

Aplicação de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da FAA ao Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek

Bernardo Antonio Silva Ramos¹, Dario Cardoso de Lima², Heraldo Nunes Pitanga³, Taciano Oliveira da Silva⁴✉

¹Centro Universitário do Distrito Federal, Departamento de Engenharia Civil, bernardoramos@gmail.com

²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, declima@ufv.br

³Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, heraldo.pitanga@ufv.br

⁴Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, taciano.silva@ufv.br

Recebido:

24 de junho de 2016

Aceito para publicação:

06 de julho de 2017

Publicado:

30 de dezembro 2017

Editor de área:

Jorge Barbosa Soares

Palavras-chaves:

Pavimento aeroportuário,
Dimensionamento,
FAARFIELD.

Keywords:

Airport Pavement,
Design,
FAARFIELD.

RESUMO

Neste artigo, aborda-se o dimensionamento da pista de pouso e decolagem 11R/29L, em pavimento flexível, do Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, empregando-se os métodos de dimensionamento da *Federal Aviation Administration* (FAA) divulgados na AC 150/5320-6D, de 1995, e na AC 150/5320-6E, de 2009, considerando-se os tráfegos aéreos do dimensionamento original e aquele atualizado para o ano de 2013. Foi possível observar a sensibilidade do procedimento da FAA de 2009 no que diz respeito à obtenção de estruturas mais fiéis às solicitações impostas pelos tráfegos analisados. Em relação às estruturas obtidas, pode-se observar: (i) a espessura de projeto obtida com o emprego do programa computacional FAARFIELD v. 1.305, para o mesmo tráfego aéreo de projeto, foi 10 cm menor do que aquela determinada com o emprego do procedimento da FAA de 1995; (ii) a espessura de projeto oriunda da utilização do procedimento da FAA de 1995, mas empregando-se o tráfego aéreo atual, foi 2,5 cm maior àquela determinada empregando-se o tráfego aéreo original de projeto; e (iii) a espessura de projeto determinada com o programa computacional FAARFIELD v. 1.305, considerando-se o tráfego aéreo atual, foi 21,5 cm menor do que aquela obtida com o emprego do procedimento da FAA de 1995.

ABSTRACT

This article addresses the design of the flexible pavement runway 11R/29L of the International Airport Presidente Juscelino Kubitschek using the design procedures of the Federal Aviation Administration (FAA) published at the AC 150/5320-6D, in 1995, and at the AC 150/5320-6E, in 2009, considering the original design air traffic and that updated to the year 2013. It was possible to observe the sensibility of the FAA 2009 procedure in resulting on structures more reliable for the solicitations of the air traffic considered. Based on the results obtained, it was possible to observe: (i) the design thickness obtained with the use of the FAA 2009 procedure, for the same design air traffic, resulted is 10 cm lower than that determined with the use of FAA 1995 procedure; (ii) the design thickness determined using the FAA 1995 procedure, and the current air traffic was 2.5 cm higher than that determined using the original design air traffic; and (iii) for the current air traffic, the design thickness determined using the FAA 2009 procedure was 21.5 cm lower than that obtained with the use of the FAA 1995 procedure.

DOI:10.14295/transportes.v25i4.1180



1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acentuado na demanda pelo uso de serviços aeroportuários no Brasil, houve uma necessidade crescente de investimentos para a manutenção da qualidade dos aeroportos. As concessões, através de parcerias público-privadas, vieram ao encontro dessas necessidades e tiveram como objetivo

ampliar e aperfeiçoar a infraestrutura aeroportuária brasileira, promovendo melhorias no atendimento e nos níveis de qualidade dos serviços prestados aos usuários no transporte aéreo do país (INFRAERO, 2016). Com essa necessidade de investimentos na infraestrutura aeroportuária brasileira, surgiu também a necessidade de se desenvolverem estudos para a utilização de novos procedimentos para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários que resultem em pavimentos mais adequados às solicitações impostas pelo tráfego aéreo.

Considerando-se a importância e o alcance do setor aeroviário para a economia do Brasil e o fato de que não há um método brasileiro de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, buscou-se direcionar o presente trabalho para a apresentação de um estudo de caso relativo ao Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, com o emprego dos procedimentos mais recentes da *Federal Aviation Administration* (FAA), dos Estados Unidos, para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários flexíveis, que têm-se constituído na base de procedimentos adotados no Brasil nas últimas duas décadas, a saber: (i) AC 150/5320-6D (FAA, 1995); (ii) AC 150/5320-6E (FAA, 2009); e (iii) AC 150/5320-6F (FAA, 2016).

A circular AC 150/5320-6E (FAA, 2009) foi cancelada pela publicação da versão atual, AC 150/5320-6F (FAA, 2016). Entretanto, esta nova publicação, em resumo: (i) apresenta modificações no dimensionamento de pavimentos aeroportuários em consequência da atualização do programa computacional FAARFIELD para a versão 1.41; e (ii) mantém a filosofia de projeto apresentada na AC 150/5320-6E (FAA, 2009) que se baseia nos valores da tensão vertical máxima no topo da camada de subleito e da tensão horizontal máxima na parte inferior da camada de revestimento asfáltico, como elementos de previsão da vida útil do pavimento. Assim, basicamente, o procedimento possibilita o cálculo das espessuras das várias camadas do pavimento para suportar determinado conjunto de tráfego aeroviário ao longo do tempo, considerando-se a capacidade de suporte do subleito e das outras camadas do pavimento.

2. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS NO BRASIL

Taffe Júnior (2002) ressalta que, historicamente, o dimensionamento de pavimentos aeroportuários no Brasil é baseado nos métodos desenvolvidos pela FAA, seja no projeto de novos pavimentos, assim como na restauração de pavimentos deteriorados. Criada em 1958, a FAA é uma agência governamental ligada ao Departamento de Transporte dos Estados Unidos, que é responsável pelos regulamentos e por todos os aspectos relacionados à aviação civil daquele país. Através das suas publicações, entre várias outras funções, essa entidade orienta projetistas e administradores quanto ao dimensionamento de pavimentos aeroportuários.

Nas últimas décadas, os pavimentos aeroportuários brasileiros têm sido dimensionados de acordo com as metodologias desenvolvidas pela FAA que se encontram apresentadas nos documentos AC 150/5320-6C (FAA, 1978), AC 150/5320-6D (FAA, 1995), AC 150/5320-6E (FAA, 2009) e, recentemente, AC 150/5320-6F (FAA, 2016). Tem-se que a AC 150/5320-6E (FAA, 2009), com abrangência sobre pavimentos rígidos e flexíveis, veio substituir aquela divulgada na AC 150/5320-6D (FAA, 1995), que preconizava a determinação das espessuras dos pavimentos rígidos e flexíveis através do modelo analítico de Westergaard e pelo Método do CBR, respectivamente. Além disso, o dimensionamento do pavimento aeroportuário deveria obedecer a sequência apresentada na Tabela 1.

Com relação às aeronaves, trabalha-se com uma divisão das mesmas em seis grupos, sendo que o projetista seleciona e ajusta as frequências de pouso e decolagem e os pesos das aeronaves consideradas no tráfego aéreo do aeroporto. Caso haja a necessidade de se considerar um grupo de aeronaves que não estejam inseridas no programa, pode-se fazer esta consideração através de um grupo chamado *Generic* o qual possibilita a inserção da aeronave através do tipo de trem de pouso que ela possuir.

Tabela 1: Etapas para o dimensionamento de pavimentos segundo a circular AC 150/5320-6D (FAA, 1995).

Etapa	Procedimento
1	Identificar a aeronave de projeto como aquela que leve à maior espessura de pavimento.
2	Obter o peso máximo de decolagem e o tipo de trem de pouso da aeronave de projeto e de todas as outras aeronaves que vão utilizar o aeroporto em questão.
3	Obter o número de decolagens anuais previstas para cada aeronave.
4	Obter, para cada tipo de aeronave, a sua carga por roda como o resultado da divisão de 95% do seu peso máximo de decolagem pelo número de rodas do trem de pouso principal (ou dos trens de pouso principais, se aplicável).
5	Converter o número de decolagens de cada aeronave em termos da aeronave de projeto, considerando-se os fatores de conversão de cada trem de pouso para o trem de pouso da aeronave de projeto.
6	Determinar o número equivalente anual de decolagens da aeronave de projeto com base no número de decolagens de cada tipo de aeronave convertido para a aeronave de projeto e na relação entre as cargas por roda de cada aeronave e da aeronave de projeto.
7	Empregar ábaco específico de projeto que relaciona o trem de pouso da aeronave de projeto, o tipo de pavimento (rígido ou flexível), o peso máximo de decolagem da aeronave de projeto, a resistência mecânica do solo [através do valor de CBR do subleito (pavimento flexível) ou do coeficiente de reação do subleito ou do sistema subleito/sub-base (pavimento rígido)] e o número equivalente anual de decolagens da aeronave de projeto, para fins de determinação da espessura do pavimento (espessura total de camadas de pavimento flexível ou da placa de concreto de pavimento rígido).

3. ESTUDO DE CASO

O presente trabalho foi dirigido ao estudo de caso do dimensionamento estrutural do pavimento flexível da pista de pouso e decolagem 11R/29L do Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, empregando-se os procedimentos que constam nas circulares AC 150/5320-6D (FAA,1995) e AC 150/5320-6E (FAA, 2009), considerando-se o tráfego aéreo original de projeto, datado de 2003, e aquele de 2013, que foi disponibilizado pela INFRAERO (2014). Especificamente, abordou-se: (i) o redimensionamento do pavimento original pelo procedimento contido no documento AC 150/5320-6E (FAA, 2009), (ii) o dimensionamento do pavimento para o tráfego aéreo atual pelo procedimento contido no documento AC 150/5320-6E (FAA, 1995) e (iii) o dimensionamento do pavimento para o tráfego aéreo atual pelo procedimento contido no documento AC 150/5320-6E (FAA, 2009).

3.1. Dados técnicos sobre o Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek

O Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, também conhecido como Aeroporto de Brasília, está localizado na cidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil. Sua inauguração data de maio de 1957. Atualmente, o aeroporto conta com duas pistas de pouso e decolagem, ambas em pavimento flexível, como segue: (i) pista 11L/29R, que data da época da construção do aeroporto, com 3.200 m de extensão, 45 m de largura e PCN (*Pavement Classification Number*) 76/F/B/X/T; e (ii) pista 11R/29L, mais recente, com 3.300 m de extensão, 45 m de largura e PCN 68/F/B/W/T (DECEA, 2015). Na Figura 1, apresenta-se o seu arranjo físico atual.



Figura 1: Pistas de pouso e decolagem 11L/29R (sup.) e 11R/29L (inf.) do Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek (GOOGLE, 2016).

Segundo Araújo (2009), a pista 11R/29L, inaugurada em dezembro de 2005, teve sua estrutura dimensionada de acordo com a metodologia descrita na circular AC 150/5320-6D (FAA, 1995). Com relação à pista 11L/29R, não se dispõe de informação técnica sobre a sua composição e o correspondente procedimento de cálculo estrutural, o que levou o presente estudo a abordar apenas o dimensionamento da pista 11R/29L.

Farias e Falcão (2006 *apud* Araújo, 2009) informam que o projeto do pavimento da pista 11R/29L apresenta a seguinte constituição: (i) revestimento em Concreto Asfáltico (CA) com 6,0 cm de espessura; (ii) *binder* em CA com 8,0 cm de espessura; (iii) base em Brita Graduada Simples (BGS) granítica com 30 cm de espessura e CBR de 80%; (iv) sub-base estabilizada granulometricamente com cascalho laterítico com espessura de 38 cm e CBR de 40%; e (v) subleito regularizado com CBR de 12%. Como não foi possível obter os valores dos Módulos de Resiliência (MR) das camadas utilizadas no pavimento, utilizou-se a Equação 1 (FAA, 2009) para a obtenção dos valores de MR, em MPa, em função dos valores CBR.

$$MR = 10,34 \times CBR \quad (1)$$

Dessa forma, adotou-se valores de módulo de 124,11 MPa, 413,69 MPa e 827,37 MPa para as camadas de subleito, sub-base e base, respectivamente. Na Tabela 2, apresenta-se o tráfego aéreo de projeto considerado no dimensionamento da pista 11R/29L, tendo-se como aeronave de projeto a MD-11, conforme relata a Planorcon (2003 *apud* Araújo, 2009). Dados da INFRAERO (2014), apresentados na Tabela 3, abrangem o tráfego aéreo do Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek no ano de 2013.

Tabela 2: Movimento operacional considerado no projeto da pista 11R/29L (Araújo, 2009).

Aeronave	Peso máximo de operação (kg)	Carga por roda (kg)	Decolagem anual média	Trem de pouso
B767-300 ER	184.600	16.160	977	
MD-11	285.100	16.160	900	
B767-200 ER	175.550	16.160	442	Duplo Tandem
B757-200	115.700	14.543	294	
A330-200	233.000	13.739	140	
B757-300	122.470	16.160	116	
A310-200	132.000	16.160	47	
B747-100	340.100	16.160	1.328	Duplo-Duplo Tandem
B777-400	397.000	16.160	203	
B737-500	60.550	14.381	7.502	
A319-100	70.000	16.625	6.776	
A320-200	73.500	17.456	6.024	
B737-700	70.080	18.766	5.158	Roda Dupla
B737-800	79.015	15.675	3.858	
B737-300	63.300	16.644	2.164	
B737-200	52.400	12.445	296	
B777-200	300.600	16.160	128	

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Redimensionamento do pavimento flexível original pelo procedimento contido no documento AC 150/5320-6E (FAA, 2009)

Nessa etapa, realizou-se o redimensionamento da pista original em pavimento flexível, empregando-se o procedimento relatado na AC 150/5320-6E (FAA, 2009), tendo como elementos de entrada no programa computacional FAARFIELD v. 1.305 o tráfego aéreo do ano de 2003 e os valores dos MR dos materiais que compõem as camadas do pavimento de projeto da pista 11R/29L. Em relação ao tráfego, para fins de redimensionamento do pavimento, foram considerados os pesos relatados no projeto original do pavimento, com a finalidade de se obter um resultado mais fidedigno.

Com o emprego do programa computacional FAARFIELD v. 1.305, obteve-se uma estrutura total de pavimento da ordem de 72 cm, conforme pode ser visualizado na Tabela 4. Nota-se, também, que foi obtida uma espessura total menor para o pavimento resultante do redimensionamento realizado através

do procedimento da FAA de 2009, comparativamente àquela considerada no projeto original do pavimento.

Tabela 3: Movimento operacional de 2013 do Aeroporto Internacional Pres. Juscelino Kubitschek (INFRAERO, 2014).

Aeronave	Decolagem anual média	Peso máximo de operação (kg)	Trem de pouso	Eixos adicionados
C295 - Airbus CASA C 295	136	136.200	2 Rodas simples em Tandem	-
A332 - A330-200	418	231.107		
B763 - B767-300	656	136.200	Duplo Tandem	-
B752 - B757-200	685	116.120		
B722 - B727-200	1.003	84.005		
A321 - A321-100	1.336	83.400		
B738 - B737-800	18.485	79.243		
A320 - A320-200	21.922	73.900		-
B737 - B737-700	8.572	70.307		
A319 - A319-100	7.784	64.400		
A318 - A318-100	3.214	56.400	Roda Dupla	
F100 - Fokker F100	3.608	45.813		
E190 - Embraer E190	4.698	47.790		Dual Whl – 100
AT72 - ATR 72-210	2.265	21.500		
E145 - Embraer ERJ 145	965	19.990		Dual Whl – 45
E135 - Embraer ERJ 135	1.487	19.000		

Em relação aos valores de MR considerados no dimensionamento realizado com o uso do programa computacional FAARFIELD v. 1.305, acredita-se que a variação na espessura total observada pode ser justificada pelas incertezas inerentes na conversão de dois índices que representam tipos diferentes de solicitações do solo, o que não exclui a influência do tráfego e a influência da mudança de metodologia no dimensionamento.

Nesse sentido, é necessário lembrar que, no método de dimensionamento publicado em 1995, empregou-se o conceito de aeronave de projeto, que é aquela que necessita da maior espessura de pavimento e que representa, de forma equivalente, todo o tráfego aéreo considerado no projeto, enquanto que, no método de 2009, trabalha-se com o conceito de *mix* de aeronaves, ou seja, no programa computacional FAARFIELD v. 1.305, leva-se em conta o tipo de trem de pouso, o peso máximo de decolagem e o número específico de decolagens de cada aeronave.

Tabela 4: Comparação entre as espessuras das camadas do pavimento original (FAA, 1995) e do pavimento redimensionado (FAA, 2009).

Dados	Pavimento original	Pavimento redimensionado
Revestimento asfáltico	14 cm	10 cm
Base	30 cm	20 cm
Sub-base	38 cm	42 cm
Espessura total	82 cm	72 cm
Versão do Método da FAA	1995	2009
Tráfego aéreo		De projeto
Propriedades das camadas		De projeto

Destaca-se que, no dimensionamento pelo método da FAA de 1995, a aeronave de projeto foi a MD-11, com um número médio de 900 decolagens anuais, como é informado na Tabela 2. Porém, no dimensionamento realizado com o uso do método da FAA publicado em 2009, a aeronave que apresentou maior contribuição para o CDF de projeto foi a B777-400, com maior peso operacional e número médio de 203 decolagens anuais.

4.2. Dimensionamento do pavimento asfáltico para o tráfego aéreo atual pelo procedimento AC 150/5320-6D (FAA, 1995)

Realizou-se o dimensionamento do novo pavimento asfáltico com o emprego do procedimento descrito na AC 150/5320-6D (FAA, 1995), considerando-se o tráfego aéreo relativo ao ano de 2013 obtido junto à INFRAERO (2014) e denominado tráfego atual, apresentado na Tabela 2. Ressalta-se que, nesse dimensionamento, foram considerados os pesos das aeronaves apresentados como padrão no banco de dados do programa computacional FAARFIELD v. 1.305. O dimensionamento do novo pavimento asfáltico de acordo com a metodologia da FAA de 1995, denominado novo pavimento 1, foi dividido em três etapas, sendo elas: (i) definição da aeronave de projeto; (ii) obtenção do número de decolagens anuais equivalentes para a aeronave de projeto; e (iii) definição da espessura final do pavimento.

A Tabela 5 apresenta as espessuras totais de pavimento requeridas pelas aeronaves, considerando-se um subleito regularizado com CBR de 12%. Nessa tabela, os valores de espessuras totais de pavimentos foram obtidos por meio de ábacos que constam na AC 150/5320-6D (FAA, 1995). Em relação ao número de decolagens, os ábacos apresentam uma faixa de variação entre 1.200 e 25.000 decolagens. Assim, para movimentações superiores ou inferiores a esta faixa, os valores extremos foram considerados nos dimensionamentos. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados obtidos na planilha de dimensionamento F806FAA.xls da própria FAA, na qual podem ser considerados números maiores de decolagens anuais. Com base nas espessuras resultantes apresentadas na Tabela 5, nota-se que a aeronave A332 foi a que necessitou de maior espessura do pavimento. Dessa forma, ela será considerada a aeronave de projeto para fins de dimensionamento.

Tabela 5: Espessuras do pavimento requeridas pelas aeronaves para um subleito com valor de CBR equivalente a 12%.

Aeronave	Número de decolagens anual médio	Peso máximo de operação (kg)	Espessura do pavimento (cm)	
			AC 150/5320-6D (FAA, 1995)	F806FAA (FAA, 1995)
A332	418	231.107	66,0	74,9
B763	656	187.502	55,9	63,1
B752	685	116.224	44,5	47,0
B722	1.003	84.081	53,1	50,7
A321	1.336	83.475	53,1	51,5
B738	18.485	79.314	61,5	62,3
A320	21.922	73.967	59,7	60,0
B737	8.572	70.370	53,8	54,4
A319	7.784	64.458	50,8	50,8
A318	3.214	56.451	45,2	48,0
E190	4.698	47.790	44,5	43,6
F100	3.608	45.854	41,9	41,6
C295	136	136.200	40,6	54,0
AT72	2.265	21.500	23,9	24,0
E145	965	19.990	23,9	21,3
E135	1.487	19.000	23,9	21,0

Além da limitação na abordagem do número correto de decolagens, houve, também, dificuldade em se considerar o peso das aeronaves do tráfego aéreo atual. Assim, na Tabela 6, têm-se as considerações adotadas para algumas aeronaves, em relação ao peso máximo de operação e ao tipo de trem de pouso. No caso da aeronave C295, por esta apresentar o mesmo tipo de trem de pouso que a aeronave C-130, optou-se por considerar, no dimensionamento, o ábaco específico para esta aeronave, mas utilizando-se o peso máximo apresentado no mesmo.

Após a definição da aeronave de projeto, o tráfego aéreo atualizado foi convertido em função do tipo de trem de pouso desta por meio do fator obtido pela Equação 2, o qual considera o número de rodas no trem de pouso principal da aeronave de projeto (M) e aquele referente a aeronave a ser convertida (N) (FAA, 2006).

$$F = 0,8^{(M-N)} \quad (2)$$

Tabela 6: Considerações realizadas para determinação da espessura total específica por aeronave

Aeronave	Peso máximo de operação (lb)	Tipo do trem de pouso	Ábaco empregado (AC 150/5320-6D)	Limitação	Consideração
A332	509.047	Duplo Tandem	Duplo Tandem	Peso máximo: 400.000 lb	Peso: 400.000 lb
B763	413.000	Duplo Tandem	B-767	Peso máximo: 325.000 lb	Peso: 325.000 lb
B752	256.000	Duplo Tandem	B-757	Peso máximo: 225.000 lb	Peso: 225.000 lb
C295	300.000	2 Rodas simples em Tandem	C – 130	Não há ábaco específico para este tipo de eixo	Considerou-se o ábaco da aeronave C-130 e o peso de 175.000 lb
AT72	47.357	Roda Dupla	Roda Dupla	Peso mínimo: 50.000 lb	Peso: 50.000 lb
E145	44.031	Roda Dupla	Roda Dupla	Peso mínimo: 50.000 lb	Peso: 50.000 lb
E135	41.850	Roda Dupla	Roda Dupla	Peso mínimo: 50.000 lb	Peso: 50.000 lb

A Tabela 7 apresenta os fatores obtidos para este dimensionamento, considerando-se a conversão em função do eixo da aeronave de projeto, isto é, eixo duplo tandem.

Tabela 7: Fator de conversão das decolagens anuais médias em função do trem de pouso da aeronave de projeto

Aeronave considerada	Aeronave de projeto	Multiplicar as decolagens por:
Duplo Tandem		1,0
Roda Dupla	Duplo Tandem	0,6
2 Rodas simples em Tandem		0,6

O número anual de decolagens convertido em função do tipo de trem de pouso da aeronave de projeto foi então convertido para o número equivalente de decolagens da aeronave de projeto, de acordo com a Equação 3 (FAA, 1995).

$$\log R_1 = \log R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \quad (3)$$

em que: R_1 : Equivalente anual de decolagens da aeronave de projeto;

R_2 : Decolagens anuais expressas em termos do trem de pouso da aeronave de projeto;

W_1 : Carga por roda da aeronave de projeto; e

W_2 : Carga por roda da aeronave a ser convertida.

A Tabela 8 apresenta o tráfego aéreo equivalente da aeronave de projeto obtido após as considerações já citadas. Através da Tabela 8, nota-se que, após definida a equivalência do número de decolagens entre o tráfego anual e a aeronave de projeto, houve uma redução de 77.234 para 63.141 movimentações.

Através do uso do mesmo ábaco e considerando-se o CBR da sub-base igual a 40%, obteve-se uma espessura de 30 cm, equivalente à espessura total das camadas de base e revestimento. Adotando-se a espessura mínima de revestimento asfáltico recomendada, de 10 cm, obteve-se a espessura da camada de base de 20 cm. A espessura da camada de sub-base foi então determinada, subtraindo-se o valor encontrado para a espessura das camadas de base e revestimento do valor da espessura total do pavimento. Conseqüentemente, obteve-se como espessura da camada de sub-base o valor de 50 cm. Devido ao fato de se estar trabalhando com um número superior a 25.000 decolagens anuais, as espessuras encontradas foram corrigidas de acordo com os fatores de conversão apresentados na Tabela 9.

Por interpolação linear, considerando-se o total de 63.141 decolagens, obteve-se um acréscimo de 4 cm na espessura total do pavimento, sendo 2,5 cm adicionados na espessura do revestimento asfáltico e o restante adicionado proporcionalmente entre as espessuras da base e sub-base, conforme recomenda-

ção da FAA (1995). Nesse caso, chegou-se à seguinte composição final do pavimento: revestimento asfáltico com 12,5 cm; base com 21 cm; e sub-base com 51 cm.

Tabela 8: Definição do tráfego aéreo equivalente da aeronave de projeto

Aeronave	Peso máximo de operação por roda (lb)	Trem de pouso	Fator de conversão	Decolagem anual média		Decolagens Equivalentes A332
				2013	Duplo Tandem	
A332	35.625	Duplo Tandem	1,0	418	418	418
B763	35.625	Duplo Tandem	1,0	656	656	656
B752	30.373	Duplo Tandem	1,0	685	685	415
B722	43.945	Roda Dupla	0,6	1.003	642	1.313
A321	43.629	Roda Dupla	0,6	1.336	855	1.757
B738	41.454	Roda Dupla	0,6	18.485	11.830	24.752
A320	38.659	Roda Dupla	0,6	21.922	14.030	20.895
B737	36.780	Roda Dupla	0,6	8.572	5.486	6.300
A319	33.689	Roda Dupla	0,6	7.784	4.982	3.940
A318	29.504	Roda Dupla	0,6	3.214	2.057	1.036
E190	25.000	Roda Dupla	0,6	4.698	3.007	820
F100	23.966	Roda Dupla	0,6	3.608	2.309	574
C295	35.625	Duplo Tandem	1,0	136	136	136
AT72	11.247	Roda Dupla	0,6	2.265	1.450	60
E145	10.457	Roda Dupla	0,6	965	618	33
E135	9.939	Roda Dupla	0,6	1.487	952	37
Total				77.234	Total	63.141

Tabela 9: Acréscimo na espessura do pavimento para grandes números de decolagens (FAA, 1995)

Decolagens anuais médias	Correção da espessura do pavimento para decolagens superiores a 25.000
50.000	104
100.000	108
150.000	110
200.000	112

4.3. Dimensionamento do pavimento asfáltico para o tráfego aéreo atual pelo procedimento AC 150/5320-6E (FAA, 2009)

Realizou-se o dimensionamento dos novos pavimentos asfálticos com o emprego do procedimento AC 150/5320-6E (FAA, 2009), considerando-se o tráfego aéreo atual, como apresentado na Tabela 2, e a mesma estrutura de camadas do pavimento conforme apresentado no item 3.1. Posteriormente, realizou-se a análise da influência da variação do período de projeto na estrutura final do pavimento asfáltico, considerando-se os períodos de projeto de 5, 10, 15 e 20 anos. Ressalta-se, também, que foram considerados os pesos das aeronaves apresentados como padrão no banco de dados do programa computacional FAARFIELD v. 1.305.

No dimensionamento do novo pavimento asfáltico, denominado novo pavimento 2, obteve-se uma espessura total de 63 cm, o que resultou em uma estrutura menor do que aquela obtida para o pavimento original e todas as outras já dimensionadas no presente trabalho, como apresentado na Tabela 10.

Por terem sido projetados com o emprego do mesmo método de dimensionamento, segundo a FAA (1995), observa-se que o pavimento original e o novo pavimento 1 têm suas variações de espessuras justificadas pelas diferenças nos tráfegos aéreos considerados. Dessa forma, a diferença de espessuras observadas entre o pavimento original e o novo pavimento 1 justifica-se pelas características de tipo e número de movimentações referentes às aeronaves de grande porte. Vale ressaltar que as aeronaves MD-11 e A332, consideradas de fuselagem larga, foram aquelas de projeto, respectivamente, no caso dos tráfegos aéreos original e atual.

Tabela 10: Comparação entre as espessuras das camadas do pavimento original, pavimento redimensionado e novo pavimento do Aeroporto de Brasília.

Dados	Pavimento original	Pavimento redimensionado	Novo pavimento 1	Novo pavimento 2
Revestimento	14 cm	10 cm	12,5 cm	10 cm
Base	30 cm	20 cm	21 cm	20 cm
Sub-base	38 cm	42 cm	51 cm	33 cm
Espessura Total	82 cm	72 cm	84,5 cm	63 cm
Método da FAA	1995	2009	1995	2009
Tráfego aéreo	De projeto		Atual	

No caso da diferença entre as espessuras do pavimento redimensionado e do novo pavimento 2, por terem sido dimensionados segundo a metodologia da FAA de 2009 e módulos de resiliência iguais, percebe-se a influência do tráfego aéreo na definição da espessura total do pavimento. Apesar de possuir um número maior de movimentações quando comparado ao tráfego aéreo de projeto, o tráfego aéreo atual não exigiu um aumento na espessura total do pavimento de acordo com a metodologia da FAA de 2009. Já em relação à estrutura do pavimento original, a diferença obtida na sua espessura (82 cm) em relação ao novo pavimento 2 (63 cm) evidencia, neste caso, a influência do refinamento da metodologia atual em relação à versão da FAA de 1995. Foi alcançado um valor unitário para o CDF de projeto e a aeronave mais representativa foi a B737-800.

Com vistas a se analisar a influência do período de projeto na estrutura do pavimento, realizaram-se outros três dimensionamentos, para os períodos de projeto de 5, 10 e 15 anos, conforme se apresenta na Tabela 11, já que 20 anos foi o período de projeto adotado nos dimensionamentos realizados.

Tabela 11: Comparação entre a espessura total do novo pavimento 2 quando de 5, 10, 15 e 20 anos

Camada	Vida útil (anos)			
	5	10	15	20
Revestimento (cm)	10	10	10	10
Base (cm)	20	20	20	20
Sub-base (cm)	28	31	32	33
Espessura total (cm)	58	61	62	63

Através da Tabela 11, pode-se notar a redução na espessura total do pavimento ocasionada pela redução na sua vida útil. Obviamente, esperava-se que isso ocorresse, embora tenha causado surpresa a ocorrência de redução de apenas 5 cm na espessura para uma redução de 15 anos no período de projeto. Outra observação é a espessura da camada de base que foi mantida constante pelo programa nos dimensionamentos por considerar esta como espessura mínima de acordo com as aeronaves apresentadas no tráfego aéreo, havendo variação somente na espessura da camada de sub-base.

Todos os processos de dimensionamentos foram concluídos, resultando no mesmo CDF unitário de projeto. Este CDF é obtido para o topo do subleito. Por outro lado, foi possível observar uma diminuição do CDF do revestimento asfáltico, conforme é apresentado na Tabela 12. Os valores obtidos indicam que o revestimento estará em boas condições ao final da vida útil de projeto considerado.

Tabela 12: Variação do CDF do revestimento asfáltico do pavimento do Aeroporto Internacional Pres. Juscelino Kubitschek.

Vida útil (anos)	CDF do revestimento asfáltico
5	0,01
10	0,01
15	0,02
20	0,03

5. CONCLUSÕES

A disponibilidade de dados técnicos de projeto para o Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek possibilitou realizar uma análise das implicações da adoção dos procedimentos de projeto da FAA relatados na AC 150/5320-6D, de 1995 e na AC 150/5320-6E, de 2009. Assim, pode-se notar que o novo método da FAA de 2009, através da substituição dos ábacos de dimensionamento pelo uso do programa computacional FAARFIELD v. 1.305, facilitou o dimensionamento de novas estruturas de pavimentos, uma vez que é possível considerar um número maior de aeronaves sem limitação de pesos e movimentações. Além de permitir uma análise qualitativa, no dimensionamento, das implicações do tráfego aéreo e materiais utilizados nas camadas de pavimento.

A consideração do fator CDF, juntamente com a análise de camadas elásticas, no caso dos pavimentos flexíveis, possibilitou a obtenção de estruturas mais ajustadas às solicitações impostas pelo movimento operacional dos aeroportos. Fato este que poderá contribuir de maneira positiva e direta na gerência de pavimentos aeroportuários melhorando, por exemplo, o planejamento, a programação de investimentos, as obras de manutenção e a adoção de um cronograma mais eficiente de avaliações destes pavimentos.

Em relação às estruturas obtidas, é válido ressaltar que a comparação entre a estrutura do pavimento resultante do uso dos métodos da FAA de 2009 e 1995 deve ser feita com cautela uma vez que houve a necessidade de se converter os valores de CBR em MR para a utilização da metodologia da FAA de 2009 atribuindo incertezas na correlação. Reitera-se que esta conversão é prevista na circular AC 150/5320-6E e foi implementada automaticamente no programa computacional FAARFIELD v. 1.305.

Dessa forma, pode-se redimensionar o pavimento asfáltico original empregando-se a metodologia da FAA de 2009, obtendo-se uma espessura menor do que a adotada para o pavimento no projeto original, assim como dimensionar o novo pavimento 1, segundo a metodologia da FAA de 1995, mas considerando-se o tráfego aéreo atual. O que resulta em uma estrutura de pavimento de espessura maior do que aquela utilizada no pavimento original e no dimensionamento do novo pavimento 2, segundo a metodologia de dimensionamento da FAA de 2009.

Em todos os dimensionamentos realizados, o CDF de projeto foi referente ao topo da camada de subleito e obteve-se valor unitário por ser esta a condição de projeto. Já o CDF do revestimento asfáltico pouco variou quando foi considerada a redução na vida útil do pavimento apresentando valores pequenos quando comparados ao CDF de projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor no decorrer de seu programa de mestrado desenvolvido junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFV.

REFERÊNCIAS

- Araújo, J.L. (2009) *Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimento de Pavimentos Aeroportuários*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- DECEA (2015) Carta de Aeródromo (ADC) – Brasília/Pres. Juscelino Kubitschek, INTL (SBBR). Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa.
- DNIT (2006) *Manual de Pavimentação*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Publicação IPR-719. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ.
- FAA (2016) *Airport Pavement Design and Evaluation* – AC No. 150/5320-6F. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, USA.
- FAA (2012) FAARFIELD 1.3 – Software Overview. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. In: XI ALACPA Seminar on Airport Pavements and IX FAA Workshop. Santiago, Chile.
- FAA (2009) *Airport Pavement Design and Evaluation* – AC No. 150/5320-6E. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, USA.
- FAA (1995) *Airport Pavement Design and Evaluation* – AC No. 150/5320-6D. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, USA.
- FAA (1978) *Airport Pavement Design and Evaluation* – AC No. 150/5320-6C. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, USA.
- FAARFIELD (2010) Version 1.305. Washington, DC, USA: Federal Aviation Administration. Disponível em: <http://www.airporttech.tc.faa.gov/DesktopModules/EasyDNNNews/DocumentDownload.ashx?portalid=0&moduleid=3708&articleid=4&documentid=6>

- GOOGLE Earth (2016) Version 7.1.5.1557. Google. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>
- INFRAERO (2016) Concessão de Aeroportos. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Disponível em <http://www.infraero.gov.br/index.php/transparencia/concessao.html>. Acessado em 2016.
- ICAO (2004) Manual on the Regulation of International Air Transport – Doc. 9626. International Civil Aviation Organization
- INFRAERO (2014) Movimento Operacional do Aeroporto de Brasília 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Planilha EXCEL. Recebida em 2014.
- Taffe Júnior. E. J. (2002) *Uma Alternativa Econômica quanto ao Dimensionamento de Pistas de Aeródromos*. Anais do VII Encontro de Iniciação Científica do Instituto Tecnológico da Aeronáutica, ITA. São José dos Campos, SP.