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS: APLICAÇÃO DO FAARFIELD ÀS PISTAS DE LISBOA E FARO

Ricardo A. Cabral Vieira^{1(*)}, Luís de Picado Santos²

¹Norma Açores, S.A., Dir. de Engenharia e Fiscalização (DEF) - Ponta Delgada, Portugal

²Universidade de Lisboa, Depart. de Engenharia Civil, Arq. e Georrecursos (DECivil-IST) - Lisboa, Portugal

(*)*Email*: rcabralvieira@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

A Advisory Circular 150/5320-6E (2009) da Federal Aviation Administration introduz com o software FAARFIELD novas orientações ao dimensionamento e avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários. Deste modo, procede-se à exploração desta nova metodologia e à apreciação da sua aplicabilidade em Portugal, realizando-se uma análise comparativa entre os resultados desta e os decorrentes da metodologia empírico-mecanicista habitualmente usada na tecnologia portuguesa.

INTRODUÇÃO

Existe atualmente uma variedade de metodologias de dimensionamento de pavimentos aeroportuários com maior ou menor grau de divulgação e aceitabilidade em cada país. Além disso, há uma tendência crescente ao desenvolvimento de softwares, como o FAARFIELD, PCASE (Estados Unidos da América), ALIZE-LCPC (França), APSDS (Austrália), entre outros.

A análise comparativa dos resultados obtidos utilizando diferentes metodologias de dimensionamento é uma ferramenta essencial para a compreensão e evolução das mesmas.

A Federal Aviation Administration (FAA) do U.S. Department of Transportation é uma das entidades que ao longo das décadas mais tem estudado e impulsionado o progresso das metodologias de dimensionamento de pavimentos aeroportuários. A reputação auferida faz com que as suas publicações tenham um impacto global. A Advisory Circular 150/5320-6E (FAA, 2009) apresenta o software FAARFIELD como o seu mais avançado método de dimensionamento e avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários.

O FAARFIELD foi utilizado na sua versão 1.305.

ENQUADRAMENTO

No caso dos pavimentos flexíveis, o dimensionamento e avaliação estrutural é correntemente realizado através de métodos empírico-mecanicistas nos quais o cálculo do estado de tensão-deformação recorre a um modelo estrutural de multicamadas com comportamento elástico linear baseado no modelo de Burmister, sendo estas horizontais, homogéneas e isotrópicas, conforme apresentado na Figura 1.

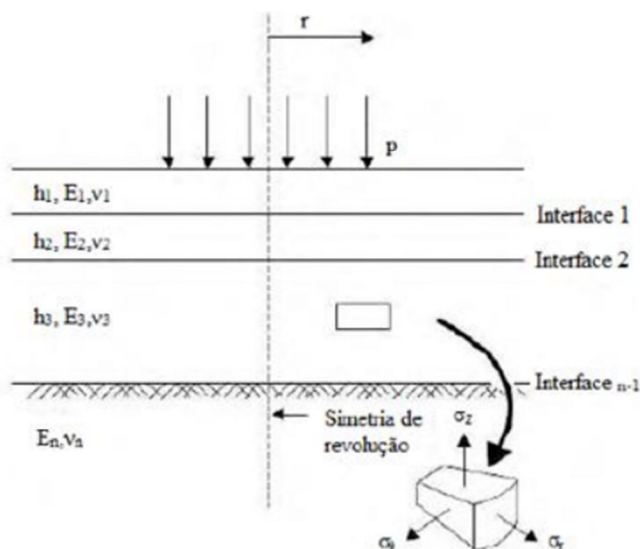


Fig. 1 - Modelo estrutural de multicamadas com comportamento elástico linear.

No entanto, até à anterior Advisory Circular 150/5320-6D (FAA, 1995), a FAA construiu ábacos com curvas de dimensionamento desenvolvidas pela correlação de informação proveniente de diversas fontes e pelo método do California Bearing Ratio (CBR), detalhado por Taboza-Pereira (1977), as quais foram sucessivamente atualizadas para responder da melhor forma às exigências verificadas.

Deste modo, a FAA definia a ação do tráfego com recurso ao conceito de aeronave crítica ou de projeto, sendo esta a aeronave do espetro de tráfego que requeria uma maior espessura para o pavimento, função do seu peso bruto, número de descolagens e trem de aterragem. Após a sua definição através das curvas de dimensionamento, as restantes aeronaves seriam convertidas na aeronave crítica segundo a relação:

$$\log(R_1) = \log(R_2) \times \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

em que R_1 é o número de descolagens anuais equivalentes da aeronave crítica, R_2 o número de descolagens anuais da aeronave em análise expresso com a configuração do trem de aterragem da aeronave crítica, W_1 a carga por roda da aeronave crítica e W_2 a carga por roda da aeronave em análise. R_2 seria dado pela equivalência:

$$R_2 = P \times (0.8)^{M-N} \quad (2)$$

em que P é o número de descolagens anuais da aeronave em análise, M o número de rodas do trem principal da aeronave crítica e N o número de rodas do trem principal da aeronave em análise.

Todavia, esta metodologia revelou-se limitada para considerar as ações das aeronaves que a indústria aeronáutica antecipava, mais pesadas e com configurações de trem de aterragem cada vez mais complexas e variadas.

Note-se ainda que é inerente ao conceito de aeronave crítica admitir-se que os trens de aterragem de todo o espetro de tráfego encontram-se à mesma distância do eixo da pista, o que, não sendo exato, poderá suscitar erros significativos.

Garg et al. (2004) reportam que com o surgimento do trem de aterragem em triplo tandem duplo (3D) do Boeing B-777 entendeu-se que devido ao elevado grau de interação entre os carregamentos individuais das rodas, a utilização do método do CBR resultava em espessuras excessivamente elevadas e, conseqüentemente, em soluções muito conservativas.

Neste sentido, o software LEDFAA é lançado no ano de 1995 para servir especificamente a inclusão do Boeing B-777, o qual já integrava um modelo estrutural de multicamadas com comportamento elástico linear desenvolvido pela FAA.

Estas novas gerações de aeronaves, nas quais se inclui, por exemplo, o Airbus A380, motivaram a necessidade de realizarem-se novos ensaios à escala real no National Airport Pavement Test Facility (NAPFT), inaugurado em 1999.

No ano de 2004, e resultado destes novos ensaios, a FAA viabiliza na terceira atualização da Advisory Circular 150/5320-6D que o LEDFAA, na sua versão 1.3, seja usado como um método alternativo de dimensionamento e avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários para qualquer tráfego.

O LEDFAA marca uma alteração muito significativa relativamente à filosofia anterior, uma vez que não só substitui os ábacos com curvas de dimensionamento pelo uso de software, mas também substitui o conceito de aeronave crítica pela consideração de todo o espetro de tráfego, onde admite as características individuais dos rodados das aeronaves em relação ao eixo da pista, contribuindo cada uma destas para um fator cumulativo de dano (CDF) segundo a regra de Miner, como ilustra a Figura 2.

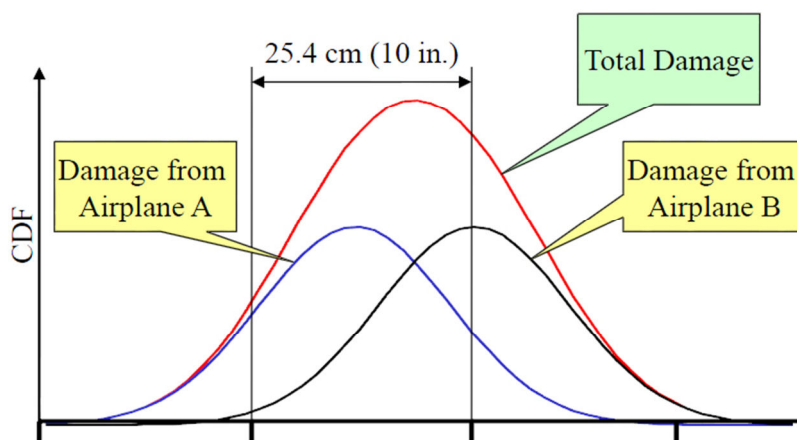


Fig. 2 - Fator cumulativo de dano - CDF (Brill, 2012).

No que concerne aos pavimentos flexíveis, o FAARFIELD introduz relativamente ao LEDFAA 1.3 algumas melhorias internas, nomeadamente na rotina de cálculo dos rácios passagens/recobrimentos (P/C ratios), não modificando, porém, a interface do software, nem o seu funcionamento geral do ponto de vista do utilizador.

A FAA indica que estes softwares produzem resultados compatíveis com as metodologias anteriores para as aeronaves existentes na época, dado que o legado deixado pelos ábacos é tido em conta no ajuste dos mesmos.

Refere ainda que continua a ser requerido um considerável julgamento técnico em toda a metodologia e que os softwares não satisfazem automaticamente todas as exigências e recomendações das Advisory Circulars, pelo que estas devem ser seguidas e usadas de forma conjunta.

PROCEDIMENTO

Face à sua relevância e especificidades distintas em termos de tráfego e estrutura dos pavimentos, os casos de estudo definidos são as pistas dos aeroportos de Lisboa (RWY 03-21) e Faro (RWY 10-28), tendo-se utilizado a informação de Picado-Santos (2014a e 2014b).

Esta análise não compromete em nenhuma circunstância o gestor da infraestrutura, nem a realidade da sua operação, uma vez que existe uma simplificação/adaptação da base de dados necessária ao uso do FAARFIELD.

Por forma a inserir-se os módulos de deformabilidade obtidos em processos de retroanálise de ensaios de carga “in situ” com um defletómetro de impacto (FWD), é necessário adotar-se no software as camadas dos pavimentos como materiais indefinidos (undefined), aos quais o mesmo não permite estabelecer qualquer consideração em relação ao critério de ruína por fadiga das misturas betuminosas, pelo que este é omissivo.

Sublinhe-se, ainda assim, que o critério de ruína por deformação permanente é o mais condicionante na grande maioria dos casos.

ANÁLISE COMPARATIVA

A metodologia empírico-mecanicista habitualmente usada na tecnologia portuguesa (MEM-PT) considera a ação do tráfego admitindo uma aeronave crítica, em conformidade com as anteriores recomendações da FAA, sintetizando-se ainda as restantes diferenças substanciais FAARFIELD / MEM-PT nos pontos seguintes.

Critério de ruína por deformação permanente

A MEM-PT utiliza a formulação proposta por Chou (1982), expressa por:

$$\varepsilon_v = 0.00539 \times N^{-0.14356} \quad (3)$$

em que ε_v é a máxima extensão vertical no topo da fundação e N o número de recobrimentos para a ruína estrutural.

No FAARFIELD o utilizador não tem acesso direto ao estado tensão-deformação calculado, sendo que a mesma relação é dada por:

$$N = \left(\frac{0.004}{\varepsilon_v} \right)^{8.1}, \quad \text{se } N \leq 12100 \quad (4)$$

$$N = \left(\frac{0.002428}{\varepsilon_v} \right)^{14.21}, \quad \text{se } N > 12100 \quad (5)$$

A representação de (3), (4) e (5) encontra-se na Figura 3.

Observa-se que para extensões inferiores a 1125×10^{-6} existe uma diferença muito significativa entre as formulações, onde a abordagem mais conservadora (que permite menos recobrimentos) é a de Chou.

Para valores superiores ao referido, i.e., para uma extensão já elevada no contexto de um pavimento aeroportuário, onde existe a possibilidade de haver uma degradação estrutural assinalável, a abordagem mais conservadora é a do FAARFIELD.

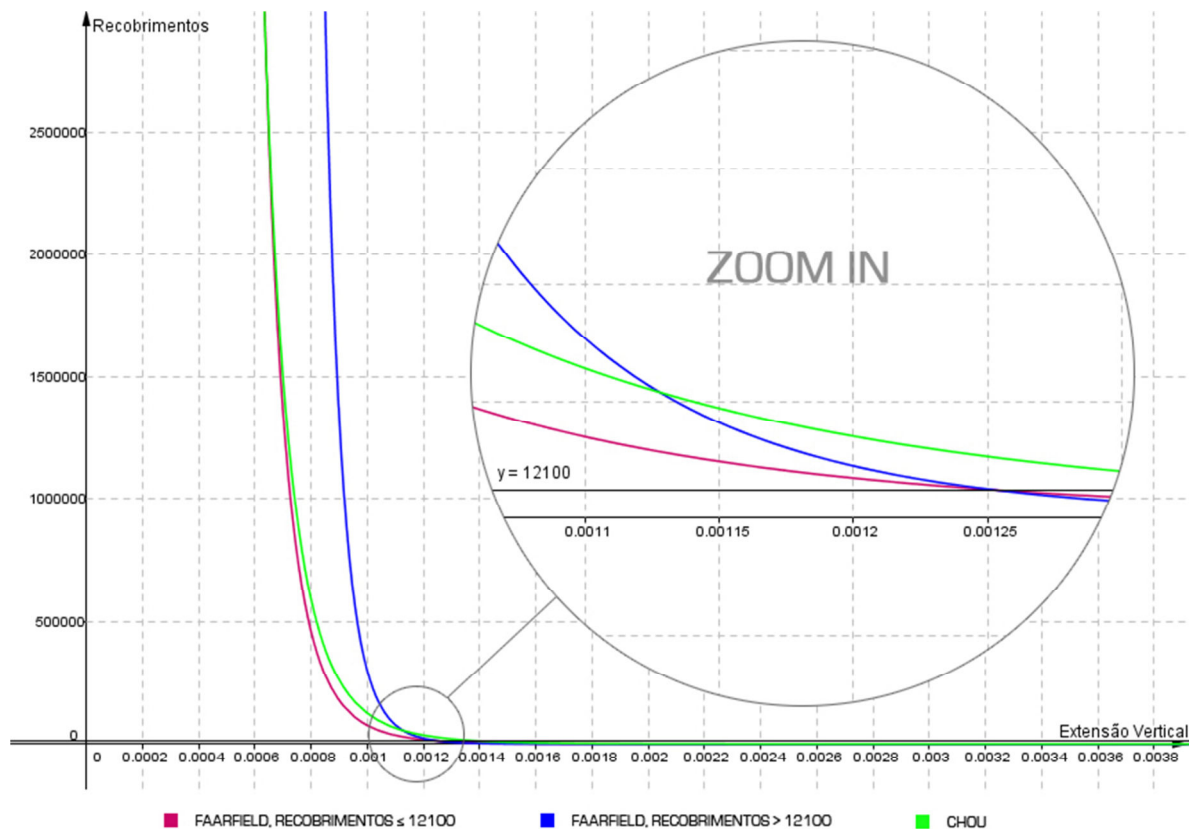


Fig. 3 - Comparação do critério de ruína por deformação permanente entre o FAARFIELD e Chou

Rácios passagens/recobrimentos

A MEM-PT considera a dispersão lateral do carregamento da aeronave crítica através dos P/C ratios da Advisory Circular 150/5335-5A (FAA, 2006), sendo estes observados na superfície dos pavimentos.

No FAARFIELD é estabelecido um novo conceito de largura efetiva do pneu (Figura 4 e 5), no qual o cálculo do P/C ratio de cada aeronave do espetro de tráfego é executado pelo software no topo da fundação do pavimento.

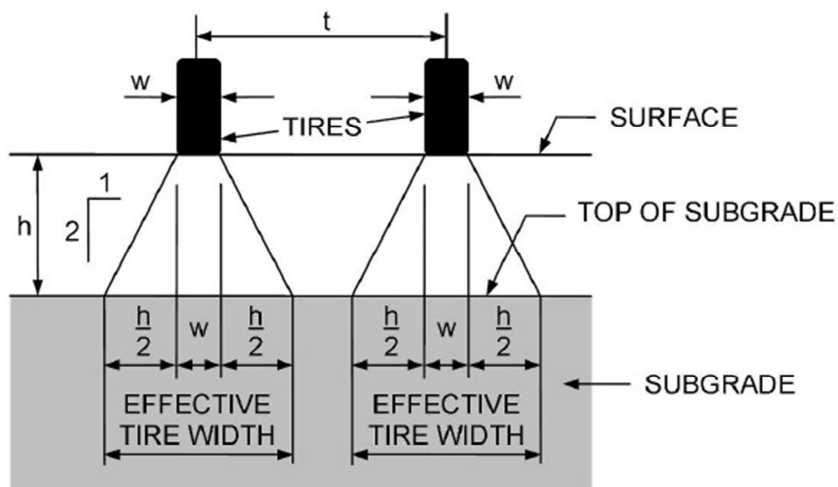


Fig. 4 - Área efetiva do pneu sem sobreposição (FAA, 2009).

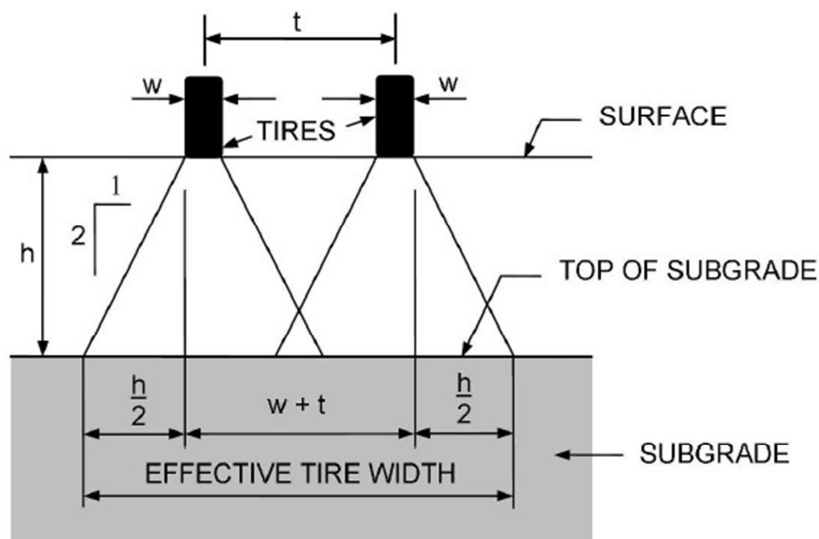


Fig. 5 - Área efetiva do pneu com sobreposição (FAA, 2009).

Em consequência, os valores obtidos são substancialmente inferiores, sendo possível que a passagem de uma aeronave origine mais do que um recobrimento.

Um P/C ratio inferior é mais gravoso para o pavimento, uma vez que aumenta o número de recobrimentos aplicados.

RESULTADOS

Na tabela 1 e 2 apresentam-se os resultados obtidos para os casos de estudo.

Tabela 1 - Vida residual da fundação para a RWY 03-21 do aeroporto de Lisboa.

Metodologia	Zona 1· (anos)	Zona 2· (anos)	Zona 3· (anos)
MEM-PT (2012)	>> 20	>> 20	> 20
FAARFIELD (2012)	703.3	155.0	29.3
FAARFIELD (2013)	648.0	141.6	26.3

Tabela 2 - Vida residual da fundação para a RWY 10-28 do aeroporto de Faro.

Metodologia	Zona 1· (anos)	Zona 2· (anos)
MEM-PT (2012)	6	5
FAARFIELD (2012)	1.2	0.9
FAARFIELD (2013)	1.0	0.8

A RWY 03-21 do aeroporto de Lisboa revelou uma excelente qualidade estrutural do pavimento, sendo notória, ainda assim, uma redução da mesma no sentido da cabeceira 03 para a cabeceira 21, a qual foi acompanhada por ambas as metodologias.

No sentido oposto, a RWY 10-28 do aeroporto de Faro mostrou um pavimento no fim da sua vida útil, e, embora o FAARFIELD seja mais penalizador, entende-se que ambas as metodologias indicam a presença de atuação.

CONCLUSÕES

Em relação à metodologia empírico-mecanicista habitualmente usada na tecnologia portuguesa (MEM-PT), os resultados do FAARFIELD são mais conservadores quando os pavimentos encontram-se no limite da sua capacidade de serviço e alinham-se razoavelmente bem quando os pavimentos são novos ou apresentam uma capacidade de carga ainda significativa.

O FAARFIELD possibilita a obtenção de resultados rápidos, verificando-se que embora seja mais detalhado, é menos controlável na forma como considera a informação.

A principal limitação do software é a reduzida correspondência entre os materiais disponíveis, com módulos de deformabilidade automáticos e globalmente inalteráveis, e os materiais de pavimentação usados em Portugal.

Esta situação pode ser ultrapassada ao considerar-se materiais indefinidos (undefined) e realizando-se o dimensionamento e avaliação estrutural à deformação permanente.

Existem ainda outras limitações de menor relevância, designadamente: (i) espectro de tráfego com um máximo de 40 aeronaves; (ii) não permite interfaces de descolagem entre camadas; (iii) não permite alterações ao coeficiente de Poisson das camadas; (iv) ausência na biblioteca interna de aeronaves do fabricante Embraer.

REFERÊNCIAS

[1]-Brill, D. R., “FAARFIELD 1.3: Software Overview”. IX ALACPA, 2012.

[2]-Chou, Y. T., “Structural Behaviour of Flexible Airfield Pavements”. Proceedings of International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, 1982.

[3]-Federal Aviation Administration, “Airport Pavement Design and Evaluation”. Advisory Circular 150/5320-6D, U.S. Department of Transportation, 1995.

[4]-Federal Aviation Administration, “Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN”. Advisory Circular 150/5335-5A, U.S. Department of Transportation, 2006.

[5]-Federal Aviation Administration, “Airport Pavement Design and Evaluation”. Advisory Circular 150/5320-6E, U.S. Department of Transportation, 2009.

[6]-Garg, N., Guo, E., McQueen, R., “Operational Life of Airport Pavements”. DOT/FAA/AR-04/46, U.S. Department of Transportation, 2004.

[7]-Taboza-Pereira, A., “Procedures for Development of CBR Design Curves”. Instruction Report S-77-1, U.S. Army Corps of Engineers, 1977.

[8]-Picado-Santos, L., “Aeroporto de Lisboa: Relatório Interno da Campanha de Ensaios dos Pavimentos - Fase III”. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2014 (a).

[9]-Picado-Santos, L., “Aeroporto de Faro: Relatório Interno da Campanha de Ensaios dos Pavimentos - Fase III”. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2014 (b).