

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE POUSO E DECOLAGEM PARA AERÓDROMOS E AEROPORTOS PELO MÉTODO FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA) DE 2013

DIMENSIONING OF FLEXIBLE PAVEMENTS OF LANDING AND ROLLING FOR AERODROME AND AIRPORTS THE BY METHOD FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA) OF 2013

YASHMINE CLÁUDIA LANDI

Engenheira Civil e Especialista em Docência do Ensino Superior pela Faculdade Araguaia (Goiânia – GO)
yashminelandi@hotmail.com

Resumo: As condições estruturais das pistas (espessura das camadas do pavimento) de aeródromos, são fatores que influenciam na segurança das operações de decolagem e aterrissagem das aeronaves que utilizarão o aeroporto. Diante disso, há uma necessidade de estudar e entender as normas criadas pelos órgãos de aviação civil nacionais de cada país. O dimensionamento dos pavimentos pelo método Federal Aviation Administration (FAA – órgão norte americano) considera o peso máximo de decolagem (PMD), admitindo dois fundamentos para o cálculo: para pesos brutos maiores que 30.000 libras (13.608 quilogramas), que será o critério abordado neste trabalho; para pesos brutos menores que 30.000 libras. Através dos procedimentos estabelecidos por estas normatizações, foi possível encontrar a espessura adequada do pavimento flexível, que é de 673,10 mm e suas respectivas camadas, além ser possível elencar os parâmetros utilizados nesta determinação.

Palavras-chave: Dimensionamento. Pavimento. FAA. Aeródromos.

Abstract: The structural conditions of runways (pavement layer thickness) of aerodromes are factors that influence the safety of the take-off and landing operations of the aircraft that will use the airport. Given this, there is a need to study and understand the norms created by the national civil aviation organs of each country. The design of the floors by Federal Aviation Administration (FAA) considers the maximum takeoff weight (PMD), allowing two reasons for the calculation: for gross weights greater than 30,000 pounds (13,608 kilograms), which will be the criterion addressed In this job; for gross weights less than 30,000 pounds. Through the procedures established by these standards, it was possible to find the adequate thickness of the flexible pavement, that is 673,10mm and its respective layers, besides being possible to list the parameters used in this determination.

Keywords: Sizing. Floor. FAA. Airfields.

INTRODUÇÃO

Este artigo visa abordar o Método de Dimensionamento de Pavimentos das pistas de pouso e decolagem de aeroportos/aeródromos, através das resoluções da Federal Aviation Administration (FAA), para aeronaves com peso bruto maior que 13.608 kg. Pavimentos projetados de acordo com a circular nº 150/5320-6D de 1995 da FAA podem possuir uma vida útil estrutural de aproximadamente 20 anos, sem a necessidade de grandes manutenções, caso amplas alterações de no tráfego e peso das aeronaves não sejam

aconteçam.

O projeto estrutural do pavimento aeroportuário determina a espessura do pavimento e de cada uma de suas camadas. O peso bruto da aeronave, quantidade de repetição das cargas, características geotécnicas do subleito e a distribuição do tráfego são alguns dos aspectos relevantes a serem considerados no projeto do pavimento do aeródromo.

“O pavimento deve ser de tal qualidade e espessura que possam garantir que ele não falhe sob as cargas impostas e seja resistente o suficiente para suportar a ação abrasiva do tráfego, condições meteorológicas adversas e outras influências” (FAA, 2007).

Este trabalho objetiva então abordar o método FAA de dimensionamento estrutural de pavimentos flexíveis, demonstrar aeronaves cujo perfil influencia diretamente na composição do projeto do pavimento e evidenciar como deve ser dimensionado o pavimento a partir da aeronave escolhida.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O pavimento do aeroporto e as aeronaves que nele operam representam um sistema mútuo essencial para a elaboração do projeto do dimensionamento do pavimento. O controle cuidadoso da construção e a preocupação com a manutenção periódica são itens necessários para executar um pavimento que atinja a vida útil de projeto definida. Materiais de má qualidade e a falta de manutenção preventiva normalmente encurtam a vida útil do pavimento, ainda que sua construção seja bem executada (FAA, 1995).

Segundo Yoder (1975), pavimentos de aeródromos possuem alguns pontos fundamentais que devem ser considerados no seu dimensionamento. Destaca-se entre eles, a magnitude de carga aplicada, pressão e largura de pneus, configuração dos trens de pouso, posicionamento do centro de gravidade da aeronave, seção geométrica e estrutura do pavimento e número de repetições de carga aplicada ao pavimento.

O percentual das cargas por trem de pouso principal é normalmente fornecido pelos fabricantes das aeronaves. Para as aeronaves convencionais com dois trens de pouso na parte central, e as rodas do nariz, uma distribuição típica dos esforços é de 95% das cargas do trem principal e 5% no trem de pouso do nariz (ROHERS, 2002). A Figura 1 representa esquematicamente a distribuição usual das cargas por trem de pouso da aeronave.

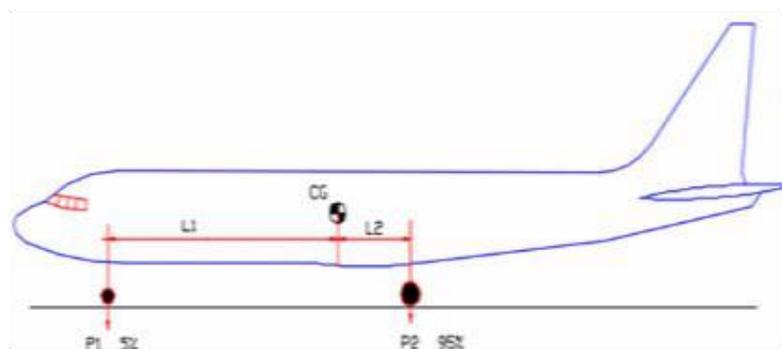


Figura 1 - Distribuição Peso Bruto da aeronave em relação ao pavimento.
Fonte: ROHERS, 2002.

Estudo de Caso

A função dos pavimentos é absorver e transferir as cargas aplicadas na superfície para o subleito, sendo que o pavimento deve possuir qualidade e espessura tal que possa suportar tais cargas garantindo a segurança nas operações de pouso e decolagem das aeronaves.

Tipos de pavimento:

Flexível: É aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (Manual do DNIT, 2006).

Rígido: É aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (Manual do DNIT, 2006).

Camadas do pavimento:

Revestimento (capa): Para o revestimento dos pavimentos é utilizado principalmente o concreto de cimento portland, Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), o Pré- misturado a Quente (PMQ), areia-asfalto e tratamentos superficiais.

Bases Tratadas: São utilizadas camadas de bases estabilizadas com Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), Brita Graduada Simples (BGS), Cimento, Asfalto, Macadame Betuminoso e Macadame Hidráulico.

Sub-bases: Geralmente é utilizado material granular estabilizado

granulometricamente, solo estabilizado, BGS, solo cimento, solo-cal ($CBR \geq 20\%$). Em relação ao CBR (Califórnia Bearing Ratio) ou Índice de Suporte Califórnia (ISC) é o ensaio concebido pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia para avaliar a resitência dos solos.

Subleito: Neste trabalho foi considerado solo com CBR igual a 9%.

Determinação de aeronave de projeto:

Consideramos o CBR do sub-leito 9%, podendo este variar entre 7% e 12% para aeroportos e CBR para a sub-base de 20%. Foram analisadas quatro aeronaves, conforme mostra a Tabela 1:

Coluna 1: Modelo da aeronave a ser analisada;

Coluna 2: Tipo de Trem de Pouso

Coluna 3: Peso bruto da aeronave em libras (RBAC ANAC nº 154);

Coluna 4: Peso bruto da aeronave em quilogramas; lembrando que 1 lb = 0,454 kg;

Coluna 5: Partidas anuais (geralmente previstas pela Administração Aeroportuária);

Coluna 6: Espessura total do pavimento exigida pela aeronave em polegadas;

Coluna 7: Espessura total do pavimento exigida pela aeronave em milímetros; lembrando que 1 = 25,4 milímetros (mm).

Tabela 1 – Determinação da espessura do pavimento, por tipo de aeronave.

| Aeronave | Tipo de Trem de Pouso | Peso Bruto | | Partidas Anuais | Espessura | |
|----------------|-----------------------|------------|-------------|-----------------|-----------|------------|
| | | Libras | Quilogramas | | Polegadas | Milímetros |
| Airbus A319 | Roda Dupla | 166.299,56 | 75.500 | 6.000 | 26,0 | 660,40 |
| C-130 | Roda Dupla | 174.845,81 | 79.380 | 3.000 | 21,0 | 533,40 |
| Boeing 767-100 | Duplo Tandem | 168.848,02 | 76.657 | 3.000 | 16,0 | 406,40 |

Fonte: FAA, 2013.

Para utilização dos ábacos (figuras 2, 3 e 4) referentes às aeronaves da Tabela 1, deve ser seguido o roteiro a seguir:

Entrar com o valor do CBR do subleito. Nesse caso foi estipulado o valor de 9%;

Interceptar a linha do peso bruto da aeronave;

Interceptar a linha de partidas anuais estipuladas pela Administração Aeroportuária;

Interceptar a linha da espessura exigida pela aeronave.

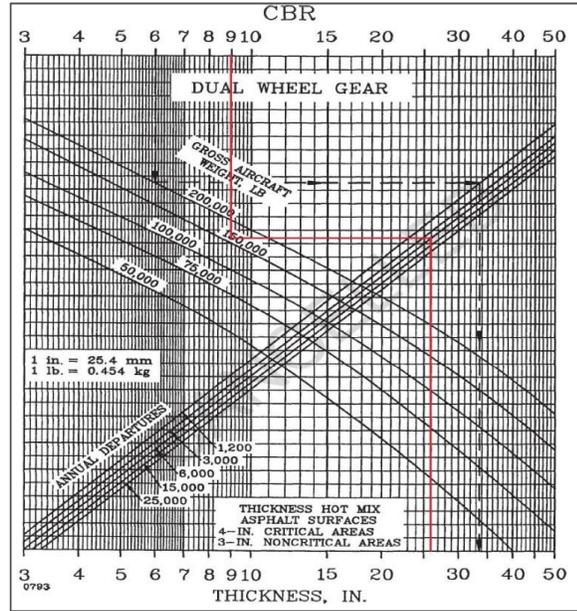


Figura 2 – Espessura Pavimento para Airbus A319 (26 Polegadas). Fonte: FAA/2013

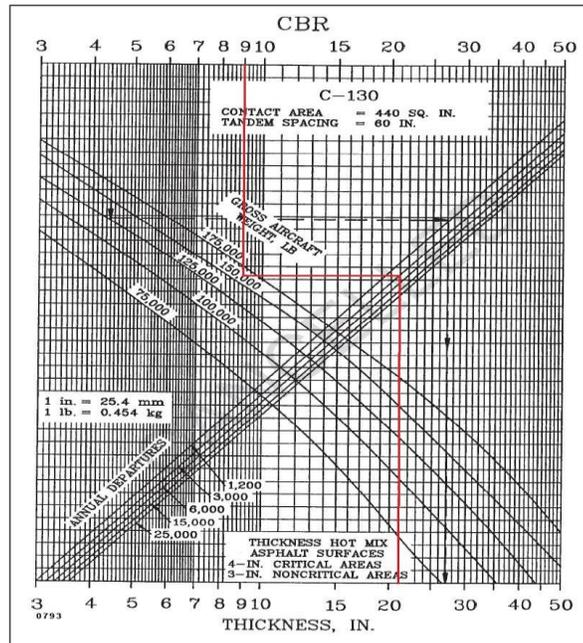


Figura 3 – Espessura Pavimento para C-130 (21 Polegadas). Fonte: FAA/2013

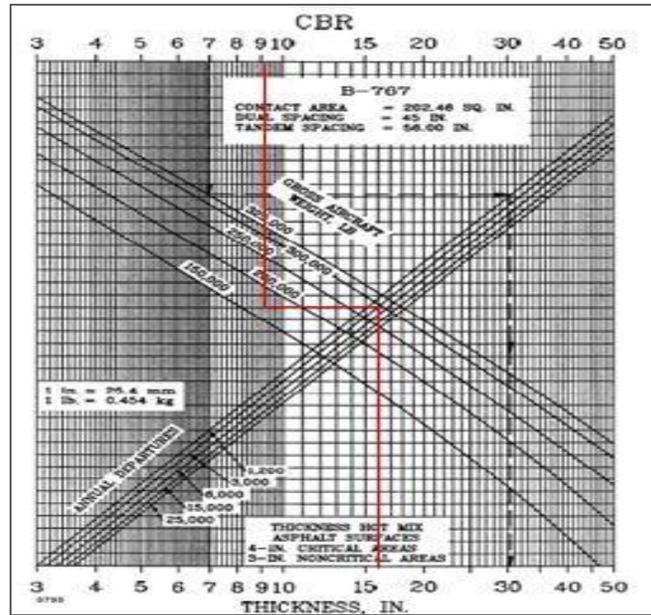


Figura 4 – Espessura Pavimento para B-767 (16 Polegadas). Fonte: FAA/2013

As aeronaves C-130 e Boeing 767-100 exigiram respectivamente, 533,40 mm e 406,40 mm de espessura do pavimento enquanto a aeronave Airbus A319 exigiu 660,40 mm. Considerando esses fatos, teremos que a aeronave de projeto será o Airbus A319, conforme dados da Tabela 1. Observe que a aeronave de projeto não é necessariamente a aeronave mais pesada. Caso haja mais de uma aeronave que exija a maior e mesma espessura do pavimento, será a aeronave de projeto aquela que possuir maior carga de roda no trem de pouso principal, sendo calculada conforme a expressão a seguir. (FAA, 1995) Seja W2 a carga de roda no trem de pouso principal e PMD o Peso Máximo de Decolagem da aeronave, temos:

$$T = \frac{W_2}{PMD} \times 100$$

Posteriormente, deve ser calculado o número de partidas anuais a ser utilizado nos cálculos previstos para a aeronave de projeto, conforme os dados da Tabela 2. Para desenvolvimento dos cálculos da Tabela 2, foi seguido o seguinte roteiro:

Coluna 1: Nome da aeronave fornecido pelo fabricante;

Coluna 2: Peso Máximo de Decolagens em Libras;

Coluna 3: Tipo de Trem de Pouso fornecido pelo fabricante da aeronave;

Coluna 4: Número Médio de Decolagens Anuais (Volume de Tráfego), previsto pela administração aeroportuária;

Coluna 5 (W2): Carga de roda da aeronave em questão ($0,95 \times$ coluna (2) / nº de rodas da aeronave).

Coluna 6: Fator de Conversão.

O Airbus A319 foi adotado como aeronave de projeto, por ser a aeronave que exige maior espessura do pavimento quando comparada às demais, conforme a Tabela 1. A aeronave C-130 possui maior carga de Roda de Aeronave, porém, exige menor espessura do pavimento quando comparada à aeronave Airbus A319, conforme tabela 2.

Primeiramente, todas as aeronaves devem ser convertidas para o mesmo tipo de trem de pouso da aeronave de projeto. Para facilitar os estudos, fatores foram estabelecidos para realizar essa conversão. Esses fatores são constantes e se aplicam a ambos os pavimentos, flexíveis e rígidos e representam uma aproximação dos efeitos da fadiga relativa dos diferentes tipos de trens de pouso (FAA, 1995).

Tabela 2 – Determinação do número de decolagens anuais da aeronave de projeto.

| Aeronave (1) | PMD (LB) (2) | Tipo de Trem de Pouso (3) | Número Decolagens Anuais (4) | Carga de Roda da Aeronave em Questão (5) | Fator de Conversão (6) | Nº de Decolagens de Projeto (R2) (7) | Carga de Roda da Aeronave de Projeto W1 (LB) (8) | Nº de Decolagens Anuais Aeronave de Projeto (R1) (9) |
|---|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------|--|---|--|
| Airbus A319 | 166.299,56 | Roda Dupla | 6.000 | 39.496 | 1 | 6000 | 39.496 | 6.025 |
| C-130 | 174.845,81 | Roda Dupla | 3.000 | 41.526 | 1 | 3000 | 39.496 | 3.631 |
| Boeing 767-100 | 168.848,02 | Duplo Tandem | 3.000 | 35.625 | 1,70 | 5.100 | 39.496 | 3.311 |
| Nº de decolagens para a aeronave de projeto | | | | | | | | 12.967 |

Fonte: FAA, 2013.

Os fatores estabelecidos estão detalhados na Tabela 3.

Coluna 7 (R2): Nº de operações da aeronave em questão (Coluna 4 x Coluna 6);

Coluna 8 (W1): Carga de roda da aeronave de projeto;

Coluna 9 (R1): Número de decolagens anuais da aeronave de projeto. Posteriormente é feito o somatório de toda essa coluna, para efeito do projeto de dimensionamento. R1 é calculado de acordo com a equação a seguir:

$$\log R1 = (\log R2) * (W2/W1)^{0,5} \text{ (Equação 4.1)}$$

Onde:

R1 = número equivalente anual de operações da aeronave de projeto; R2 = número de operações da aeronave em questão;

W1 = carga na roda da aeronave de projeto;

W2 = carga na roda da aeronave em questão.

Tabela 3 – Fatores de conversão

| Trem de Pouso da Aeronave em Questão | Para o trem de pouso da Aeronave de Projeto | Multiplicar o Número de Partidas Anuais Por: |
|--------------------------------------|---|--|
| Roda –Simples | Roda Dupla | 0,8 |
| Roda Simples | Duplo Tandem | 0,5 |
| Roda Dupla | Duplo Tandem | 0,6 |
| Duplo Duplo Tandem | Duplo Tandem | 1,0 |
| Duplo Tandem | Roda Simples | 2,0 |
| Duplo Tandem | Roda Dupla | 1,7 |
| Roda Dupla | Roda Simples | 1,3 |
| Duplo Duplo Tandem | Roda Dupla | 1,7 |

Fonte: FAA, 1995.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Cálculos para dimensionamento do pavimento da pista de pouso e decolagem

A aeronave de projeto obtida foi a Airbus A319;

Número de partidas anuais obtido:

Jogar os dados acima obtidos no ábaco da aeronave de projeto Airbus A319, com o CBR estipulado para o subleito de 9%.

Fazer a intersecção da linha do CBR com a linha do peso bruto da aeronave de projeto;

Interceptar a linha do PMD com a linha do número de decolagens anuais;

Determinar a espessura total do pavimento, projetando a linha citada no item

anterior no eixo das abcissas ou eixo horizontal conforme o ábaco (figura 5).

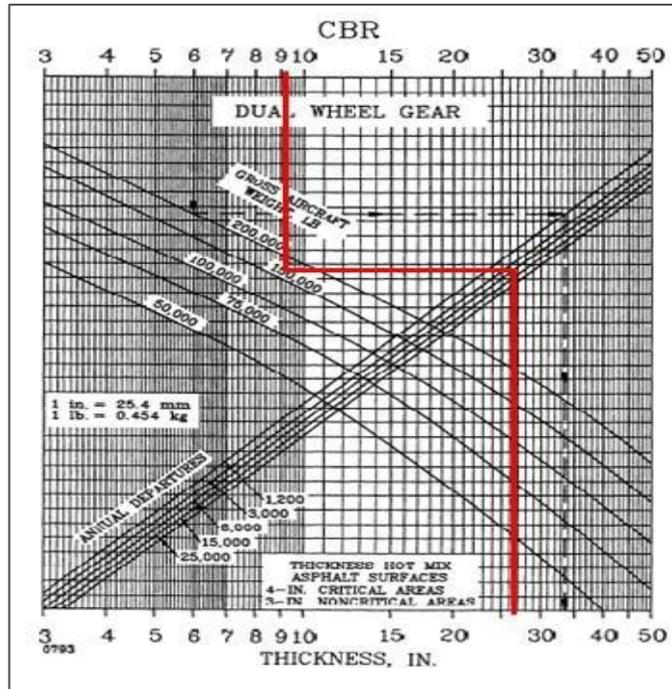


Figura 5 – Espessura Total Pavimento. Fonte: FAA/2013

Entrar no ábaco com o CBR de 20% para o subleito, utilizar novamente o PMD e o número de decolagens anuais da aeronave de projeto, determinando a espessura da base + revestimento (figura 6).

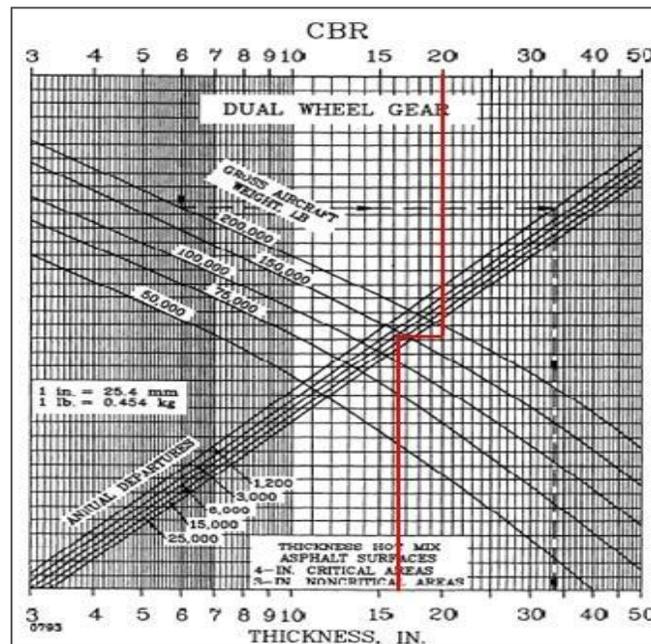


Figura 6 – Espessura da Base + Revestimento. Fonte: FAA/2013

A espessura do revestimento é determinada de acordo com o retângulo localizado na parte inferior do ábaco da aeronave de projeto.

Na Figura 7, seguem os cálculos finais e o desenho esquemático do pavimento encontrado de acordo com as aeronaves escolhidas para operarem neste aeródromo.

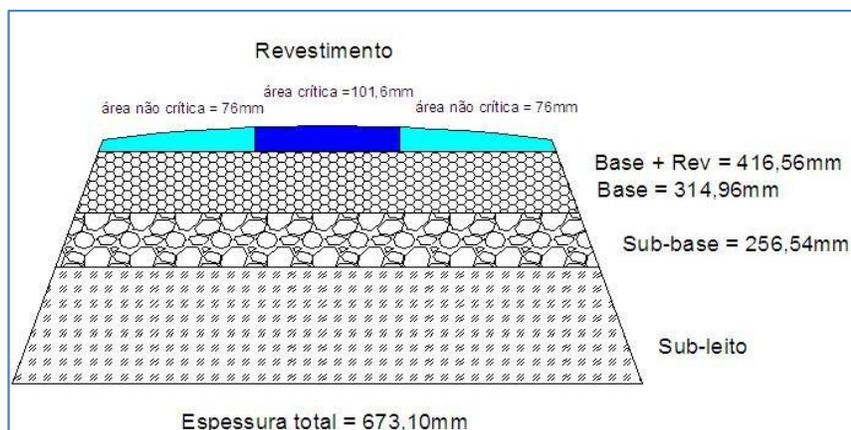


Figura 7 – Espessura Total do Pavimento dimensionado. Fonte: FAA/2013

Espessura total do pavimento: 26,50pol, sendo então 673,10 mm;

Espessura final da base + revestimento: 16,4 pol, sendo então 416,56 mm; Segundo a Tabela 4 - Espessura mínima da Camada de Base, da norma FAA de 1995, temos que, para aeronave de projeto de roda dupla entre 45.000 e 90.700 kg de PMD, a espessura mínima da base deve ser de 8pol ou 200 mm, portanto, os cálculos desenvolvidos atendem à norma.

Tabela 4 – Espssura mínima da Camada de Base

| Espessura Mínima da Camada de Base | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|
| Aeronave de Projeto | PMD (Peso Máximo de Decolagem) | | Espessura Mínima da Base | |
| | lbs (libras) | Kg (quilogramas) | Ln. (polegadas) | mm (milímetros) |
| Roda Simples | 30.000 – 50.000 | 13.600 – 22.700 | 4 | 100 |
| | 50.000 – 75.000 | 22.700 – 34.000 | 6 | 150 |
| Roda Dupla | 50.000 – 100.000 | 22.700 – 45.000 | 6 | 150 |
| | 100.000 – 200.000 | 45.000 – 90.000 | 8 | 200 |
| Duplo Tandem | 100.000 – 250.000 | 45.000 – 113.400 | 6 | 150 |
| | 250.000 – 400.000 | 113.400 – 181.000 | 8 | 200 |
| 757/767 | 200.000 – 400.000 | 90.700 – 181.000 | 6 | 150 |
| DC-10/L-1011 | 400.000 – 600.000 | 181.000 – 272.000 | 8 | 200 |
| B-747 | 400.000 – 60.000 | 181.000 – 272.000 | 6 | 150 |
| | 600.000 – 850.000 | 272.000 – 385.000 | 8 | 200 |
| C-130 | 75.000 – 125.000 | 34.000 – 56.700 | 4 | 100 |
| | 125.000 – 175.000 | 56.700 – 79.400 | 6 | 150 |

Fonte: FAA, 1995.

Áreas críticas (faixa de pavimento onde a aeronave tende a passar com maior frequência, geralmente é a faixa central do pavimento.): 4 pol: 101,60 mm. (representada na Figura 5);

Área não crítica (faixa de pavimento onde a aeronave tende a passar com menor frequência, geralmente são as faixas laterais do pavimento.): 3 pol, 76,0 mm (representada na Figura 5).

A espessura da sub - base será a diferença entre a espessura total do pavimento e da base + revestimento, sendo então: $SB = 673,10 - 416,56 = 256,54$ mm.

CONCLUSÕES

Para o dimensionamento da pista do aeródromo calculada neste trabalho, foram utilizadas três aeronaves, e através de análise dos respectivos ábacos e cálculos, obteve-se a aeronave Airbus A319 como aeronave de projeto.

A espessura total do pavimento calculada, foi de 673,10 mm e atende a todas as aeronaves selecionadas para operar nesse aeródromo.

Apesar de ser uma metodologia internacional, o Método FAA de Dimensionamento de Pavimentos de Aeródromos é atualmente utilizado no Brasil, pois ainda não foram desenvolvidas metodologias próprias para projetar a espessura desse tipo de pavimento no Brasil.

Deixamos como sugestão para trabalhos futuros a utilização do software FAARFIELD que foi desenvolvido pela FAA para dimensionar estruturalmente as camadas da pista de pouso e decolagem e que está em processo de adaptação para ser utilizado no Brasil.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. **Flexibility and comfort**. Disponível em: <<http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/a319/>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

BOEING. **767 family**. Disponível em: <<http://www.boeing.com/boeing/commercial/767family/>>. Acesso em 01 dez. 2013.

BRASIL. Agência Nacional da Aviação Civil - ANAC. **RBAC 154** - regulamentos

brasileiros da aviação civil. Disponível em:
<<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC154EMD01.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

FAA. Federal Aviation Administration. **Airport pavement design and evaluation - advisory circular nº 150/5320-6D**. 1995. Disponível em:
<http://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22105>. Acesso em: 01 mar. 2013.

LOCKHEED MARTIN. **C-130J super hércules**. Disponível em:
<<http://www.lockheedmartin.com/us/products/c130.html>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

YODER, E. J., WITCZAK, M. W. **Principles of pavement design**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1975.