

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO DE
JOÃO PESSOA**

por _____

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

Campina Grande – Paraíba

Maio de 2004

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. Doutor. John Kennedy Guedes Rodrigues

Orientador

Campina Grande, maio de 2004



J 82a Jordão, Luciana Pimentel
2004 Avaliação Estrutural das pistas de Pouso e Decolagem, Pátios e Acessos do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa / Luciana Pimentel Jordão. – Campina Grande: UFCEG, 2004.
114p. : il.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFCEG/CCT/DEC
Inclui bibliografia.
1. Aeroportos 2. Avaliação 3. Pavimentos I.Título

CDU: 625.717: 624.13

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Manassés e Soraya, pelo apoio, incentivo e compreensão sempre presentes, expressão do amor que por eles me foi legado durante toda a minha formação.

Aos meus e meus irmãos, Heitor Hugo e Guilherme pelo apoio e estímulo em todas as horas.

Ao meu noivo Fábio, pela força constante, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo.

Ao Professor John Kennedy Guedes Rodrigues, pela orientação, compreensão, dedicação e paciência, pessoa fundamental para realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG pela base científica necessária para realização deste trabalho.

Aos Professores Edmar Brasileiro e Raimundo Leidimar Bezerra, pelo incentivo.

A ATECEL[®] – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior.

A INFRAERO - Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária.

Aos funcionários da área de geotecnia, em especial a Josenira, pela dedicação.

Aos meus avós, Mário, Lucrécia e Liquinha, pela fé em mim depositada.

Aos meus tios e primos, em especial a Marinho, Tânia e Raquel, pelo apoio constante.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação, em especial a Albanise, Adriano Lucena, Giselle e Simone, com os quais dividi momentos inesquecíveis.

Aos amigos, Rose, Sidicley, Adriana, Alessandro, Maristela, e Ricardo, pela afetuosa amizade e estímulo dado.

Agradeço também aos colegas e amigos, Ádney, Arnaldo, Edson, Gladstone e Pedro que me ajudaram na fase de impressão deste trabalho.

Finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO
DE JOÃO PESSOA**


Luciana Pimentel Jordão

Dissertação Defendida e Aprovada em: 27 / 05 / 2004

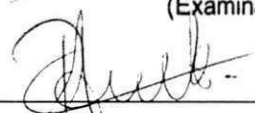
BANCA EXAMINADORA:



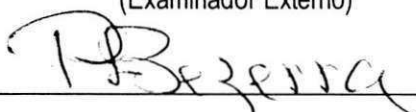
John Kennedy Guedes Rodrigues, D.Sc. - UFCG
(Orientador)



Sergio Henrique Demarchi, D.Sc. - UEM
(Examinador Externo)



Ricardo Almeida de Melo, D.Sc. - UFPB
(Examinador Externo)



Raimundo Leidimar Bezerra, D.Sc. - ATECEL
(Examinador Externo)

Campina Grande - Paraíba

ÍNDICE

ÍNDICE	i
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Objetivo	3
1.3 - Organização do Trabalho	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 - Pavimento	5
2.1.1 - Constituintes de um pavimento	5
2.1.2 - Classificação dos pavimentos	5
2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos	6
2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos	7
2.1.4.1 - Método do CBR	7
2.1.4.2 - Método do DNER	7
2.1.4.3 - Método da AASHTO	7
2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos	9
2.1.5.1 - Método das Espessuras Equivalentes	19
2.1.5.2 - Método dos Elementos Finitos	19
2.1.5.3 - Métodos das Diferenças Finitas	20
2.1.5.4 - Método dos Elementos Distintos	21
2.2 - Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos	22
2.2.1 - Generalidades	22
2.2.2 - Aeronaves	26
2.2.3 - Trem de pouso	27
2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos	29

2.2.4.1 - Estudo dos solos.....	29
2.2.4.2 - Estudo do subleito.....	30
2.2.4.3 - Previsão do tráfego.....	30
2.2.4.4 - Condições climáticas.....	30
2.2.4.5 - Drenagem.....	30
2.3 - Métodos de Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos.....	30
2.3.1 - Método da FAA.....	30
2.3.1.1 - Investigação do solo.....	30
2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves.....	31
2.3.1.3 - Aeronave de projeto.....	32
2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto.....	32
2.3.1.5 - Seções típicas.....	32
2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves.....	33
2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito.....	33
2.3.1.8 - Aeronaves pesadas.....	33
2.3.1.9 - Aeronaves leves.....	42
2.3.2 - Método do Asphalt Institute.....	45
2.3.2.1 - Base teórica.....	45
2.3.2.2 - Condições ambientais.....	46
2.3.2.3 - Análise dos materiais.....	47
2.3.2.4 - Localização do projeto.....	49
2.3.2.5 - Análise do tráfego.....	49
2.3.2.6 - Análise entre tensão e deformação em um sistema de multicamadas.....	49
2.3.2.7 - Processo de dimensionamento.....	50
2.4 - Avaliação de Pavimentos.....	57
2.5 - Reabilitação de Pavimentos.....	58
2.5.1 - Método de Recapeamento da FAA.....	58
2.5.1.1 - Recapeamento Flexível sobre Flexível.....	59
2.5.1.2 - Recapeamento Flexível sobre Rígido.....	59
2.5.1.3 - Recapeamento Rígido sobre Rígido.....	61
2.5.1.4 - Recapeamento Rígido sobre Flexível.....	61
2.5.1.5 - Recapeamento Rígido sobre Rígido com camada de nivelamento.....	62
2.5.2 - Método de recapeamento do Asphalt Institute.....	62
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO.....	64
3.1 - Generalidades.....	64
3.1.1 - Localização do Aeroporto.....	64
3.1.2 - Caracterização.....	65

3.2 - Pavimentos existentes, Projeto de Reforço e ampliação	65
3.2.1 - Pavimentos existentes.....	65
3.2.1.1 - Pista de Pouso e Decolagem	66
3.2.1.2 - Pistas de Táxi	66
3.2.1.3 - Pátios e Estacionamentos	66
3.2.2 - Projeto de Reforço e Ampliação	67
3.2.2.1 - Estudos operacionais.....	67
3.2.2.2 - Aeronave tipo	67
3.2.2.3 - Estudos topográficos.....	67
3.2.2.4 - Estudos geotécnicos	68
3.2.2.5 - Projeto de reforço e ampliação	68
3.2.3 - Dimensionamento	69
3.2.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	69
3.2.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (ampliação)	70
3.2.3.3 - Área III - Pista de Táxi (ampliação).....	70
3.2.3.4 - Área IV - Pátios 1 e Pátio 2	71
3.3 - Levantamentos Topográficos, Avaliação das Condições de Desempenho, Registros e Estudos Geotécnicos.	72
3.3.1 - Levantamentos Topográficos.....	72
3.3.2 - Avaliação das Condições de Superfície dos Pavimentos	72
3.3.2.1 - Registros.....	76
3.3.2.2 - Estudos geotécnicos.....	76
3.4 - Metodologia	78
3.4.1 - Divisão das Áreas	78
3.4.2 - Hipóteses de Trabalho	78
3.5 - Apresentação e Análise dos Resultados.....	79
3.5.1 - Sobre a Revisão da Literatura	79
3.5.2 - Dimensionamento a partir do Método da FAA.....	81
3.5.2.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	81
3.5.2.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	82
3.5.2.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	83
3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação).....	84
3.5.3 - Dimensionamento a partir do Método do Asphalt Institute	85
3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	85
3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	86
3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	87

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	89
4.1 - Conclusões.....	89
4.2 - Sugestões.....	90
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....	91
ANEXOS.....	95
ANEXO A.....	96
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Componentes de pavimento flexível	1
Figura 1.2 - Área de distribuição de pressões por pneus.....	2
Figura 1.3 - Deslocamentos em pavimentos flexíveis , quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).....	2
Figura 2.4 - Seção transversal de pavimento flexível.	6
Figura 2.5 - Seção transversal de pavimento rígido.....	6
Figura 2.6 - Forças e tensões internas aos sólidos.....	10
Figura 2.7 - Elemento de sólido e eixos principais	11
Figura 2.8 - Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido	12
Figura 2.9 - Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas	12
Figura 2.10 - Rotação de elemento retangular de sólido	13
Figura 2.11 - Elemento de volume sob a ação de tensões.....	13
Figura 2.12 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)	14
Figura 2.13 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).	17
Figura 2.14 - Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).	18
Figura 2.15 - Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999) .	19
Figura 2.16 - Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)	20
Figura 2.17- Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	22
Figura 2.18- Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	24
Figura 2.19 - Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	25
Figura 2.20 - Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	25
Figura 2.21- Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	26
Figura 2.22 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	28
Figura 2.23 - Trens de pouso típicos	28
Figura 2.24 - Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	29
Figura 2.25 - Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).....	33

Figura 2.26 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).	34
Figura 2.27 - Chave do nomograma para o dimensionamento da placa	35
Figura 2.28 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)	36
Figura 2.29 - Curvas para o dimensionamento da estrutura do pavimento flexível (FAA, 1995).....	39
Figura 2.30 - Chave para o nomograma de dimensionamento da estrutura do pavimento flexível(FAA,1995).....	39
Figura 2.31 - Chave para o Nomograma de dimensionamento do pavimento flexível	43
Figura 2.32 - Seqüência lógica para o dimensionamento de pavimentos pelo método da FAA	44
Figura 2.33 - Localização e direção das deformações de tração e de compressão num pavimento "Full-Depth Asphalt" (Asphalt Institute, 1987).....	45
Figura 2.34 - Espessuras do concreto asfáltico em função do módulo de resiliência e tráfego para o critério de deformação E_c (Asphalt Institute, 1987).....	46
Figura 2.35 - Relação aproximada entre o valor da prova de carga em placas e o módulo de resiliência (M_r) (Asphalt Institute, 1987).	47
Figura 2.36 - Curvas do N_a (tráfego admissível), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).....	50
Figura 2.37- Roteiro para o uso dos diagramas de tráfego equivalentes versus deformações (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.38 - Curvas do N_a (tráfego previsto), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.39 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A (Asphalt Institute, 1987).....	53
Figura 2.40 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_c	54
Figura 2.41 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_t	55
Figura 2.42 - Dimensionamento de um pavimento pelo método do Asphalt Institute.	56
Figura 2.43 - Estrutura de recapeamento de pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).	59
Figura 2.44 - Fator F versus módulo de reação do subleito (K) para diferentes níveis de tráfego (FAA, 1995).....	60
Figura 2.45 - Valor de K para revestimentos existente de pavimentos flexíveis em CBUQ (FAA, 1995).....	62
Figura 2.46 - Quadro para seleção da espessura de recape em CBUQ sobre pavimentos rígidos (Asphalt Institute, 1987).....	63
Figura 3.1 - Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto (INFRAERO, 2004).....	64
Figura 3.2 - Pavimento existente e pavimento ampliado -Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto -	66
Figura 3.3 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho recapeado.....	69
Figura 3.4 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado	70
Figura 3.5 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado da pista de táxi.....	71
Figura 3.6 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado do Pátio 1	71
Figura 3.7 - Cadastro da Cabeceira 34 do Aeroporto Castro Pinto (ATECEL/INFRAERO, 2002).....	72
Figura 3.8 - Superfície avaliada – Pavimento flexível – Cabeceira 16 – Pista de Pouso e Decolagem	73
Figura 3.9 - Superfície avaliada – Pavimento rígido - Pátio 1.....	74
Figura 3.10 - Registro fotográfico digital de uma seção do pavimento para a avaliação das condições de superfície - Pátio.....	76

Figura 3.11 - Extração de corpo de prova do revestimento asfáltico com extratora rotativa diamantada – Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.12 - Extração de material a trado - Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.13 - Verificação de espessuras de placas e realização de ensaios de densidade "in situ".	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).....	23
Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600 (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	27
Tabela 2.3 - Espessura mínima da camada de base (FAA, 1995).....	40
Tabela 2.4 - Dimensões máximas de agregados (Asphalt Institute, 1987).....	48
Tabela 2.5 - Critérios mecânicos e físicos sugeridos pelo AI para escolha de misturas asfálticas de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	48
Tabela 2.6 - Critérios sugeridos pelo AI para a escolha dos materiais de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	49
Tabela 2.7 - Tipos de aeronaves e valores de tráfego acumulado	51
Tabela 2.8 - Tráfego de aeronaves e espessuras equivalentes.....	51
Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa.....	88
Tabela 4.1 - Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Seções avaliadas – Pista de Pouso e Decolagem - Valor de Serventia Atual, Índice de Gravidade Global e Present Condition Index	75
Quadro 3.2 - Seções avaliadas Pátios 1 e 2 - Serventia Atual	75

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

γ	Ângulo de torção
ν	Coefficiente de Poisson
ε	Deformação
$\varepsilon_{01}, \varepsilon_{02}$	Deformações parciais
p	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5
β	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W)
σ	Tensão normal
τ	Tensão de cisalhamento
ΔPSI	Perda de serventia de dimensionamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Asphalt Institute
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	American Association of State Highway Officials
ATECEL®	Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
BALL	Programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark
C_r, C_b	Fator de condição do pavimento existente
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	Concreto betuminoso usinado à quente
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
[D]	Matriz que contém as características do material
D	Estimativa da deterioração
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DTN	Design Traffic Number

E	Rigidez do material
E	Módulo de elasticidade
E_t	Deformação de tração horizontal na base da camada de concreto asfáltico
E_c	Deformação de compressão vertical no topo do subleito
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
ESAL's	Equivalent Single Axle Loads
F_R	Fator de confiabilidade
F	Fator que controla o grau das fendas na base do pavimento rígido
{F}	Vetor tensão
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
G	Módulo de elasticidade transversal do sólido
GC	Grau de compactação
h_d	Espessura do pavimento rígido novo requerido pelas condições de projeto
h_e	Espessura do pavimento rígido existente
h_c	Espessura requerida do recapeamento de concreto
h_e	Espessura do pavimento existente
h	Espessura requerida para placa de concreto simples determinada pelas curvas
HMA	Hot Mix Asphalt
ISA	International Standard Atmosphere
IG	Índice de Grupo
IGG	Índice de Gravidade Global
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
K	Coefficiente de recalque
[K^e]	Matriz de rigidez de cada elemento
[K]	Matriz de rigidez global da estrutura
MEF	Método dos elementos finitos
M_r	Módulo de resiliência
N	Tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda
N_a	Tráfego admissível
N_p	Tráfego previsto
N_f	A Vida útil prevista do pavimento
PCI	Pavement Condition Index
PMD	Peso máximo de decolagem
PI	Poço de Inspeção
PMQ	Pré Misturado à Quente
PSI	Present Serviceability Index

R	Stabilometer value, Hveem
R₁	Número equivalente anual de operações da aeronave de projeto
R₂	Número de operações da aeronave em questão
RCA	Rotativa em Asfalto
RCP	Rotativa em Pavimento Rígido
S₀	Desvio padrão total
SN	Número estrutural
T	Espessura do pavimento encontrada nas curvas de dimensionamento
t	Espessura do recapeamento betuminoso
TR	Sondagem à Trado
VSA	Valor de Serventia Atual
W₁₈	Estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80 KN
Z_R	Desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido

RESUMO

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves. Devem assim apresentar um bom desempenho e ser estáveis e resistentes às intempéries. Estudos sobre os materiais constituintes do pavimento e o conhecimento das características das aeronaves, como seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, entre outros, são de grande importância para o dimensionamento, avaliação, manutenção e restauração dos pavimentos aeroportuários.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo sobre a avaliação de projetos de ampliação e de recape, das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Foram utilizadas informações contidas no relatório da INFRAERO de 1980, dados coletados pela ATECEL[®] em 2002, e analisados, de forma comparativa, resultados estimados através dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

A avaliação das condições de superfície dos pavimentos da pista de pouso e decolagem, pátios e acessos do Aeroporto Castro Pinto, indica que a sua estrutura não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é corroborada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos, através de sondagens com rotativas, com trados, com aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas, a partir dos Métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Palavras-chave: aeroportos, avaliação, pavimentos.

ABSTRACT

Highway airfields are built to support loads which are imposed by aircrafts. So, they must present a good performance, and be stable and resistant to varying climate conditions. Knowledge of aircraft characteristics such as landing gear type, maximum takeoff weight, tire pressures, research of pavement materials, among others, is very important to design, evaluation, maintenance and rehabilitation of the pavement.

The aim of the present work was the evaluation study of enlargement and overlay designs of landing runways, takeoff runways, taxiways and aprons of President Castro Pinto Airfield in João Pessoa, state of Paraíba, based on the methods of FAA and those of the Asphalt Institute.

Data contained in the report of INFRAERO and those collected by ATECEL were used. The estimated results were analyzed in a comparative way through the approaches of FAA and those of the Asphalt Institute.

The surface condition of landing runways, takeoff runways, aprons and taxiways of Castro Pinto Airfield indicates that its structure has suffered neither any premature collapse nor any accentuated distress after 23 years of service. This evidence is confirmed by data obtained in semi-destructive evaluation of pavements, carried out by means of sounding, sampling, survey and through estimated thicknesses, employing methods of FAA, and the of Asphalt Institute.

Key words: airports, evaluation, pavements

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - INTRODUÇÃO

O pavimento é quem fornece a superfície para o tráfego. Dentre suas funções destacam-se suportar e transmitir entre componentes de pavimento esforços estáticos e dinâmicos provocados por cargas solicitantes provenientes dos veículos. O pavimento flexível é uma classe específica de pavimento composto de camadas relativamente esbeltas construídas a partir do subleito compactado da via, materiais granulares e ligantes. Dentre os ligantes destacam-se os asfaltos derivados do petróleo. A Figura 1.1 é uma ilustração de componentes dos pavimentos.

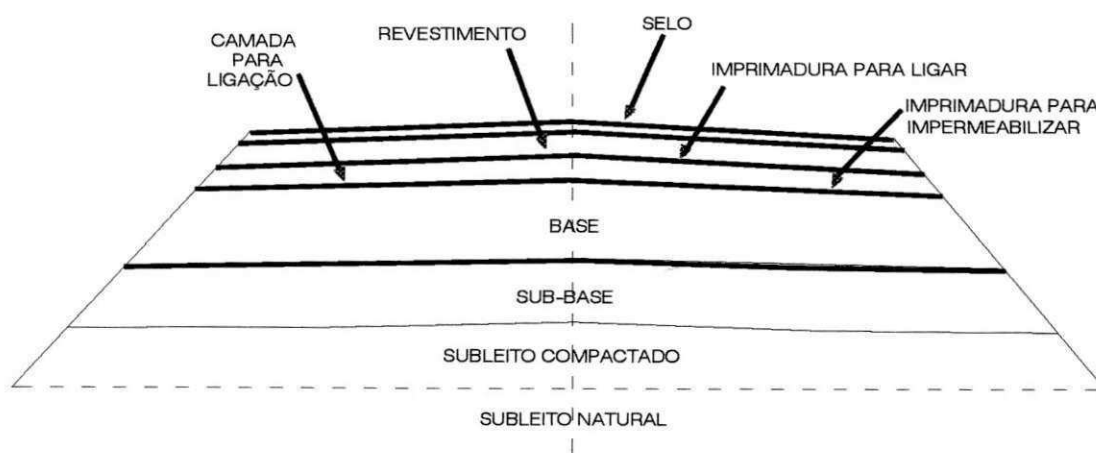


Figura 1.1– Componentes de pavimento flexível.

As cargas são aplicadas no pavimento pelos pneus dos veículos. A pressão de pneus define, para cada veículo a superfície de contato entre os pneus e o pavimento. YODER & WITCZAK (1975) comentam que a maior parte das questões sobre a distribuição de esforços em pavimentos podem ser respondidas assumindo a hipótese de que a pressão aplicada ao pavimento é resultado da distribuição uniforme da carga por uma área constituída por círculos e retângulos. A Figura 1.2 ilustra o exposto.

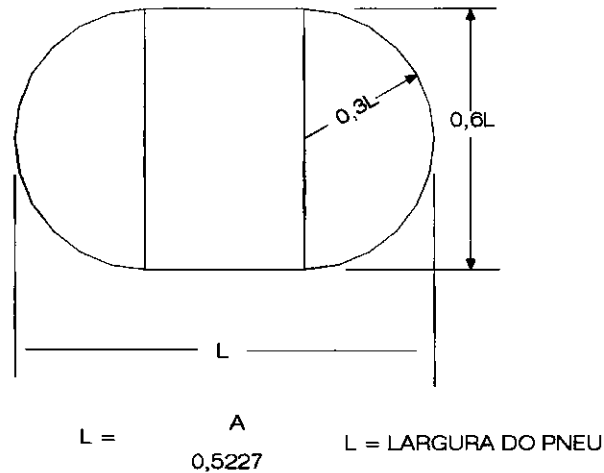


Figura 1.2 – Área de distribuição de pressões por pneus.

Chama-se *ruptura estrutural de pavimento* à perda de capacidade de suportar esforços ou à quebra de uma ou mais de suas camadas, cuja magnitude torne o pavimento incapaz de suportar as cargas aplicadas na sua superfície. Os pavimentos são caracterizados por diferenças mecânicas na dissipação de tensões em sua estrutura. A Figura 1.3 constitui um exemplo de esboço sobre deslocamentos em estruturas típicas, com rupturas, de pavimentos flexíveis quando submetidos às tensões causadas pelos veículos.

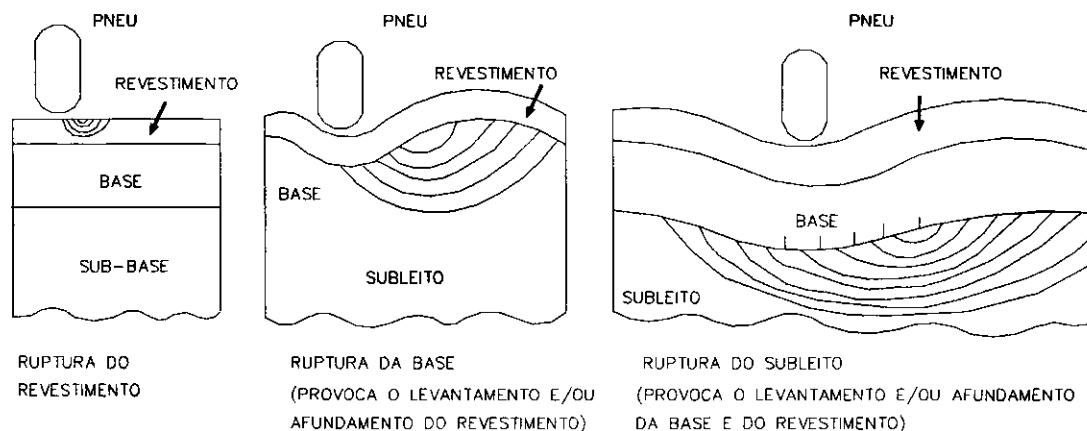


Figura 1.3 – Deslocamentos em pavimentos flexíveis, quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).

Durante a avaliação do comportamento de pavimentos flexíveis podem ser usadas técnicas empíricas para levantamento de dados e estimativa de valores para variáveis relacionadas com a resistência e rigidez de materiais utilizados na construção de suas camadas. Há também métodos racionais, que usam dados fundamentais ao conhecimento de tensões e deformações em solos e agregados dos pavimentos.

O estudo da relação entre as tensões e deformações a partir de valores de variáveis estimados através de modelos teóricos, ou dados obtidos em testes realizados em campo ou em laboratório, é essencial para

diagnósticos sobre condições estruturais de pavimentos, por consequência de condições oferecidas ao tráfego, conforto e segurança, no presente, e, para subsidiar a análise do desempenho futuro.

Ensaio como o triaxial com repetição de aplicação de cargas, utilizados para estimativa de módulos de elasticidade ou de resiliência podem ser usados para melhor caracterizar materiais da estrutura de pavimentos e estudos sobre tensões e deformações de solos. Usando esse tipo de teste pode-se simular em laboratório condições de aplicação de cargas em campo e história de tensões de materiais.

Também, pode-se estimar valores de variáveis características de tensões, deformações ou deslocamentos de materiais que constituem as camadas do pavimento e sua fundação, a partir de equipamentos com resultados obtidos "in situ" - ensaios com placas, viga Benkelman, Falling Weight Deflectometer – que podem subsidiar com dados as análises sobre estruturas de pavimentos.

Os pavimentos aeroportuários apresentam similaridade com os pavimentos rodoviários em termos de materiais e serviços, diferindo consideravelmente na magnitude da carga aplicada, pressão dos pneus, a seção geométrica do pavimento e o número de repetições de carga durante sua vida útil.

Com relação ao dimensionamento do pavimento de aeroporto, são considerados alguns fatores importantes como: o tipo de aeronave que o pavimento irá receber, o tráfego solicitado, o tipo de solo onde ele será construído e o método que será utilizado no dimensionamento.

No Brasil não existe um método específico para o dimensionamento de pavimento de aeroportos, os engenheiros se baseiam em métodos já existentes em outros países, como é o caso da FAA (Federal Aviation Administration) e do AI (Asphalt Institute), os quais se encarregam de normalizar o dimensionamento de pavimentos novos, a avaliação de pavimentos existentes, o recapeamento e reconstrução de pavimentos se necessário.

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do gelo e do degelo das camadas e das cargas, tendo em vista o comportamento real de pavimentos de aeroportos em serviço e baseia-se em uma classificação de solos especialmente estabelecida. O método se aplica ao dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos.

O método de dimensionamento de pavimentos do Instituto do Asfalto é baseado na teoria de que a "full depth asphalt pavement" é um sistema elástico de multicamadas e a aplicação de carga ao pavimento produz dois tipos de deformações; sendo estas deformações a horizontal na base da camada de concreto asfáltico "Et" e a compressão vertical no topo da camada do subleito "Ec".

1.2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo sobre a avaliação, projetos de ampliação, e recapeamento das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 5 Capítulos:

No Capítulo 1, Introdução e objetivos, são descritos os objetivos principais do trabalho, com um breve resumo do assunto objeto da pesquisa.

No Capítulo 2, Revisão da Literatura, são definidos os conceitos fundamentais sobre pavimento de uma forma geral, sua estrutura, classificação e abordados alguns métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos. É dada ênfase ao pavimento de aeroporto, detalhando-se dois métodos de dimensionamento: o método da FAA – Federal Aviation Administration e do AI – Asphalt Institute.

No Capítulo 3, Estudo de caso, estão inseridas informações sobre o aeroporto em estudo, dados sobre clima, topografia, geologia, geometria e estrutura dos pavimentos, dimensionamento de recapes executados, ampliações das pistas de pouso e decolagem e de pátios de acesso e de estacionamentos. Sobre os resultados é feita uma análise comparativa e são realizadas inferências sobre os resultados obtidos pelos dois métodos.

No Capítulo 4, Conclusão, encontra-se as conclusões e sugestões.

No Capítulo 5, Referências, estão inseridas as referências bibliográficas do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - PAVIMENTO

Segundo SENÇO (1997), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada técnica e economicamente a:

- resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície do pavimento.

2.1.1 - Constituintes de um pavimento

O pavimento é constituído de camadas de espessuras finitas assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, ou seja, a infra-estrutura ou terreno de fundação (subleito). Em síntese pode-se descrever as estruturas de um pavimento como:

Regularização do subleito - é a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente, com o projeto;

Reforço do subleito - é a camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base;

Sub-base - é a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito;

Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e é destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade da estrutura.

2.1.2 - Classificação dos pavimentos

Os pavimentos podem ser classificados de uma forma geral, segundo Senço (1997), em:

Pavimentos rígidos - são pavimentos pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento.

Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações (Figura 2.1).

Pavimentos flexíveis - são pavimentos em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento.

São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (Figura 2.2).

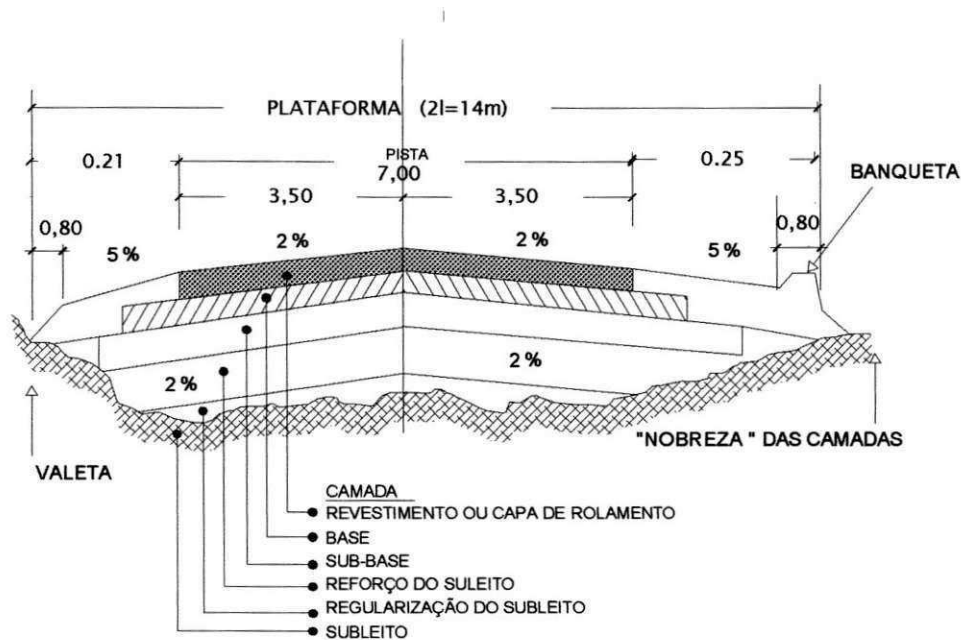


Figura 2.1 - Seção transversal de pavimento flexível.

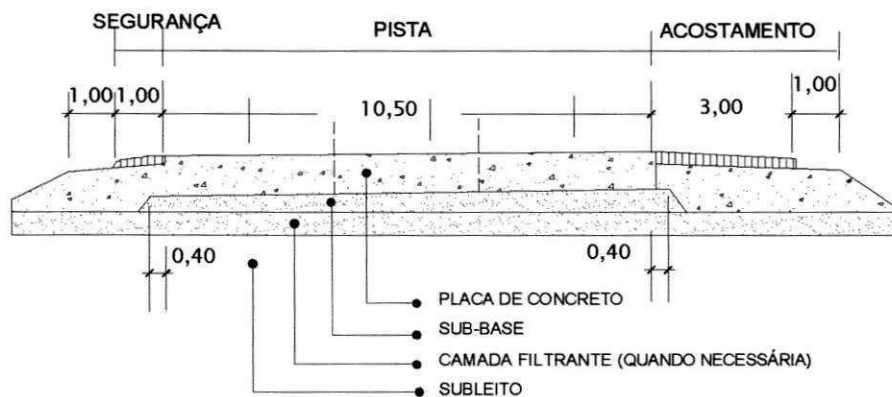


Figura 2.2 - Seção transversal de pavimento rígido.

2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos

O dimensionamento de um pavimento consiste na determinação dos materiais e das espessuras das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento de forma que essas sejam suficientes para resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da passagem dos veículos ao subleito, sem que o conjunto sofra ruptura, deformações, plásticas ou elásticas, ou desgaste superficial prematuro e excessivo.

A seguir serão descritos, em síntese, alguns métodos de dimensionamento de pavimentos classificados segundo suas bases lógicas, ou seja, se empíricos ou racionais.

2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos

Os procedimentos empíricos de dimensionamento de pavimentos são baseados em uma correlação entre observação de comportamento em campo e medidas das características dos materiais e suas espessuras. A seguir serão descritos alguns desses métodos de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.4.1 - Método do CBR

O método do Índice de Suporte Califórnia (CBR) baseia-se essencialmente no ensaio de penetração CBR, o qual permite ao projetista determinar com o auxílio de um gráfico resultante de um ensaio de solo relativamente simples as espessuras necessárias para sub-base, base e revestimento. Teve sua origem no estado da Califórnia, onde foi introduzido pelo **Engº O. J. Porter**, em 1939, depois desenvolvido e modificado pelo United States Corps of Engineers da U.S. Army, sofrendo várias adaptações e modificações sendo hoje um dos métodos de dimensionamento mais conhecidos. Além disso, tem servido de base para outros métodos de dimensionamento que, embora não adotem os mesmos parâmetros para tráfego e para a qualidade dos materiais das camadas, adotam o CBR para identificar a qualidade do subleito.

Logo após o início da Segunda Guerra Mundial, esse método foi adotado pelo Corpo de Engenheiro do Exército dos Estados Unidos para emprego em aeroportos (SENÇO, 1997).

2.1.4.2 - Método do DNER

O método do DNER foi proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de **W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Ahlvin**, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista experimental da AASHTO.

A capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade específica para o projeto.

A espessura total do pavimento é dada em gráfico, em função de N(número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão) e do CBR(SENÇO, 1997).

2.1.4.3 - Método da AASHTO

The AASHTO Road Test foi desenvolvido pela *American Association of State Highway Officials, AASHO*, hoje *AASHTO- American Association of State Highway and Transportation Officials* -, nos Estados Unidos, com base em que o rompimento de um pavimento não é súbito, pois a ação do tráfego vai progressiva e continuamente afetando a estrutura, até um determinado ponto crítico em que a estrutura estará totalmente comprometida.

Os dados foram obtidos na pista experimental da AASHTO para o *The AASHTO Road Test*, construída nos arredores da cidade de Ottawa, Illinois- EUA, com o objetivo de estudar o comportamento dos pavimentos rígidos e flexíveis e pontes, de características conhecidas, sob a ação de cargas móveis de determinada magnitude e frequência, e obter dados necessários para o dimensionamento de pavimentos.

A pista experimental foi construída em 1956, sendo que o período de aplicação das cargas foi de 2 anos, entre 1958 e 1960 (SENÇO, 1997).

O modelo original relacionava o Present Serviceability Index (PSI) com a espessura da camada de revestimento e a magnitude do carregamento por eixo, tipo e repetições. Este modelo foi modificado e passou a considerar efeitos como drenagem, módulo de resiliência do leito da estrada, coeficientes estruturais das camadas baseadas no módulo de resiliência, e a adição do conceito de confiabilidade.

Os resultados dos ensaios da pista experimental mostraram as relações empíricas existentes entre a camada de concreto asfáltico, o carregamento, tipo de eixo, número de repetições da carga e a perda de serventia do pavimento para as condições da pista experimental. O modelo empírico original desenvolvido a partir dos resultados destes ensaios é o seguinte:

$$\log(W) = \log(\rho) + \frac{G}{\beta} \quad (2.1)$$

Sendo:

W – número de repetições para o índice último de serventia;

G – uma função logarítmica da taxa de perda de serventia com o tempo para um índice de serventia adotado igual a 1,5;

β – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W);

ρ – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5.

Na pista experimental, os termos β e ρ foram encontrados a partir da seguinte relação entre o carregamento e as variáveis do pavimento:

$$\log(\rho) = 5,93 + 9,36 \log(SN + 1) - 4,79 \log(L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 \quad (2.2)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081(L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}} \quad (2.3)$$

Sendo:

SN – número estrutural;

L_1 – carregamento em um eixo simples ou eixo tandem, em kips;

L_2 – código de eixo (1 para eixo simples e 2 para tandem).

O modelo final de dimensionamento da AASHTO foi o seguinte:

$$\log(W_{18}) = Z_R + S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) - 8,07 \quad (2.4)$$

Sendo:

W_{18} – estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80kN;

Z_R – desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido;

S_0 – desvio padrão total;

SN – número estrutural;

ΔPSI – perda de serventia de dimensionamento;

M_R – módulo de resiliência do solo do leito da estrada, em lbf/in².

2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos

Enquanto o processo de dimensionamento empírico é fundamentado nas relações baseadas na experiência, o método racional baseia-se nas leis da mecânica do contínuo, a qual relaciona a carga da superfície com a reação do pavimento em termos de tensão, deformação e deslocamentos.

Segundo RODRIGUES (1998), em um corpo sujeito às forças de compressão ou tração, a definição mais genérica de *tensão* é à *força de compressão por unidade de área* da seção reta do corpo perpendicular à sollicitação. Entretanto, para estudo de sólidos e suas relações com as ações de cargas que lhes forem aplicadas é necessário conhecer a distribuição desses esforços e suas conseqüências no arcabouço interno desses corpos.

Distribuições internas de forças e tensões em um sólido podem ser representadas através de um *elemento de sólido*, uma imagem teórica de uma parte interna muito pequena (infinitesimal) ao sólido. A Figura 2.3 ilustra uma representação adotada para o estudo de forças e tensões de um elemento triangular de sólido ABC. As convenções utilizadas são: dx_1 é o lado horizontal do elemento, ds , a sua hipotenusa, dx_2 , sua altura; os índices "1" indicam tensões e forças normais aplicadas no plano que contém a direção dx_2 , os índices "2", tensões e forças normais à direção dx_1 ; $\alpha = \arctg \frac{dx_1}{dx_2}$; τ_{ij} , as tensões de cisalhamento aplicadas sobre "i", a partir de "j"; σ_{ij} ,

idem para tensões; n_{kl} , as forças normais aplicadas sobre "k", a partir de "l"; "e", a espessura do elemento.

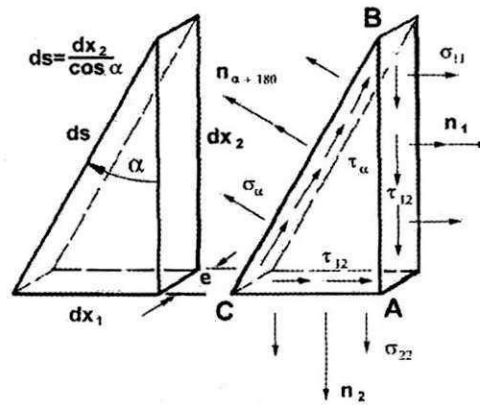


Figura 2.3 – Forças e tensões internas aos sólidos

Cisalhamento é a deformação que sofre um corpo quando sujeito à ação de forças cortantes. A tensão τ que atua na seção do corpo é chamada *tensão de cisalhamento*. A tensão que é normal à seção é σ , a *tensão normal*, que pode ser de tração ou compressão.

Mas, internamente, diz-se que a cada instante o sólido está em equilíbrio. E, as forças e tensões internas a seu arcabouço, também. Assim, as forças que agem sobre o triângulo ABC teriam para suas relações no estado de equilíbrio do elemento de sólido a expressão:

$$\sigma_{\alpha} \left(e \frac{dx_2}{\cos \alpha} \right) - \sigma_{11} (e dx_2) \cos \alpha - \sigma_{22} (e dx_2 \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{sen} \alpha -$$

$$\tau_{12} (e dx_2) \operatorname{sen} \alpha - \tau_{21} (e dx_2) \cos \alpha = 0$$
(2.5)

E, deduz-se que;

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{11} \cos^2 \alpha + \sigma_{22} \operatorname{sen}^2 \alpha + \tau_{12} \operatorname{sen} 2\alpha$$
(2.6)

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{11}}{2} \operatorname{sen} 2\alpha + \tau_{12} \cos 2\alpha$$
(2.7)

Direções, ou eixos, principais são as direções ortogonais das componentes da tensão resultante máxima ou mínima em dado plano. As tensões correspondentes a essa projeção são conhecidas como *tensões principais*. A Figura 2.4 ilustra uma representação gráfica do tensor das tensões. O índice "p" é usado para indicar "nas direções principais".

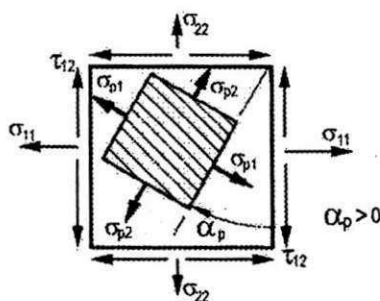


Figura 2.4 – Elemento de sólido e eixos principais

E, na direção p , os conjuntos de planos ortogonais são dados: $\operatorname{tg}(2\alpha_p) = \frac{2\tau_{12}}{\sigma_{11} - \sigma_{22}}$

RODRIGUES (1998) infere que um sólido é constituído de moléculas, e entre as moléculas há um conjunto de forças que as mantêm no arcabouço desses corpos. Essas mesmas forças opõem-se às mudanças de forma do sólido que forças externas tendam a gerar. Os deslocamentos de partículas de sólido provocados por forças externas são parte de um conjunto de mudanças de forma conhecido por *deformação*. E, o trabalho executado pelas forças externas ao movimentar partículas do solo é acumulado no arcabouço do material sob forma de *energia potencial de deformação*.

À propriedade de sólidos poderem voltar à forma inicial após a deformação é conhecida como *elasticidade* do sólido. *Deformação elástica* é a que desaparece com a cessação da causa. Opõe-se à deformação plástica. *Deformação plástica* ou permanente é a que permanece depois de cessada a causa opõe-se à deformação elástica. É importante definir o verbete *resiliência*, que segundo o "Aurélio", é a "propriedade pela qual a energia armazenada em um corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora de deformação elástica".

Para pequenas deformações, define-se *módulo de elasticidade* (para tração ou compressão simples) de sólidos como a "razão entre tensões aplicadas por forças externas e as deformações em um elemento do sólido". Se usarmos a notação " E " para o módulo de elasticidade, e " ε " para a deformação específica de um sólido, a definição pode conduzir à expressão para tensão:

$$\sigma = E\varepsilon$$

A um alongamento no elemento de sólido corresponde um encurtamento na direção ortogonal. Adotando-se o elemento de sólido retangular ilustrado na Figura 2.5, direções de deformação y_1 e sua ortogonal y_2 , lados do elemento sólido unitário "1", direções de deformação no plano "1" e "2"; encurtamento na direção "1", ε_{y_1} ; correspondente alongamento na direção "2", ε_{y_2} .

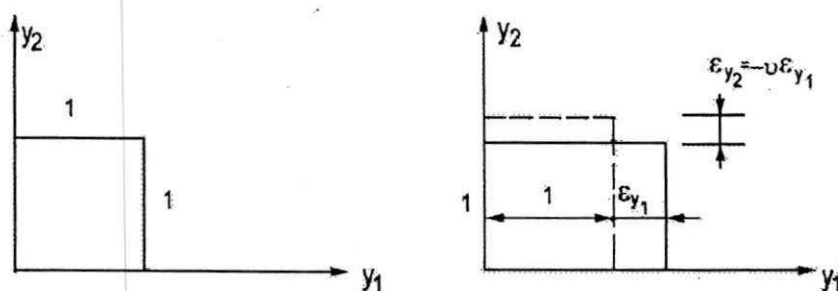


Figura 2.5 – Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido

E, lembrando-se que a aplicação de esforços cuja direção seja diferente às direções ortogonais y_1 e y_2 leva o sólido em equilíbrio a ter as deformações parciais ε_{01} e ε_{02} , às deformações ε_{y_1} e ε_{y_2} correspondem a soma das deformações ε_{01} e ε_{02} isoladas. (Figura 2.6). O problema poderia ser resolvido em um plano.

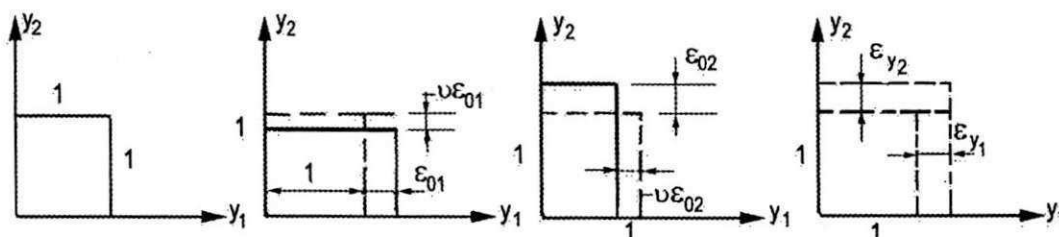


Figura 2.6 – Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas.

Ou seja, numa seção plana de um corpo:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{11} &= \frac{1}{E} \sigma_{11} - \nu \sigma_{22} \\
 \varepsilon_{22} &= \frac{1}{E} \sigma_{22} - \nu \sigma_{11} \\
 \sigma_{11} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{11} + \nu E \varepsilon_{22} \\
 \sigma_{22} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{22} + \nu E \varepsilon_{11}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Sendo, " ν " uma constante característica do material que constitui o sólido, conhecida como *coeficiente de Poisson*.

Quando as deformações forem uma torção, e γ for o ângulo de rotação de um elemento retangular do sólido (Figura 2.7) define-se G , o *módulo de elasticidade transversal do sólido*: a razão entre a tensão de cisalhamento τ aplicada no sólido e o ângulo de torção, γ .

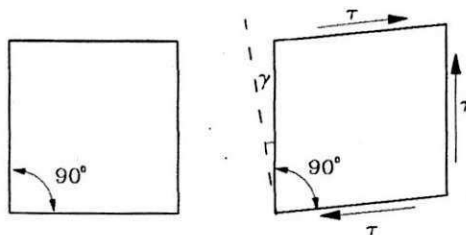


Figura 2.7 – Rotação de elemento retangular de sólido

A relação entre os módulos de elasticidade e o coeficiente de Poisson pode ser expressa:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

(2.9)

O elemento de sólido solicitado por uma força externa tem volume que pode ser representado como exposto na Figura 2.8.

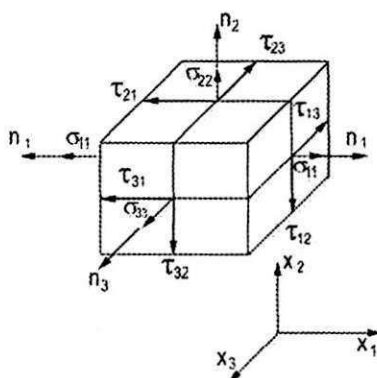


Figura 2.8 – Elemento de volume sob a ação de tensões

A relação entre essas variáveis pode ser expressa sob a forma de matrizes a seguir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = [\tau_{ij}]$$

(2.10)

Também, cada material que constitua o sólido pode ter propriedades que são condições de contorno para os estudos da igualdade entre as tensões estudadas. O elemento a ser analisado poderá fornecer dados e relações geométricas, ou de materiais, que condicionem as análises.

Pavimentos (YODER & WITCZAK, 1975) podem ter tensões em suas camadas estudadas a partir de hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (Figura 2.9).

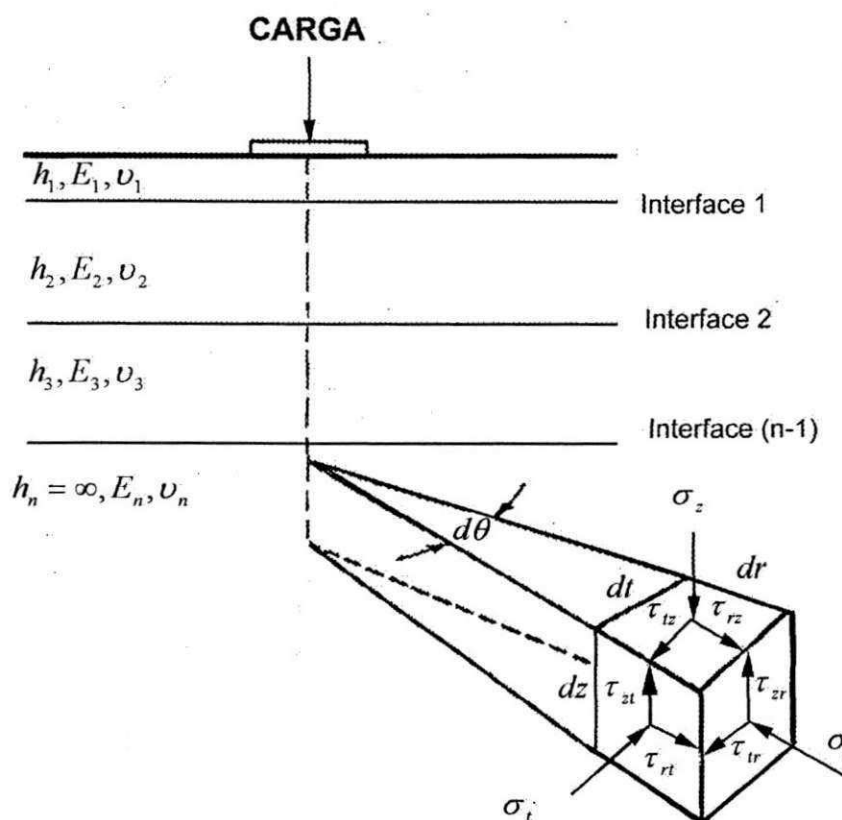


Figura 2.9 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)

Os procedimentos "racional" dependem de uma correlação entre as respostas do pavimento a partir do uso de conceitos de camadas elásticas e/ou elementos finitos e seu comportamento real. Equações são usadas para relacionar as solicitações impostas pelo tráfego com as deformações, trincas ou rupturas resultantes. Exemplos de modelos recentemente desenvolvidos são os da Shell Oil Company, Mobil Oil Company e o do The Asphalt Institute.

O manual de dimensionamento da AASHTO lista os benefícios do uso correto da aplicação do procedimento racional:

- melhor confiabilidade no dimensionamento;
- a habilidade em prever tipos específicos de deformações;
- a habilidade de extrapolar os resultados do campo e do laboratório.

Para o dimensionamento de um pavimento, existem vários métodos, esses são adotados de acordo com o tipo de pavimento, a seguir, de forma sucinta, descreveremos o surgimento e o desenvolvimento de alguns métodos denominados racionais.

Ao longo dos anos, engenheiros e pesquisadores usando diferentes níveis de sofisticação, têm aplicado os processos de análise racional de pavimentos. *Boussinesq* foi um dos primeiros pesquisadores que formulou equações para o cálculo de tensões e deformações em um meio semi-infinito, elástico-linear, homogêneo e isotrópico, solicitado por uma carga pontual.

Enquanto as equações de *Boussinesq* representam uma solução elástica para um sistema de uma camada, *Burmister* (1943,1945) desenvolveu soluções para duas camadas e para sistemas de três camadas, que avançaram consideravelmente na análise racional do pavimento.

Na formulação da teoria da elasticidade para um material isotrópico com uma carga bidimensional, assume-se: equilíbrio; compatibilidade entre deformação normal e de cisalhamento. Tensão e deformação são relacionadas de acordo com a *lei de Hooke*.

Segundo HILDEBRAND (2002), atualmente pode-se classificar os modelos racionais em dois: métodos tradicionais e métodos propostos ou *Traditional Mechanistic Design Method and Future Pavement Design Method*. Os métodos tradicionais podem ser divididos em três etapas: entrada, estimativa da vida útil prevista do pavimento, e estimativa da deterioração.

Os dados de entrada são informações sobre espessura das camadas, propriedades dos materiais (módulo de Young, coeficiente de Poisson, densidade) e configurações de carga.

$$ESAL = \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^n$$

(2.11)

Sendo:

$n = 4,0$ a $4,5$

p = carga atual do eixo

p_{ref} = carga de referência (geralmente 8,0 ou 9,0 toneladas)

A vida útil prevista, (N_t)

A partir de dados sobre vida útil do pavimento, modelos tipo resposta são usados para calcular estados críticos de deformações como a horizontal e vertical, entre o revestimento e a base, e normais ao topo do subleito, respectivamente.

Vários pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos, relacionando o número de aplicações de carga e deformações, para estudar o fenômeno da trinca por fadiga. YANG (1988) sugere como causa da deformação permanente a densificação causada por deformação de cisalhamento do material do subleito.

Um parâmetro ou critério de ruptura pode ser descrito pela relação entre a resposta do pavimento e o seu desempenho. Os critérios de trinca por fadiga e por deformação permanente podem ser utilizados para estabelecer níveis aceitáveis de deformação a partir da seguinte formulação:

$$\varepsilon = K \left(\frac{N_f}{10^6} \right)^{-1/a} \left(\frac{E}{E_{ref}} \right)^b \quad (2.12)$$

Sendo:

ε = deformação admissível;

K, a e b = constantes;

N_f = número de aplicações de carga para ruptura do revestimento;

E = rigidez do material.

Estimativa da deterioração (D)

A Estimativa da deterioração (D) pode ser obtida através da seguinte fórmula:

$$D = \sum_i \left(\sum_j \frac{n_{i,j}}{N_f} \right) \quad (2.13)$$

Sendo:

n - tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda;

N_f - tráfego previsto;

i - estação;

j - configuração de carga do eixo de roda.

A Figura 2.10 ilustra a seqüência lógica do modelo de dimensionamento racional segundo NCHRP (1999).



Figura 2.10 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).

Em pesquisas realizadas entre 1996 e 1999, a partir de informações de pavimentos da Europa e da América do Norte, COST 333 (1999) sugere que os métodos de projetos de pavimentos podem ter sua seqüência lógica segundo a ilustrada na Figura 2.11.

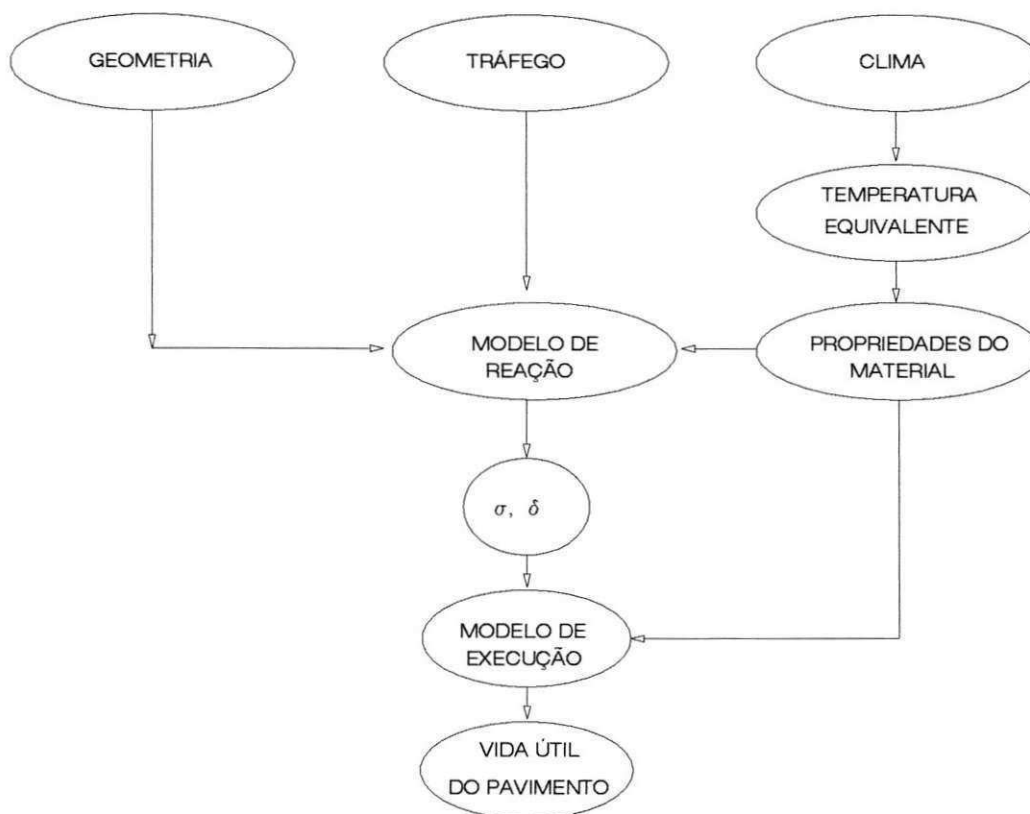


Figura 2.11 – Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

COST 333 (1999) sugere um método com incremento consistindo de modelos integrados por diferentes tipos de solicitações. Este modelo considera, entre outros, as propriedades físicas dos materiais como sendo não lineares variando com o tempo, e como consequência dos efeitos do meio ambiente ou cargas do tráfego (Figura 2.12).

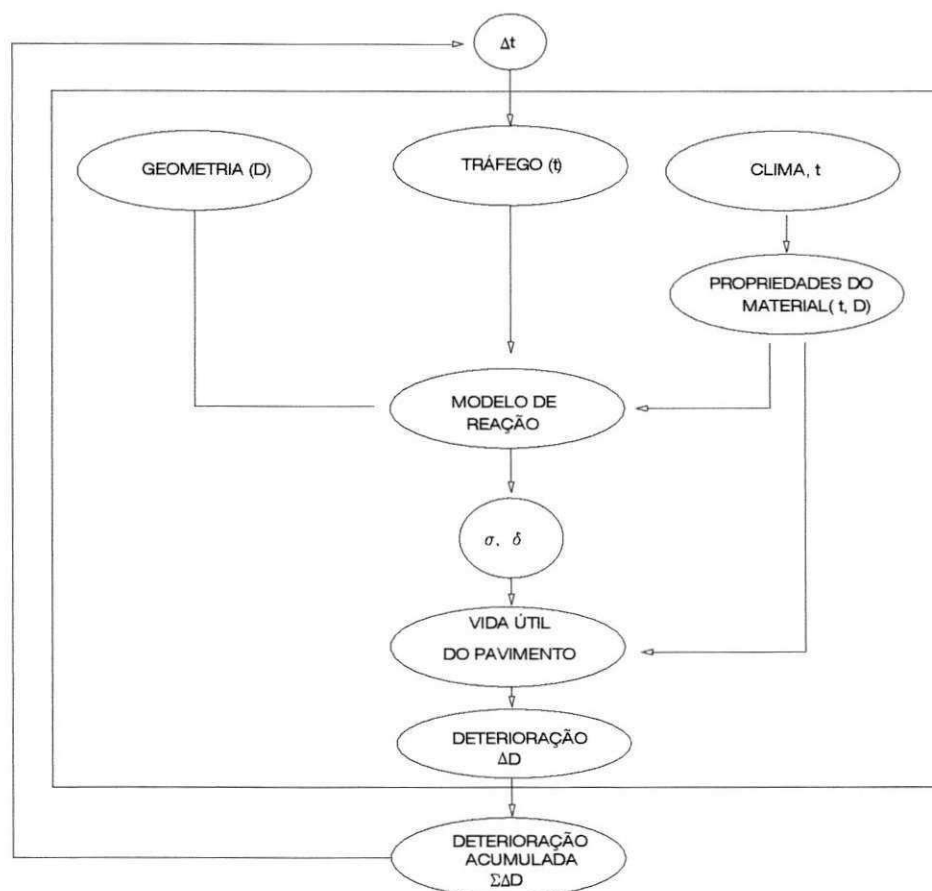


Figura 2.12 – Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

A seguir serão descritos alguns métodos racionais de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.5.1 - Método das espessuras equivalentes

Uma extensão da teoria de *Boussinesq*, para sistemas de múltiplas camadas, foi apresentado por *Odemark* (1949). Seu método é baseado no conceito de espessuras equivalentes, um conceito que foi apresentado na literatura a muito tempo atrás. Usando este procedimento as espessuras de todas as camadas acima do subleito são substituídas por uma espessura equivalente (H_{eq}) de material com as propriedades do subleito (*SEVERI et al*, 1998).

O método das espessuras equivalentes preconiza que a tensão e a deformação que ocorrem em uma camada dependem apenas da rigidez da mesma.

2.1.5.2 - Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos pode ser usado para análise da tensão, deformação e deslocamento na estrutura do pavimento. A sua vantagem é que se admite um modelo do pavimento responsável pela carga

dinâmica e estática para diferentes estruturas geométricas, as quais podem incluir considerações sobre trincas. É um método numérico o qual não fornece uma solução exata e os modelos de material são baseados na mecânica do contínuo, assim a validade junto aos dados reais são necessários.

Segundo MEDINA (1997), no método dos elementos finitos – MEF – o meio contínuo é dividido em elementos fictícios de dimensões finitas ligados entre si por pontos nodais que se assimilam a articulações sem atrito. Na Figura 2.13 é lustrada a malha de elementos quadrangulares.

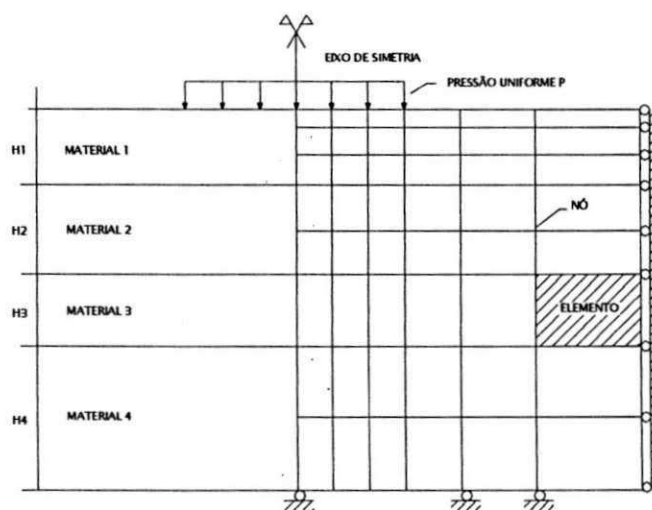


Figura 2.13 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)

A última camada nem sempre pode ser considerada semi-infinita. Se o subleito é pouco deformável deve-se simulá-lo por meio de uma fronteira indeformável por uma camada de rigidez elevada a uma profundidade adequada.

Aplica-se a teoria da elasticidade para obter a relação entre as forças e os deslocamentos nodais de cada elemento, e a partir destes, os deslocamentos no seu interior. Calcula-se a matriz de rigidez de cada elemento: $[K^e]$; os elementos ligam-se pelas faces ou lados. Desenvolve-se uma matriz de rigidez global da estrutura: $[K]$.

Tem-se o sistema de equações simultâneas: $\{F\} = [K] \{\delta\}$, onde o primeiro membro é um vetor tensão; resolvido o sistema, tem-se os deslocamentos nodais. O programa gera automaticamente uma malha e acolhe os módulos dependentes ou não das tensões. As deformações (específicas) são as derivadas primeiras dos deslocamentos, e as tensões relacionam-se às deformações: $\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\}$, onde $[D]$ é a matriz que contém as características do material. Na prática este é um valor do módulo de elasticidade que, se não for linear, dependerá do estado de tensões. O módulo de resiliência ou de "elasticidade" é obtido em ensaios de cargas repetidas.

2.1.5.3 - Métodos das diferenças finitas

O método das diferenças finitas é utilizado para solucionar problemas de valores no contorno em equações diferenciais ordinárias; as derivadas das equações diferenciais se calculam por meio de fórmulas aproximadas, numa série de pontos no domínio de integração no problema. Obtém-se um sistema de equações algébricas que permite calcular as incógnitas nos pontos escolhidos. Aumentando-se o número de pontos as soluções se aproximaram da solução exata. Tem-se a solução discreta do problema nos pontos considerados. A superposição dos efeitos causados por várias rodas é correta para o cálculo dos deslocamentos, mas, aproximada para as tensões. Consideram-se as camadas homogêneas, isotrópicas e horizontalmente infinitas, sendo o subleito um meio semi-infinito (MEDINA, 1997).

2.1.5.4 - Método dos elementos distintos

São utilizados nesse método programas de computador desenvolvidos para esse tipo de análise, o programa 'BALL' é um programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark.

A vantagem deste método é a habilidade de modelar realisticamente materiais do pavimento, tendo na memória a distribuição granulométrica, o tamanho das partículas e sua angularidade, o grau de compactação, a rigidez, o coeficiente de atrito dos grãos e a coesão entre as partículas.

O programa calcula o movimento de partículas distintos em incrementos de tempo baseados nas forças atuantes em cada partícula.

2.2 - DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

2.2.1 - Generalidades

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves, devendo apresentar um bom desempenho, sendo estáveis e resistentes às intempéries.

Existem diferenças entre os pavimentos de aeroportos e os pavimentos rodoviários, sendo estas quanto as suas características físicas e geométricas das solicitações dos veículos, cargas mais pesadas e menor número de solicitações que ocorrem nas pistas dos aeródromos (MEDINA,1997). Podem-se observar essas diferenças através da Tabela 2.1.

Segundo HORONJEFF (1966), em experiências realizadas entre 1928 e 1942 pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia, em pavimentos, forneceram elementos para o estabelecimento da relação empírica entre os valores do CBR e espessuras, ilustradas na Figura 2.14. A curva "B" da figura, indicava a espessura mínima para um pavimento destinado a tráfego leve, e a curva "A" indicava a espessura necessária para tráfego rodoviário em condições médias. Análise subsequente dos elementos que serviram para a determinação das duas curvas revelou que a curva "A" era a mais segura, sendo razoável admitir ser a mesma representativa da carga de 4000kg transmitida por roda de caminhão. Como os pneus de aeronaves sofrem deformações muito maiores que as dos pneus de caminhões e porque o tráfego rodoviário é muito mais canalizado, foi aceita a equivalência entre as cargas de 4000kg por roda de caminhão e de 5400kg por roda da aeronave. Por isso admitiu-se a curva "A", na época, como representativa da carga de 5400kg por roda de aeronave.

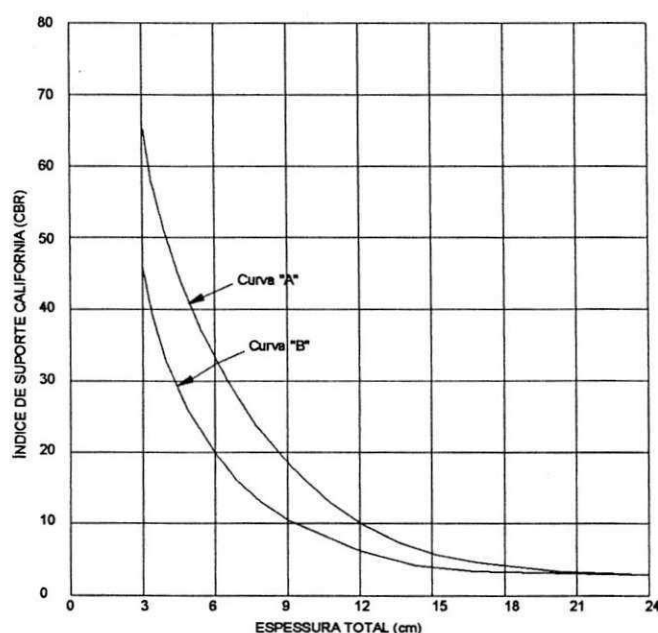
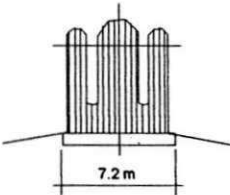
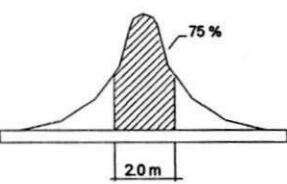

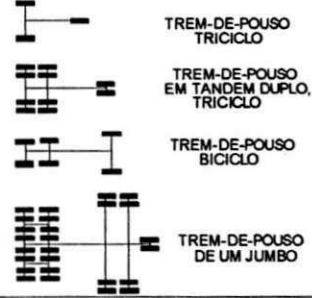


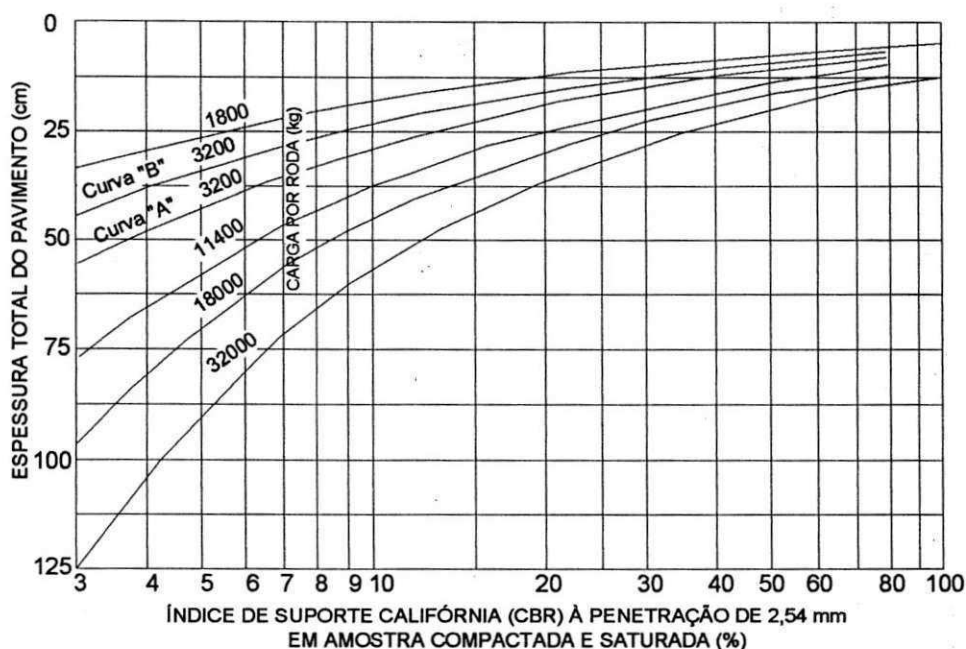
Figura 2.14– Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Tabela 2.1 – Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).

CARACTERÍSTICAS	RODOVIAS	AERÓDROMOS
LARGURA DAS PISTAS	7 a 10 m	20 a 50 m (táxis. 10 a 25 m)
COMPRIMENTO	VÁRIOS QUILOMETROS	ATÉ CERCA DE 3000 m
CARGAS	10 tf POR EIXO, VEÍCULO 45 tf MÁXIMO	100 tf OU MAIS POR TREM-DE-POUSO PRINCIPAL, AVIÕES DE ATÉ 400 tf
FREQUÊNCIA DE REPETIÇÃO DE CARGAS	POR EXEMPLO: 2000 POR DIA. VÁRIOS MILHÕES NA VIDA DE SERVIÇO (O EFEITO DA FADIGA DOS MATERIAIS DE PAVIMENTO É IMPORTANTE)	PEQUENA, POR DIA: 50 A 100, MENOS DE 100.000 NA VIDA DE SERVIÇO
PRESSÃO DOS PNEUS	1,5 A 6 kf / cm ² (0,15 a 0,60 MPa)	10 A 30 kf / cm ² (1,0 a 3,0 MPa)
DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DE CARGAS NAS PISTAS		
DISTÂNCIA DE DRENAGEM	PEQUENA (3m)	GRANDE (10 a 50 m)
IMPACTO DO VEÍCULO NO PAVIMENTO	PEQUENO	GRANDE NO POUSO, PORÉM MINORADO PELA SUSTENTAÇÃO E AMORTECIMENTO
AÇÃO DE CARGA DINÂMICA (VIBRAÇÕES) DE VEÍCULOS PARADOS	NÃO CONSIDERADA	É IMPORTANTE NAS CABECEIRAS DAS PISTAS NA DECOLAGEM E NAS PISTAS DE TÁXI
AÇÃO DE FRENAGEM E ACELERAÇÃO	NÃO É RELEVANTE; NAS RUAS, SIM, NOS SINAIS LUMINOSOS (SEMÁFOROS) PARADA DE ÔNIBUS	IMPACTO QUANDO DO ACIONAMENTO DOS MOTORES COM AS RODAS DE TREM-DE-POUSO TRAVADAS ANTES DA DECOLAGEM
GEOMETRIA DE RODAS	 <p>CAMINHÃO LEVE</p> <p>CAMINHÃO PESADO</p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE</p>	 <p>TREM-DE-POUSO TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO EM TANDEM DUPLO, TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO BICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO DE UM JUMBO</p>

Ainda segundo o autor, na época em que o método CBR foi adotado pelo Corpo de Engenheiros, as pressões dos pneus das aeronaves eram da ordem de 4,2 kg/cm², e as cargas de rodas simples variavam de 11000kg a 30000kg. Ao mesmo tempo que se procedia o estudo teórico, iniciou-se um programa de pesquisas que exigiu a construção de trechos de pavimentos experimentais. Os resultados revelaram que as curvas estabelecidas

pelas considerações teóricas pareciam fornecer espessuras excessivas para os CBR de maior valor e insuficientes para as cargas móveis mais elevadas em CBR baixos. Por isso as curvas básicas mencionadas anteriormente foram ajustadas aos resultados das pesquisas experimentais (Figura 2.15).



Figuras 2.15 – Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Até o surgimento do B-29, que possuía trem de pouso com pernas principais com duas rodas, tratava-se apenas de cargas transmitidas por rodas simples, pois até certa época, mesmo os mais pesados bombardeiros eram dotados de trens de pouso deste tipo. Somente a partir da Segunda Guerra Mundial, entrou em serviço o bombardeiro B-29, tornando-se indispensável à análise dos efeitos das rodas duplas sobre a espessura dos pavimentos, bem como a preparação de gráficos de dimensionamento apropriados ao novo tipo de trem de pouso.

Para estabelecer uma equivalência entre rodas simples e duplas, admitiu-se que um conjunto de rodas duplas que determina no subleito tensões e deformações iguais às determinadas por uma roda simples, necessita da mesma espessura de pavimento que esta última. Assim, o problema do preparo de gráficos de dimensionamento para o B-29 exigia a fixação para cada roda da espessura até a qual cada roda atuava no subleito como unidade independente e a fixação da espessura a partir da qual as duas rodas atuavam no subleito se fosse uma única. Foram calculadas pela teoria de *Boussinesq*, supondo um meio homogêneo, as tensões verticais e de cisalhamento determinadas a diversas profundidades, por uma roda simples de 13500 kg, por outra roda simples de 27000kg e pelas rodas de uma das pernas principais do trem de pouso do B-29, como ilustrada na Figura 2.16. Foram também comparados os recalques produzidos no subleito por rodas simples e duplas. A etapa

seguinte consistiu no estabelecimento de um gráfico de dimensionamento partindo dos dados acima, Figura 2.17, que é uma modificação das curvas de dimensionamento para rodas simples.

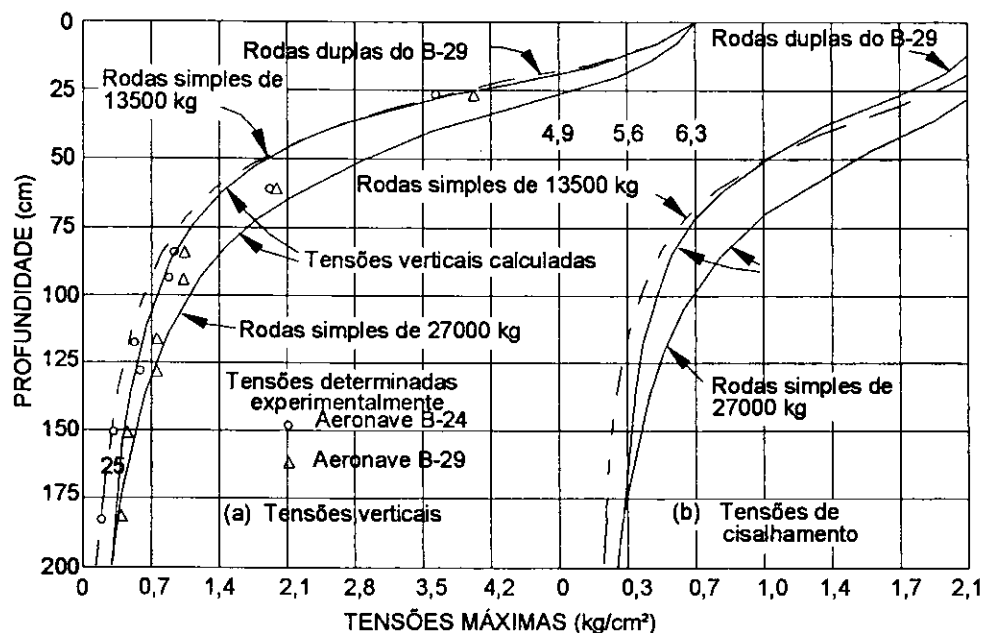
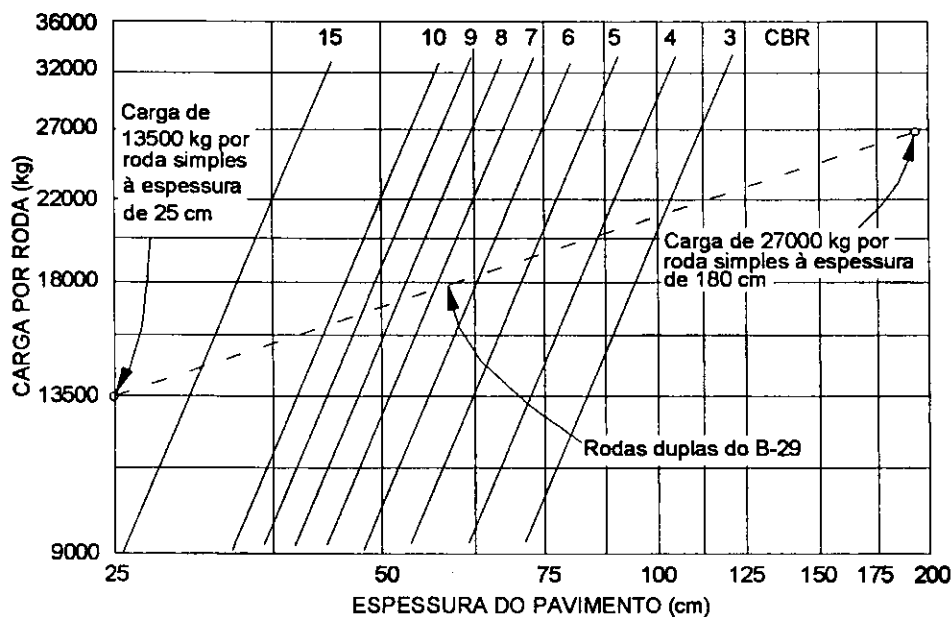


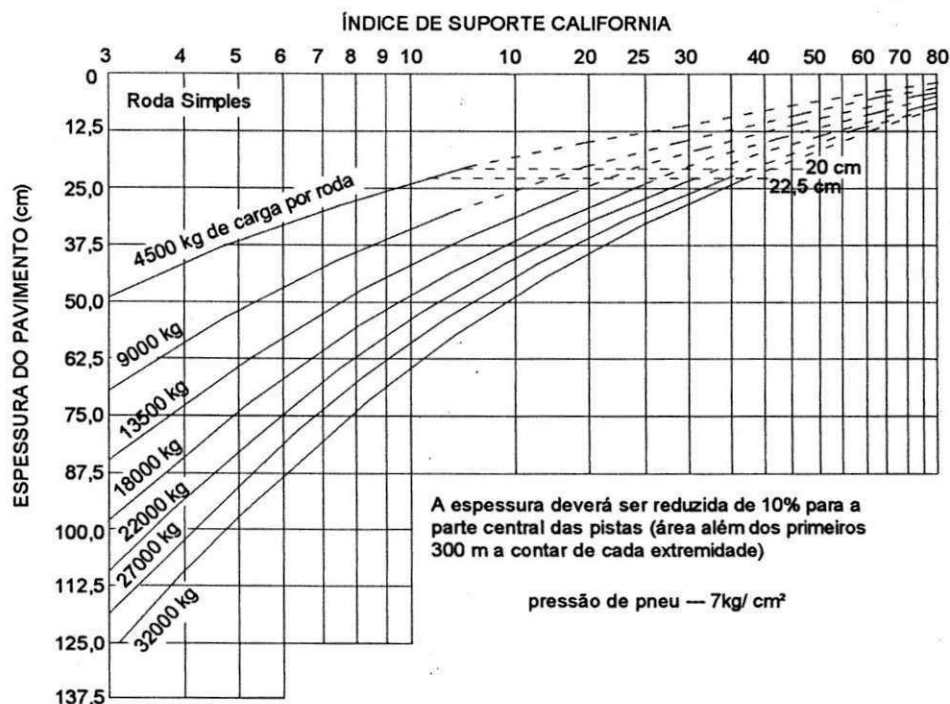
Figura 2.16 – Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.17 – Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Para aplicação do método do CBR adaptado para o dimensionamento de pavimentos de aeroportos, foram preparados gráficos como ilustrado na Figura 2.18, para o dimensionamento de pavimentos para aeronaves Douglas, DC-8, Boeing 707 e Convair 880. As espessuras estimadas nesses gráficos referiam-se as pistas de

rolamento e aos primeiros 300 m a contar de cada extremidade das pistas. Para a parte central das pistas, além dos 300 m, a espessura fornecida pelos gráficos poderia ser reduzida em 10% (HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.18— Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Constata-se, com a evolução do método de dimensionamento de CBR para pavimentos aeroportuários descrita acima, a necessidade do conhecimento das características das aeronaves, como: seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, estudos sobre materiais, entre outros.

A seguir serão descritos alguns conceitos básicos sobre equipamentos de aeronaves, variáveis e métodos de dimensionamento essenciais ao dimensionamento dos pavimentos de aeroportos.

2.2.2 - Aeronaves

Segundo PAIVA E PEIXOTO (2003), as aeronaves civis podem ser classificadas em aeronaves da aviação geral ou da categoria transporte. As aeronaves da aviação geral apresentam peso que varia até 15 tf e podem, no caso das menores, do tipo monomotoras à pistão, utilizar aeródromos com extensão a partir de, tipicamente, 600 m e operar em piso de revestimento primário ou até sobre superfície gramada, tal como se pode operar o antigo modelo P-56C/Neiva.

Para os autores as aeronaves da aviação geral, contudo, apresentam ampla faixa de modelos, desde os de tração monomotor do tipo a pistão, como de impulsão do tipo turbo-fan, que equipam aeronaves como o B-737 – “séries”, ideal para as aeronaves da categoria transporte atuais, devido ao ruído reduzido e economia de combustível relativamente às turbinas tipo turbo-jato. Em função de porte e variação da relação peso por

potência, há elevada amplitude de comprimentos de pistas de pouso e de decolagem para operar bem como combustíveis distintos, da gasolina verde, para aeronaves à pistão ao querosene do tipo aeronáutico, como o *Jet A-1*, para aeronaves à turbina.

As aeronaves da categoria transporte apresentam peso variando entre, aproximadamente, 15 tf a 370 tf, bem como porte externo que varia em ampla faixa, com envergaduras até 70 m aproximadamente, ou capacidade interna de 20 passageiros aproximadamente, como a capacidade do Bandeirante da EMBRAER a até 560 passageiros para uma das versões do B-747-300/400.

Na Tabela 2.2 estão ilustrados exemplos de características físicas típicas comparadas de três aeronaves da categoria transporte, o ERJ 145 da EMBRAER, o B-737-600 da BOEING e B747-300 da Boeing, em termos de envergadura, comprimento, peso máximo de decolagem, tração, capacidade em termos de passageiros e comprimento de pista de pouso e de decolagem em condições padronizadas.

O comprimento de pista de pouso e de decolagem foi respectivamente anotado, em condições padronizadas, pelo FAR *Federal Aviation Regulations* e pela ISA, *International Standard Atmosphere*.

**Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600
(PAIVA E PEIXOTO, 2003).**

AERONAVE	ENVERGADURA	COMPRIMENTO	MÁXIMO PESO ESTRUTURAL NA DECOLAGEM	TIPO E NÚMERO DE TURBINAS	CARGA PAGA (PASSAGEIROS)	COMPRIMENTO DE PISTA
ERI-145	20,04 m	29,87 m	20.600kgf	2 ALLISON AE 3007 A TURBOFANS	50 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.720 m (FAR 25, ISA)
B-737-600	34,32 m	31,25 m	65.560kgf	2 TURBO-FANS CFM56- 7818	130 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.700 m (ISA; FLAPS:10°)
B-747-300	59,64 m	68,6 m	377.800kgf	4TURBO-FANS JT9D- 7R4G2	565 ASSENTOS (INCLUSOS 30 ASSENTOS NA 1ª CLASSE)	3.300 m (FAR; ISA)

Essas aeronaves foram selecionadas em função de aspectos econômicos contemporâneos do transporte aéreo, onde se subentende ideal, na aviação categoria transporte, o uso de aeronaves menores para que se tenha maior índice de aproveitamento de assentos oferecidos tal como se pode considerar para do B 737 da Boeing ou do ERJ 145 da EMBRAER e que, no caso específico desta última, pode-se ainda considerá-la como *feeder*, auxiliando no aumento de demanda de passageiros para aeronaves do tipo *wide bodies*, aeronaves de "corpo largo" com elevada capacidade em assentos, melhorando o desempenho financeiro destas a até viabilizar o seu uso em determinadas rotas (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.3 - Trem de pouso

Trem de pouso é o nome dado ao conjunto de sustentação da aeronave para a fase terrestre de suas etapas de vôo, é composto geralmente por bequilha ou perna de nariz e pelas pernas principais, tal como se apresenta na Figura 2.19 e na Figura 2.20.

O trem de pouso de uma aeronave destina-se à sua sustentação nos movimentos terrestres bem como durante sua permanência em rampa ou em decolagem no pátio ou em hangar. Durante o movimento terrestre da aeronave, o trem de pouso deve amortecer o impacto advindo do movimento vertical no pouso e os impactos inerentes do movimento a alta velocidade sobre o pavimento de pistas de pouso e de decolagem em função de irregularidade superficial, além de facilitar as manobras realizadas pela aeronave.

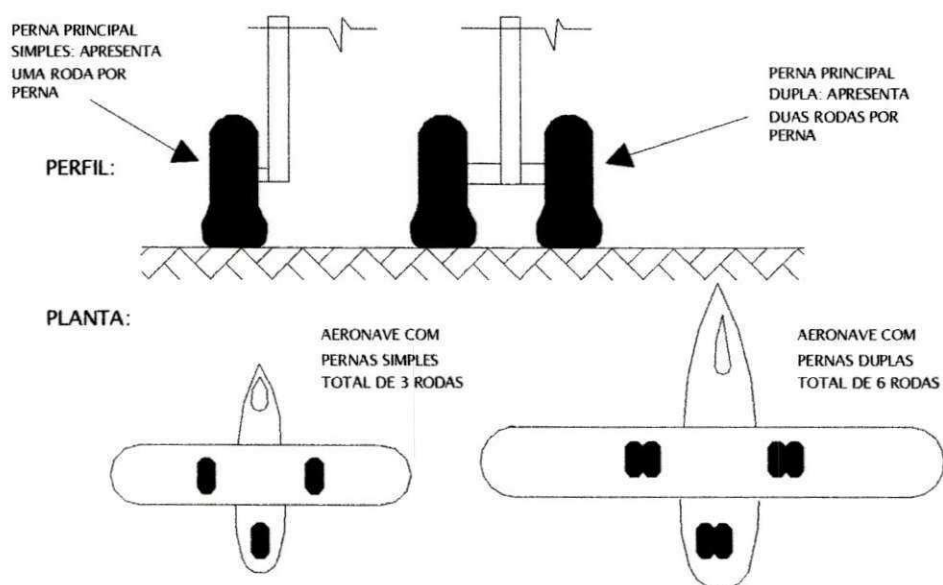


Figura 2.19 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).



Pernas principais –tandem duplo



Bequilha ou perna de nariz - dupla

Figura 2.20 - Trens de pouso típicos.

Segundo HORONJEFF (1966), para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários considera-se, geralmente, 95% do peso da aeronave sobre as pernas principais. Assim, essas definem o carregamento para projeto dos pavimentos aeroportuários. A fragilidade do trem de pouso de aeronaves pesadas impede o pouso com peso elevado, sendo, portanto, *o momento de decolagem tipicamente o crítico para efeito de projeto e a aeronave sob peso máximo.*

A Figura 2.21 ilustra para diferentes tipos de pernas principais sua geometria, relativos a trens de pouso desde pequenas aeronaves da aviação geral a aeronaves wide-bodies da aviação categoria transporte MEDINA (1997) e HORONJEFF (1966).

O trem de pouso distribui adequadamente a carga devida ao peso notavelmente elevado das aeronaves da categoria transporte para que a espessura dos pavimentos não seja exagerada bem como não comprometa a estabilidade do material superficial em função de elevadíssimo esforço de cisalhamento oriundo das cargas concentradas sobre o revestimento.

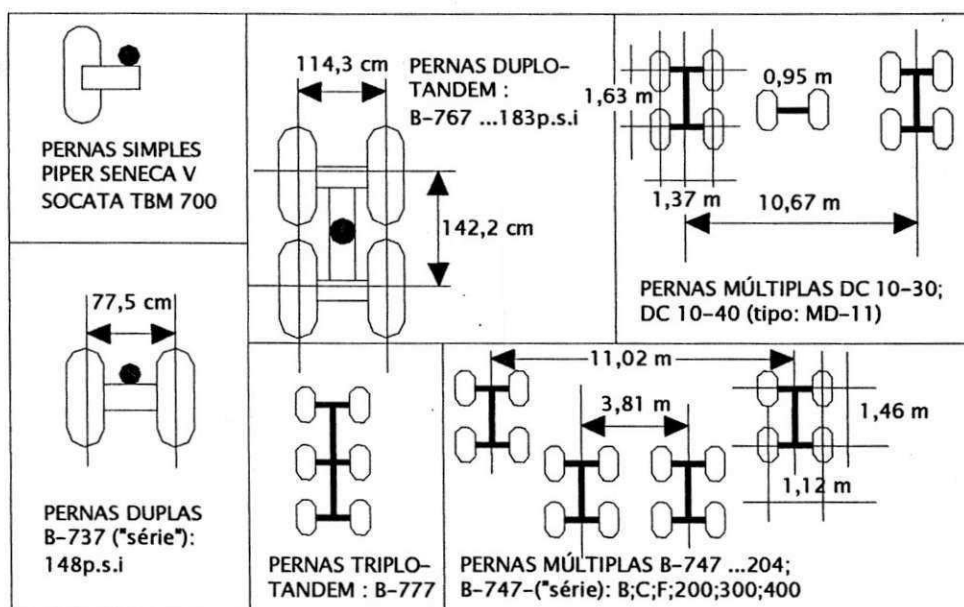


Figura 2.21 – Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos

Para que se possa projetar um pavimento de aeroporto, deve ser realizado um estudo do subleito e dos materiais a serem utilizados na pavimentação, sobre comportamento dos mesmos em função do tráfego e da aplicação de cargas e considerar as condições climáticas e de drenagem.

Em síntese, na escolha de um projeto de pavimentação, devem-se levar em conta alguns fatores, entre eles pode-se destacar: estudo dos solos, estudo do subleito, previsão do tráfego e drenagem.

2.2.4.1 - Estudo dos solos

O Estudo dos solos consiste no estudo geotécnico e econômico para aproveitamento de material existente e escolha do tipo de pavimento a ser adotado, se flexível ou rígido.

2.2.4.2 - Estudo do subleito

No estudo do subleito são realizados ensaios em laboratório para caracterização do material do subleito (granulometria e índices físicos), ensaio de compactação, CBR, sondagens para identificação das várias camadas e determinação da profundidade do lençol d'água.

2.2.4.3 - Previsão do tráfego

Para previsão do tráfego é elaborado um estudo sobre o volume de tráfego do aeroporto, suas partidas anuais bem como são classificadas as aeronaves.

2.2.4.4 - Condições climáticas

Sobre as condições climáticas são realizadas estimativas das temperaturas médias anuais.

2.2.4.5 - Drenagem

Para segurança das aeronaves e uma conservação melhor do pavimento, é indispensável definir um sistema adequado de drenagem das águas superficiais e subterrâneas.

2.3 - MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

Para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, podem-se destacar dois métodos:

- Método da FAA (Federal Aviation Administration);
- Método do Instituto do Asfalto – AI (Asphalt Institute).

2.3.1 - Método da FAA

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do congelamento das camadas, das cargas, tendo em vista o comportamento real do pavimento em serviço (HORONJEFF, 1966). Nesse método deve-se levar em consideração alguns fatores: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc.

2.3.1.1 - Investigação do solo

As informações dos vários tipos de solos são essenciais, e com isso, são necessárias investigações para obtenção da distribuição dos tipos de solo e suas propriedades físicas. Essas informações, combinadas com os dados de topografia e do clima da região, fornecem subsídios para o planejamento básico e o desenvolvimento lógico do dimensionamento do pavimento. A investigação das condições do solo de aeroportos sugeridas pela FAA inclui: inventário, amostragem, ensaios, aproveitamento, drenagem, custos.

Inventário

São estimados os arranjos das diferentes camadas do perfil do solo com relação à estrutura proposta sobre o subleito.

Amostragem

São coletadas amostras representativas das camadas do solo.

Ensaios

São realizados ensaios das amostras para estimativa das propriedades físicas e mecânicas dos vários materiais.

Aproveitamento

São sugeridos estudos sobre os possíveis aproveitamentos dos materiais para o uso na construção da estrutura do pavimento.

Drenagem

São sugeridos estudos do escoamento das águas superficiais e subterrâneas para que seja construído um sistema de drenagem adequado e que não ocorram danos ao pavimento.

Custos

A FAA evidencia que as condições do solo e o preço local dos materiais são itens importantes na elaboração do orçamento durante a fase de projeto do pavimento do aeroporto. O custo do movimento de terra, do lançamento do greide, está diretamente relacionado com o nível de dificuldade dos serviços de escavação e de compactação a serem executados.

2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves

No método de dimensionamento sugerido pela FAA alguns fatores, relacionados com o tipo de aeronave, são considerados essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

Peso máximo de decolagem

O método de dimensionamento baseia-se no peso bruto da aeronave. Para fins de projeto, o pavimento deve ser dimensionado para o peso máximo de decolagem da aeronave.

Tipo e geometria do trem de pouso

O tipo e a configuração do trem de pouso indica como o peso da aeronave está distribuído sobre o pavimento, o que configura em informação importante para quem o dimensiona. O tipo trem de pouso da aeronave pode ser classificado da seguinte forma:

- eixo simples (single gear aircraft);
- eixo duplo (dual gear aircraft);
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) entre os eixos das rodas;
 - aeronaves pesadas o espaço entre duas rodas é de 34 polegadas (0,86m)
- eixo tandem duplo;
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) e tandem de 45 polegadas (1,14m);

- aeronaves pesadas o espaço entre rodas é de 30 polegadas (0,76m) e entre tandem de 55 polegadas (1,40 m).

Pressão dos pneus

A pressão dos pneus varia entre 75 e 200 psi (516 a 1380kPa) dependendo do tipo de trem de pouso.

2.3.1.3 - Aeronave de projeto

Para o dimensionamento do pavimento a aeronave de projeto é aquela que requer a maior espessura do pavimento. Cada tipo de aeronave que constar na lista da previsão do número anual de decolagem, deverá ser avaliada. A aeronave de projeto deverá ser, necessariamente, a aeronave mais pesada.

2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto

O tráfego previsto é uma mistura dos vários tipos de aeronaves as quais possuem diferentes tipos de trem de pouso e diferentes pesos. Os efeitos do tráfego devem ser estimados em função da aeronave de projeto. Todas as aeronaves devem ser convertidas para o mesmo tipo de trem de pouso da aeronave de projeto, através do uso de fatores de conversão.

A estimativa e a projeção das partidas anuais de aeronaves são necessárias e essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento pelo método da FAA. O número equivalente de decolagens da aeronave de projeto denominado, R_1 , é estimado a partir da fórmula:

$$\text{Log}R_1 = \text{log} R_2 \cdot \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$$

(2.14)

Sendo:

R_1 – número equivalente anual de operações da aeronave de projeto;

R_2 – número de operações da aeronave em questão;

W_1 – carga na roda da aeronave de projeto;

W_2 – carga na roda da aeronave em questão.

2.3.1.5 - Seções típicas

Os pavimentos de aeroporto são geralmente construídos em seções de largura uniforme. As pistas de rolamento podem ser construídas com seção transversal variável se for viável economicamente, ou seja, numa seção variável ocorre reduções na quantidade de material requerido para as camadas superiores da pista, entretanto a sua execução é complexa, o que poderá inviabilizar economicamente este tipo de estrutura. O projeto típico e o desenho das seções para pavimentos de seção variável são ilustrados na Figura 2.22.

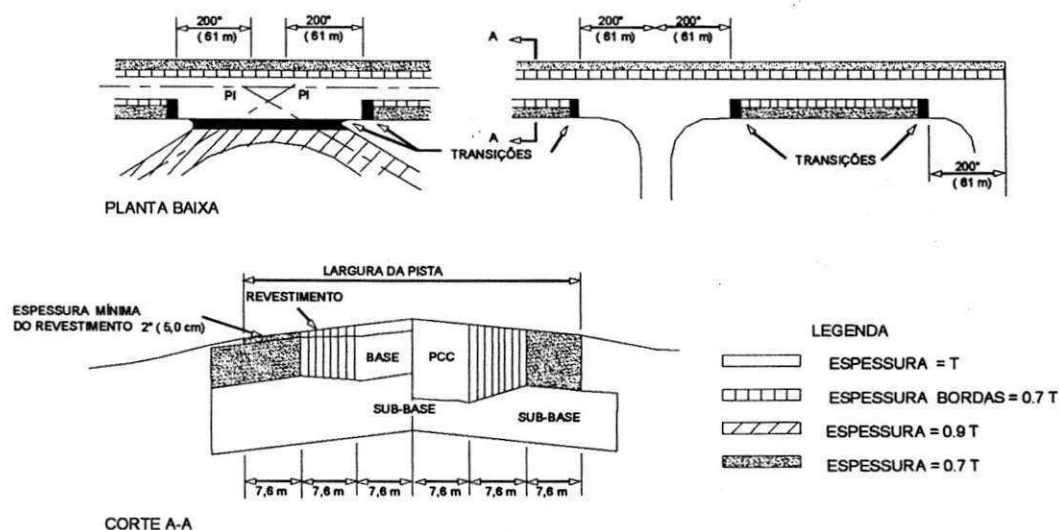


Figura 2.22- Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).

2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves

O método sugerido pela FAA utiliza o peso máximo da aeronave (gross weight) assumindo duas formas de cálculo para o dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

- para valores > 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves pesadas
- para valores < 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves leves

2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito

A estrutura do pavimento flexível a ser estimada é baseada no Índice de Suporte Califórnia, ISC ou CBR. Para o dimensionamento de pavimentos rígidos o parâmetro utilizado é o coeficiente de recalque, K, baseado da teoria de Westergaard.

A Figura 2.29 ilustra, de forma resumida, a seqüência lógica do processo de dimensionamento de pavimentos de aeroportos pelo método da FAA.

A seguir serão descritas as etapas, em detalhes, do dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis para aeronaves que possuem peso máximo maior e menor que 13000kg (30,000lb).

2.3.1.8 - Aeronaves pesadas

O dimensionamento de aeronaves pesadas pelo método da FAA é realizado para pavimentos rígidos e para pavimentos flexíveis. A seguir serão descritas essas duas formas de dimensionamento.

Pavimento rígido

Os pavimentos rígidos para aeroportos são compostos de estrutura, placa, em concreto de cimento Portland sobre uma sub-base granular ou tratada assente sobre o subleito. A superfície de concreto deve ser antiderrapante, impedir a infiltração de água e fornecer suporte estrutural.

A sub-base deve fornecer um suporte estável e uniforme para as placas. A espessura mínima de 4 pol (100mm) é exigida para a sub-base. O subleito deve ser compactado, com grau de compactação (GC), maior ou igual a 90% para solos coesivos é igual a 100% para solos não coesivos. Em seções de corte, igual a 100% nos primeiros 15 cm do topo e 95% nos 46 cm abaixo.

Para a estimativa da espessura da placa, utilizam-se curvas (Figura 2.23) onde é necessário, além da aeronave de projeto, estabelecer quatro parâmetros, a saber:

- resistência à tração na flexão do concreto;
- módulo de reação do subleito;
- peso máximo de decolagem;
- numero equivalente de operações da aeronave de projeto (R_1).

A estimativa da espessura da placa é feita adotando-se a seguinte seqüência: Com o trem de pouso escolhido, entra-se com o valor da resistência a tração na flexão σ , em psi, traçando-se uma linha horizontal até interceptar o valor do módulo de reação do subleito, K; deste ponto traça-se uma linha vertical até o valor do peso máximo de decolagem, PMD; traça-se a partir daí uma linha horizontal até o valor das partidas anuais, R_1 , encontrando-se o valor da espessura da placa em polegadas. A Figura 2.24 ilustra a chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

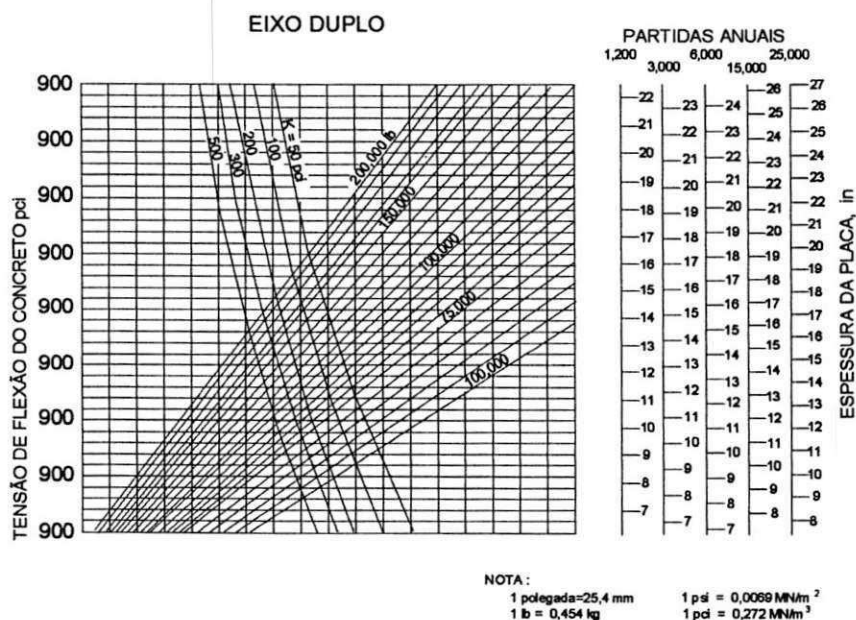


Figura 2.23 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).

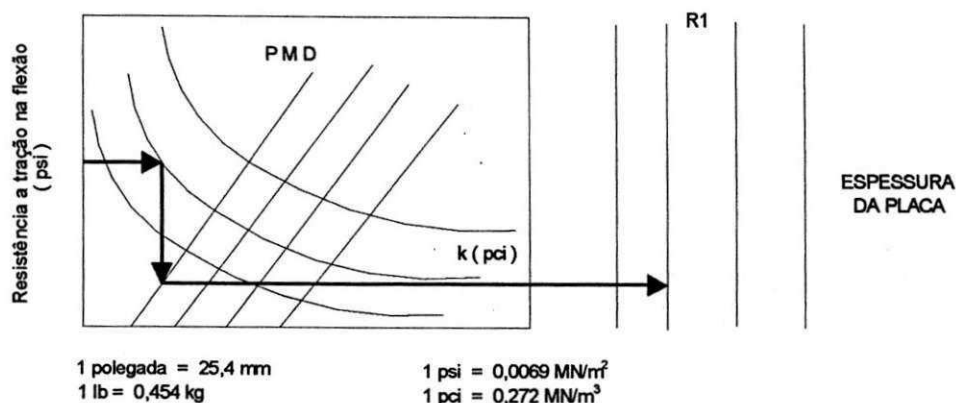


Figura 2.24- Chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

Assim, determina-se o valor da espessura da placa para áreas críticas. Para áreas não críticas pode-se adotar o valor da espessura da placa = $0,9 T$, onde T é a espessura encontrada nas curvas.

Juntas

As juntas são colocadas nos pavimentos de concreto, para permitir a dilatação e a contração das placas, aliviando assim as tensões de empenamento e de atrito, e para facilitar a construção. Existem três tipos de juntas: juntas de dilatação, de contração e de construção.

Juntas de dilatação

As juntas de dilatação têm como principal função proporcionar espaço para a dilatação do pavimento, impedindo assim o aparecimento de tensões de compressão muito elevadas, que poderiam empenar o pavimento.

Juntas de contração

As juntas de contração são conhecidas também como juntas de seção enfraquecida, tendo a função de aliviar as tensões de tração devidas as variações de temperatura, umidade e atrito, controlando desse modo trincas espalhadas pela superfície do pavimento. São moldadas durante a construção ou serradas após o endurecimento do concreto. O espaçamento entre esse tipo de junta é entre 4,5 m e 6,0 m, podendo estender-se aos 7,5 m.

Juntas de construção

As juntas de construção são necessárias para facilitar a construção. Seu espaçamento depende da largura do pavimento, geralmente não excedendo 7,5 m.

Todas as juntas devem ser vedadas com material que impeça a infiltração de água e a penetração de poeira. A Figura 2.25 ilustra os diversos tipos de juntas.

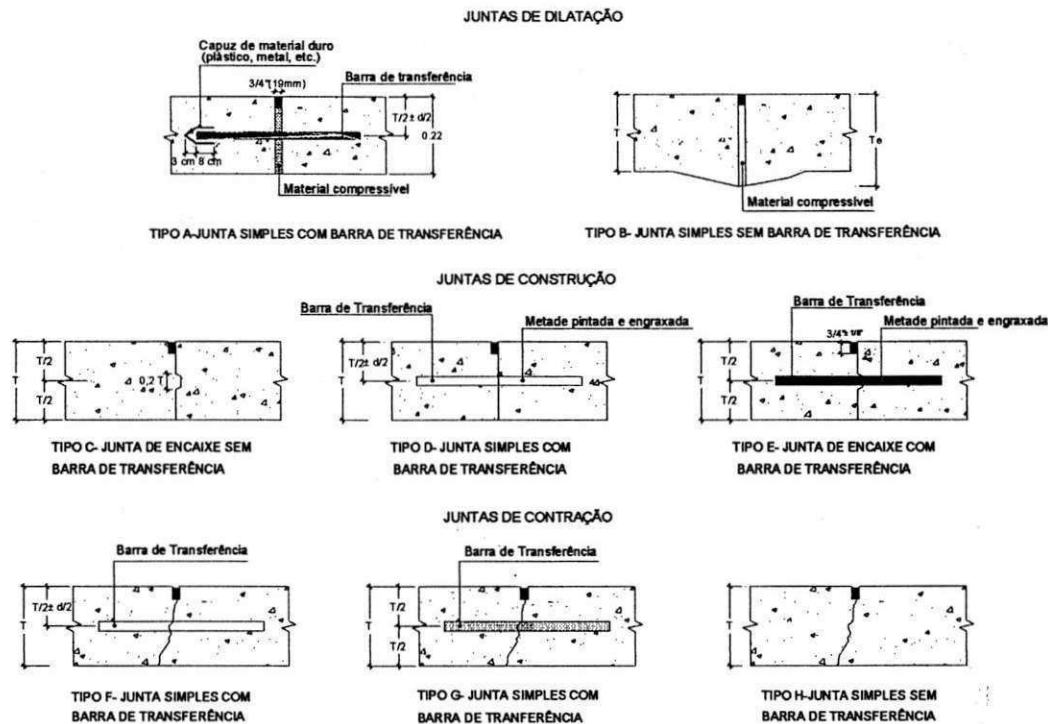


Figura 2.25 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)

Exemplo de dimensionamento de um pavimento rígido

Dados:

Aeronave com PMD = 350000lb (160.000 kg);

Eixo duplo;

$R_1 = 6000$;

$K = 100 \text{ pci}$ (25 MN/m^3);

Drenagem deficiente;

Penetração do degelo de 18 " (460 mm);

Pista principal requerendo 100% de proteção contra degelo;

Classificação do subleito: CL;

Resistência à tração na flexão = 650 psi (4,5 Mpa).

Estimativa de K no topo da sub-base

Com o valor da espessura da sub-base e o coeficiente de recalque do subleito, $K = 100 \text{ pci}$, estima-se o valor do K no topo da sub-base, sendo $K = 210 \text{ pci}$ (57 MN/m^3).

Estimativa da espessura da placa

Nas curvas da Figura 2.23, para o tipo de trem de pouso adequado, entra-se com o valor da resistência à tração na flexão de 650 psi, traça-se uma linha horizontal até o valor de $K = 210 \text{ pci}$, e a partir deste ponto traça-se uma linha vertical até o PMD = 350000lb.

Do ponto de interseção traça-se uma nova horizontal até o valor de $R_1 = 6000$, e encontra-se o valor estimado para a espessura da placa de 16,6 " (422 mm) \approx 17 " (430 mm).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO DE
JOÃO PESSOA**

por _____

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

Campina Grande – Paraíba

Maio de 2004

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. Doutor. John Kennedy Guedes Rodrigues

Orientador

Campina Grande, maio de 2004



J 82a Jordão, Luciana Pimentel

2004 Avaliação Estrutural das pistas de Pouso e Decolagem, Pátios e Acessos do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa / Luciana Pimentel Jordão. – Campina Grande: UFCG, 2004.

114p. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFCG/CCT/DEC

Inclui bibliografia.

1. Aeroportos 2. Avaliação 3. Pavimentos I.Título

CDU: 625.717: 624.13

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Manassés e Soraya, pelo apoio, incentivo e compreensão sempre presentes, expressão do amor que por eles me foi legado durante toda a minha formação.

Aos meus e meus irmãos, Heitor Hugo e Guilherme pelo apoio e estímulo em todas as horas.

Ao meu noivo Fábio, pela força constante, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo.

Ao Professor John Kennedy Guedes Rodrigues, pela orientação, compreensão, dedicação e paciência, pessoa fundamental para realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG pela base científica necessária para realização deste trabalho.

Aos Professores Edmar Brasileiro e Raimundo Leidimar Bezerra, pelo incentivo.

A ATECEL[®] – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior.

A INFRAERO - Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária.

Aos funcionários da área de geotecnia, em especial a Josenira, pela dedicação.

Aos meus avós, Mário, Lucrecia e Liquinha, pela fé em mim depositada.

Aos meus tios e primos, em especial a Marinho, Tânia e Raquel, pelo apoio constante.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação, em especial a Albanise, Adriano Lucena, Giselle e Simone, com os quais dividi momentos inesquecíveis.

Aos amigos, Rose, Sidicley, Adriana, Alessandro, Maristela, e Ricardo, pela afetuosa amizade e estímulo dado.

Agradeço também aos colegas e amigos, Ádney, Arnaldo, Edson, Gladstone e Pedro que me ajudaram na fase de impressão deste trabalho.

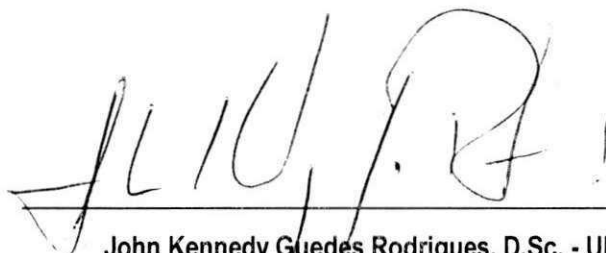
Finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO
DE JOÃO PESSOA**

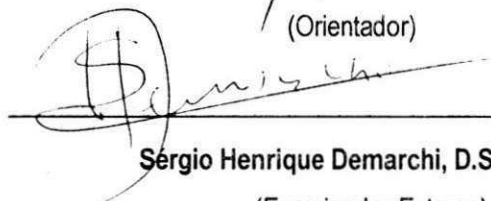
Luciana Pimentel Jordão

Dissertação Defendida e Aprovada em: 27 / 05 / 2004

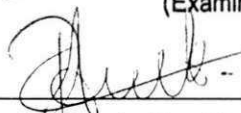
BANCA EXAMINADORA:



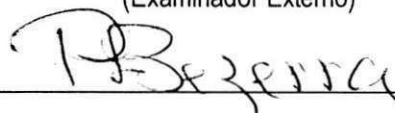
John Kennedy Guedes Rodrigues, D.Sc. - UFCG
(Orientador)



Sergio Henrique Demarchi, D.Sc. - UEM
(Examinador Externo)



Ricardo Almeida de Melo, D.Sc. - UFPB
(Examinador Externo)



Raimundo Leidimar Bezerra, D.Sc. - ATECEL
(Examinador Externo)

ÍNDICE

ÍNDICE	i
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Objetivo	3
1.3 - Organização do Trabalho	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 - Pavimento	5
2.1.1 - Constituintes de um pavimento	5
2.1.2 - Classificação dos pavimentos	5
2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos	6
2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos	7
2.1.4.1 - Método do CBR	7
2.1.4.2 - Método do DNER	7
2.1.4.3 - Método da AASHTO	7
2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos	9
2.1.5.1 - Método das Espessuras Equivalentes	19
2.1.5.2 - Método dos Elementos Finitos	19
2.1.5.3 - Métodos das Diferenças Finitas	20
2.1.5.4 - Método dos Elementos Distintos	21
2.2 - Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos	22
2.2.1 - Generalidades	22
2.2.2 - Aeronaves	26
2.2.3 - Trem de pouso	27
2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos	29

2.2.4.1 - Estudo dos solos	29
2.2.4.2 - Estudo do subleito	30
2.2.4.3 - Previsão do tráfego	30
2.2.4.4 - Condições climáticas	30
2.2.4.5 - Drenagem	30
2.3 - Métodos de Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos	30
2.3.1 - Método da FAA	30
2.3.1.1 - Investigação do solo	30
2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves	31
2.3.1.3 - Aeronave de projeto	32
2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto	32
2.3.1.5 - Seções típicas	32
2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves	33
2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito	33
2.3.1.8 - Aeronaves pesadas	33
2.3.1.9 - Aeronaves leves	42
2.3.2 - Método do Asphalt Institute	45
2.3.2.1 - Base teórica	45
2.3.2.2 - Condições ambientais	46
2.3.2.3 - Análise dos materiais	47
2.3.2.4 - Localização do projeto	49
2.3.2.5 - Análise do tráfego	49
2.3.2.6 - Análise entre tensão e deformação em um sistema de multicamadas	49
2.3.2.7 - Processo de dimensionamento	50
2.4 - Avaliação de Pavimentos	57
2.5 - Reabilitação de Pavimentos	58
2.5.1 - Método de Recapeamento da FAA	58
2.5.1.1 - Recapeamento Flexível sobre Flexível	59
2.5.1.2 - Recapeamento Flexível sobre Rígido	59
2.5.1.3 - Recapeamento Rígido sobre Rígido	61
2.5.1.4 - Recapeamento Rígido sobre Flexível	61
2.5.1.5 - Recapeamento Rígido sobre Rígido com camada de nivelamento	62
2.5.2 - Método de recapeamento do Asphalt Institute	62
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO	64
3.1 - Generalidades	64
3.1.1 - Localização do Aeroporto	64
3.1.2 - Caracterização	65

3.2 - Pavimentos existentes, Projeto de Reforço e ampliação	65
3.2.1 - Pavimentos existentes.....	65
3.2.1.1 - Pista de Pouso e Decolagem	66
3.2.1.2 - Pistas de Táxi	66
3.2.1.3 - Pátios e Estacionamento	66
3.2.2 - Projeto de Reforço e Ampliação	67
3.2.2.1 - Estudos operacionais.....	67
3.2.2.2 - Aeronave tipo	67
3.2.2.3 - Estudos topográficos.....	67
3.2.2.4 - Estudos geotécnicos	68
3.2.2.5 - Projeto de reforço e ampliação	68
3.2.3 - Dimensionamento	69
3.2.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	69
3.2.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (ampliação)	70
3.2.3.3 - Área III - Pista de Táxi (ampliação).....	70
3.2.3.4 - Área IV - Pátios 1 e Pátio 2	71
3.3 - Levantamentos Topográficos, Avaliação das Condições de Desempenho, Registros e Estudos Geotécnicos.	72
3.3.1 - Levantamentos Topográficos.....	72
3.3.2 - Avaliação das Condições de Superfície dos Pavimentos	72
3.3.2.1 - Registros.....	76
3.3.2.2 - Estudos geotécnicos.....	76
3.4 - Metodologia	78
3.4.1 - Divisão das Áreas	78
3.4.2 - Hipóteses de Trabalho	78
3.5 - Apresentação e Análise dos Resultados.....	79
3.5.1 - Sobre a Revisão da Literatura	79
3.5.2 - Dimensionamento a partir do Método da FAA.....	81
3.5.2.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	81
3.5.2.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	82
3.5.2.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	83
3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação).....	84
3.5.3 - Dimensionamento a partir do Método do Asphalt Institute	85
3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	85
3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	86
3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	87

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	89
4.1 - Conclusões.....	89
4.2 - Sugestões.....	90
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....	91
ANEXOS.....	95
ANEXO A.....	96
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Componentes de pavimento flexível	1
Figura 1.2 - Área de distribuição de pressões por pneus.....	2
Figura 1.3 - Deslocamentos em pavimentos flexíveis , quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).....	2
Figura 2.4 - Seção transversal de pavimento flexível.	6
Figura 2.5 - Seção transversal de pavimento rígido.....	6
Figura 2.6 - Forças e tensões internas aos sólidos.....	10
Figura 2.7 - Elemento de sólido e eixos principais	11
Figura 2.8 - Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido	12
Figura 2.9 - Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas	12
Figura 2.10 - Rotação de elemento retangular de sólido	13
Figura 2.11 - Elemento de volume sob a ação de tensões.....	13
Figura 2.12 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)	14
Figura 2.13 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).	17
Figura 2.14 - Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).	18
Figura 2.15 - Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999) .	19
Figura 2.16 - Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)	20
Figura 2.17- Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	22
Figura 2.18- Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	24
Figura 2.19 - Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	25
Figura 2.20 - Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	25
Figura 2.21- Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	26
Figura 2.22 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	28
Figura 2.23 - Trens de pouso típicos	28
Figura 2.24 - Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	29
Figura 2.25 - Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).....	33

Figura 2.26 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).	34
Figura 2.27 - Chave do nomograma para o dimensionamento da placa	35
Figura 2.28 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)	36
Figura 2.29 - Curvas para o dimensionamento da estrutura do pavimento flexível (FAA, 1995).....	39
Figura 2.30 - Chave para o nomograma de dimensionamento da estrutura do pavimento flexível(FAA,1995).....	39
Figura 2.31 - Chave para o Nomograma de dimensionamento do pavimento flexível	43
Figura 2.32 - Seqüência lógica para o dimensionamento de pavimentos pelo método da FAA	44
Figura 2.33 - Localização e direção das deformações de tração e de compressão num pavimento "Full-Depth Asphalt" (Asphalt Institute, 1987).....	45
Figura 2.34 - Espessuras do concreto asfáltico em função do módulo de resiliência e tráfego para o critério de deformação E_c (Asphalt Institute, 1987).....	46
Figura 2.35 - Relação aproximada entre o valor da prova de carga em placas e o módulo de resiliência (M_r) (Asphalt Institute, 1987).	47
Figura 2.36 - Curvas do N_a (tráfego admissível), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).....	50
Figura 2.37- Roteiro para o uso dos diagramas de tráfego equivalentes versus deformações (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.38 - Curvas do N_a (tráfego previsto), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.39 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A (Asphalt Institute, 1987).....	53
Figura 2.40 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_c	54
Figura 2.41 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_t	55
Figura 2.42 - Dimensionamento de um pavimento pelo método do Asphalt Institute.	56
Figura 2.43 - Estrutura de recapeamento de pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).	59
Figura 2.44 - Fator F versus módulo de reação do subleito (K) para diferentes níveis de tráfego (FAA, 1995).....	60
Figura 2.45 - Valor de K para revestimentos existente de pavimentos flexíveis em CBUQ (FAA, 1995).....	62
Figura 2.46 - Quadro para seleção da espessura de recape em CBUQ sobre pavimentos rígidos (Asphalt Institute, 1987).....	63
Figura 3.1 - Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto (INFRAERO, 2004).....	64
Figura 3.2 - Pavimento existente e pavimento ampliado -Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto -	66
Figura 3.3 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho recapeado.....	69
Figura 3.4 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado	70
Figura 3.5 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado da pista de táxi.....	71
Figura 3.6 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado do Pátio 1	71
Figura 3.7 - Cadastro da Cabeceira 34 do Aeroporto Castro Pinto (ATECEL/INFRAERO, 2002).....	72
Figura 3.8 - Superfície avaliada – Pavimento flexível – Cabeceira 16 – Pista de Pouso e Decolagem	73
Figura 3.9 - Superfície avaliada – Pavimento rígido - Pátio 1.....	74
Figura 3.10 - Registro fotográfico digital de uma seção do pavimento para a avaliação das condições de superfície - Pátio.....	76

Figura 3.11 - Extração de corpo de prova do revestimento asfáltico com extratora rotativa diamantada – Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.12 - Extração de material a trado - Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.13 - Verificação de espessuras de placas e realização de ensaios de densidade “in situ”.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).....	23
Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600 (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	27
Tabela 2.3 - Espessura mínima da camada de base (FAA, 1995).....	40
Tabela 2.4 - Dimensões máximas de agregados (Asphalt Institute, 1987).....	48
Tabela 2.5 - Critérios mecânicos e físicos sugeridos pelo AI para escolha de misturas asfálticas de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	48
Tabela 2.6 - Critérios sugeridos pelo AI para a escolha dos materiais de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	49
Tabela 2.7 - Tipos de aeronaves e valores de tráfego acumulado	51
Tabela 2.8 - Tráfego de aeronaves e espessuras equivalentes.....	51
Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa.....	88
Tabela 4.1 - Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Seções avaliadas – Pista de Pouso e Decolagem - Valor de Serventia Atual, Índice de Gravidade Global e Present Condition Index	75
Quadro 3.2 - Seções avaliadas Pátios 1 e 2 - Serventia Atual	75

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

γ	Ângulo de torção
ν	Coefficiente de Poisson
ε	Deformação
$\varepsilon_{01}, \varepsilon_{02}$	Deformações parciais
p	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5
β	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W)
σ	Tensão normal
τ	Tensão de cisalhamento
ΔPSI	Perda de serventia de dimensionamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Asphalt Institute
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	American Association of State Highway Officials
ATECEL®	Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
BALL	Programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark
C_r, C_b	Fator de condição do pavimento existente
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	Concreto betuminoso usinado à quente
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
[D]	Matriz que contém as características do material
D	Estimativa da deterioração
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DTN	Design Traffic Number

E	Rigidez do material
E	Módulo de elasticidade
E_t	Deformação de tração horizontal na base da camada de concreto asfáltico
E_c	Deformação de compressão vertical no topo do subleito
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
ESAL's	Equivalent Single Axle Loads
F_R	Fator de confiabilidade
F	Fator que controla o grau das fendas na base do pavimento rígido
{F}	Vetor tensão
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
G	Módulo de elasticidade transversal do sólido
GC	Grau de compactação
h_d	Espessura do pavimento rígido novo requerido pelas condições de projeto
h_e	Espessura do pavimento rígido existente
h_c	Espessura requerida do recapeamento de concreto
h_e	Espessura do pavimento existente
h	Espessura requerida para placa de concreto simples determinada pelas curvas
HMA	Hot Mix Asphalt
ISA	International Standard Atmosphere
IG	Índice de Grupo
IGG	Índice de Gravidade Global
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
K	Coefficiente de recalque
[K^e]	Matriz de rigidez de cada elemento
[K]	Matriz de rigidez global da estrutura
MEF	Método dos elementos finitos
M_r	Módulo de resiliência
N	Tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda
N_a	Tráfego admissível
N_p	Tráfego previsto
N_f	A Vida útil prevista do pavimento
PCI	Pavement Condition Index
PMD	Peso máximo de decolagem
PI	Poço de Inspeção
PMQ	Pré Misturado à Quente
PSI	Present Serviceability Index

R	Stabilometer value, Hveem
R₁	Número equivalente anual de operações da aeronave de projeto
R₂	Número de operações da aeronave em questão
RCA	Rotativa em Asfalto
RCP	Rotativa em Pavimento Rígido
S₀	Desvio padrão total
SN	Número estrutural
T	Espessura do pavimento encontrada nas curvas de dimensionamento
t	Espessura do recapeamento betuminoso
TR	Sondagem à Trado
VSA	Valor de Serventia Atual
W₁₈	Estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80 KN
Z_R	Desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido

RESUMO

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves. Devem assim apresentar um bom desempenho e ser estáveis e resistentes às intempéries. Estudos sobre os materiais constituintes do pavimento e o conhecimento das características das aeronaves, como seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, entre outros, são de grande importância para o dimensionamento, avaliação, manutenção e restauração dos pavimentos aeroportuários.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo sobre a avaliação de projetos de ampliação e de recape, das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Foram utilizadas informações contidas no relatório da INFRAERO de 1980, dados coletados pela ATECEL[®] em 2002, e analisados, de forma comparativa, resultados estimados através dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

A avaliação das condições de superfície dos pavimentos da pista de pouso e decolagem, pátios e acessos do Aeroporto Castro Pinto, indica que a sua estrutura não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é corroborada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos, através de sondagens com rotativas, com trados, com aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas, a partir dos Métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Palavras-chave: aeroportos, avaliação, pavimentos.

ABSTRACT

Highway airfields are built to support loads which are imposed by aircrafts. So, they must present a good performance, and be stable and resistant to varying climate conditions. Knowledge of aircraft characteristics such as landing gear type, maximum takeoff weight, tire pressures, research of pavement materials, among others, is very important to design, evaluation, maintenance and rehabilitation of the pavement.

The aim of the present work was the evaluation study of enlargement and overlay designs of landing runways, takeoff runways, taxiways and aprons of President Castro Pinto Airfield in João Pessoa, state of Paraíba, based on the methods of FAA and those of the Asphalt Institute.

Data contained in the report of INFRAERO and those collected by ATECEL were used. The estimated results were analyzed in a comparative way through the approaches of FAA and those of the Asphalt Institute.

The surface condition of landing runways, takeoff runways, aprons and taxiways of Castro Pinto Airfield indicates that its structure has suffered neither any premature collapse nor any accentuated distress after 23 years of service. This evidence is confirmed by data obtained in semi-destructive evaluation of pavements, carried out by means of sounding, sampling, survey and through estimated thicknesses, employing methods of FAA, and the of Asphalt Institute.

Key words: airports, evaluation, pavements

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - INTRODUÇÃO

O pavimento é quem fornece a superfície para o tráfego. Dentre suas funções destacam-se suportar e transmitir entre componentes de pavimento esforços estáticos e dinâmicos provocados por cargas solicitantes provenientes dos veículos. O pavimento flexível é uma classe específica de pavimento composto de camadas relativamente esbeltas construídas a partir do subleito compactado da via, materiais granulares e ligantes. Dentre os ligantes destacam-se os asfaltos derivados do petróleo. A Figura 1.1 é uma ilustração de componentes dos pavimentos.

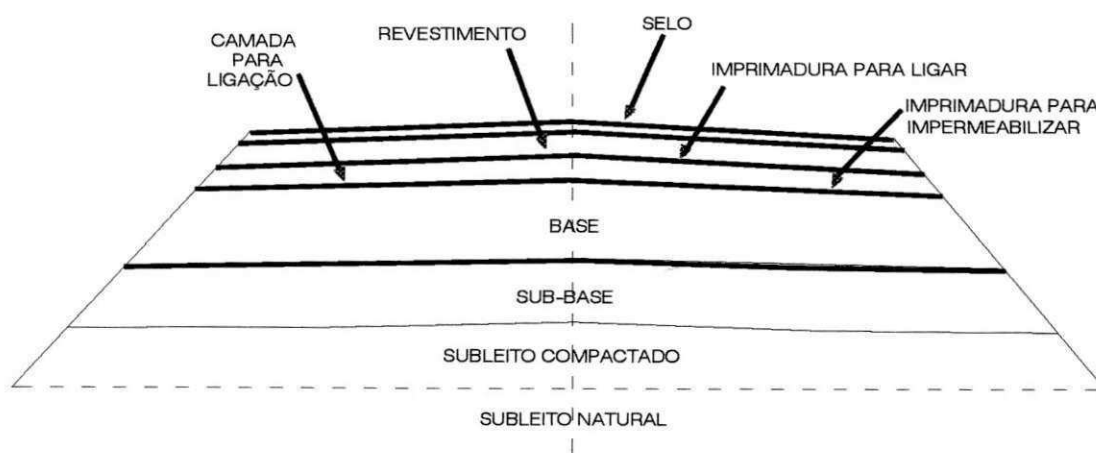


Figura 1.1– Componentes de pavimento flexível.

As cargas são aplicadas no pavimento pelos pneus dos veículos. A pressão de pneus define, para cada veículo a superfície de contato entre os pneus e o pavimento. YODER & WITCZAK (1975) comentam que a maior parte das questões sobre a distribuição de esforços em pavimentos podem ser respondidas assumindo a hipótese de que a pressão aplicada ao pavimento é resultado da distribuição uniforme da carga por uma área constituída por círculos e retângulos. A Figura 1.2 ilustra o exposto.

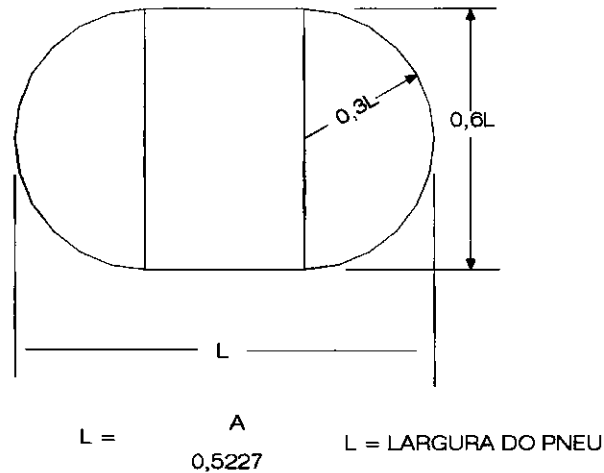


Figura 1.2 – Área de distribuição de pressões por pneus.

Chama-se *ruptura estrutural de pavimento* à perda de capacidade de suportar esforços ou à quebra de uma ou mais de suas camadas, cuja magnitude torne o pavimento incapaz de suportar as cargas aplicadas na sua superfície. Os pavimentos são caracterizados por diferenças mecânicas na dissipação de tensões em sua estrutura. A Figura 1.3 constitui um exemplo de esboço sobre deslocamentos em estruturas típicas, com rupturas, de pavimentos flexíveis quando submetidos às tensões causadas pelos veículos.

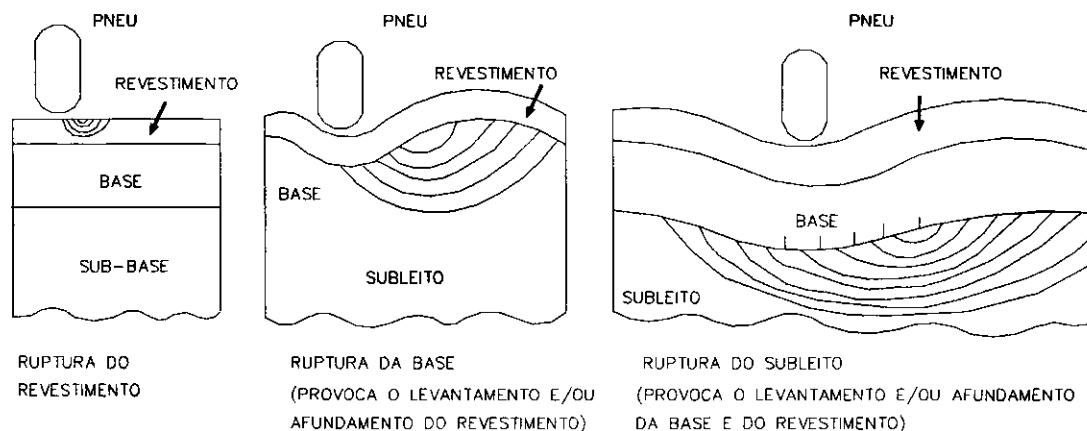


Figura 1.3 – Deslocamentos em pavimentos flexíveis, quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).

Durante a avaliação do comportamento de pavimentos flexíveis podem ser usadas técnicas empíricas para levantamento de dados e estimativa de valores para variáveis relacionadas com a resistência e rigidez de materiais utilizados na construção de suas camadas. Há também métodos racionais, que usam dados fundamentais ao conhecimento de tensões e deformações em solos e agregados dos pavimentos.

O estudo da relação entre as tensões e deformações a partir de valores de variáveis estimados através de modelos teóricos, ou dados obtidos em testes realizados em campo ou em laboratório, é essencial para

diagnósticos sobre condições estruturais de pavimentos, por consequência de condições oferecidas ao tráfego, conforto e segurança, no presente, e, para subsidiar a análise do desempenho futuro.

Ensaio como o triaxial com repetição de aplicação de cargas, utilizados para estimativa de módulos de elasticidade ou de resiliência podem ser usados para melhor caracterizar materiais da estrutura de pavimentos e estudos sobre tensões e deformações de solos. Usando esse tipo de teste pode-se simular em laboratório condições de aplicação de cargas em campo e história de tensões de materiais.

Também, pode-se estimar valores de variáveis características de tensões, deformações ou deslocamentos de materiais que constituem as camadas do pavimento e sua fundação, a partir de equipamentos com resultados obtidos "in situ" - ensaios com placas, viga Benkelman, Falling Weight Deflectometer – que podem subsidiar com dados as análises sobre estruturas de pavimentos.

Os pavimentos aeroportuários apresentam similaridade com os pavimentos rodoviários em termos de materiais e serviços, diferindo consideravelmente na magnitude da carga aplicada, pressão dos pneus, a seção geométrica do pavimento e o número de repetições de carga durante sua vida útil.

Com relação ao dimensionamento do pavimento de aeroporto, são considerados alguns fatores importantes como: o tipo de aeronave que o pavimento irá receber, o tráfego solicitado, o tipo de solo onde ele será construído e o método que será utilizado no dimensionamento.

No Brasil não existe um método específico para o dimensionamento de pavimento de aeroportos, os engenheiros se baseiam em métodos já existentes em outros países, como é o caso da FAA (Federal Aviation Administration) e do AI (Asphalt Institute), os quais se encarregam de normalizar o dimensionamento de pavimentos novos, a avaliação de pavimentos existentes, o recapeamento e reconstrução de pavimentos se necessário.

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do gelo e do degelo das camadas e das cargas, tendo em vista o comportamento real de pavimentos de aeroportos em serviço e baseia-se em uma classificação de solos especialmente estabelecida. O método se aplica ao dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos.

O método de dimensionamento de pavimentos do Instituto do Asfalto é baseado na teoria de que a "full depth asphalt pavement" é um sistema elástico de multicamadas e a aplicação de carga ao pavimento produz dois tipos de deformações; sendo estas deformações a horizontal na base da camada de concreto asfáltico "Et" e a compressão vertical no topo da camada do subleito "Ec".

1.2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo sobre a avaliação, projetos de ampliação, e recapeamento das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 5 Capítulos:

No Capítulo 1, Introdução e objetivos, são descritos os objetivos principais do trabalho, com um breve resumo do assunto objeto da pesquisa.

No Capítulo 2, Revisão da Literatura, são definidos os conceitos fundamentais sobre pavimento de uma forma geral, sua estrutura, classificação e abordados alguns métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos. É dada ênfase ao pavimento de aeroporto, detalhando-se dois métodos de dimensionamento: o método da FAA – Federal Aviation Administration e do AI – Asphalt Institute.

No Capítulo 3, Estudo de caso, estão inseridas informações sobre o aeroporto em estudo, dados sobre clima, topografia, geologia, geometria e estrutura dos pavimentos, dimensionamento de recapes executados, ampliações das pistas de pouso e decolagem e de pátios de acesso e de estacionamentos. Sobre os resultados é feita uma análise comparativa e são realizadas inferências sobre os resultados obtidos pelos dois métodos.

No Capítulo 4, Conclusão, encontra-se as conclusões e sugestões.

No Capítulo 5, Referências, estão inseridas as referências bibliográficas do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - PAVIMENTO

Segundo SENÇO (1997), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada técnica e economicamente a:

- resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície do pavimento.

2.1.1 - Constituintes de um pavimento

O pavimento é constituído de camadas de espessuras finitas assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, ou seja, a infra-estrutura ou terreno de fundação (subleito). Em síntese pode-se descrever as estruturas de um pavimento como:

Regularização do subleito - é a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente, com o projeto;

Reforço do subleito - é a camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base;

Sub-base - é a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito;

Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e é destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade da estrutura.

2.1.2 - Classificação dos pavimentos

Os pavimentos podem ser classificados de uma forma geral, segundo Senço (1997), em:

Pavimentos rígidos - são pavimentos pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento.

Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações (Figura 2.1).

Pavimentos flexíveis - são pavimentos em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento.

São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (Figura 2.2).

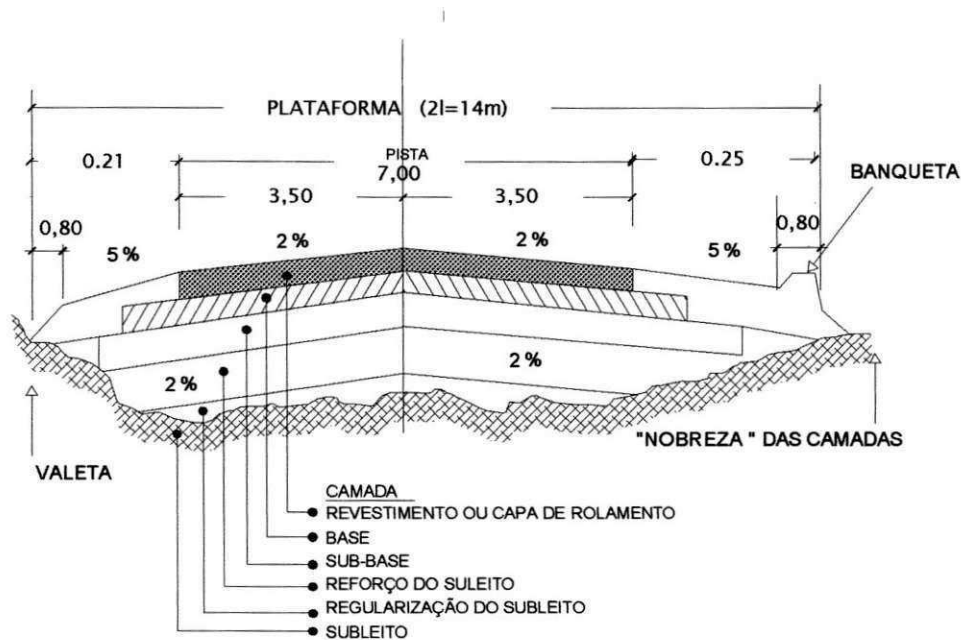


Figura 2.1 - Seção transversal de pavimento flexível.

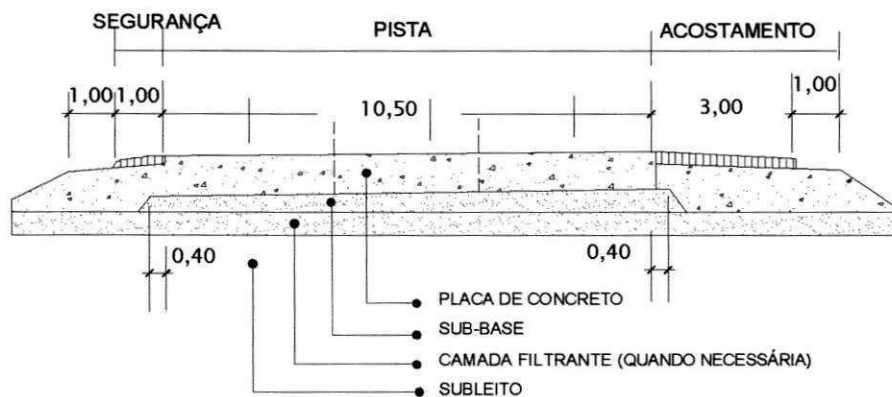


Figura 2.2 - Seção transversal de pavimento rígido.

2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos

O dimensionamento de um pavimento consiste na determinação dos materiais e das espessuras das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento de forma que essas sejam suficientes para resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da passagem dos veículos ao subleito, sem que o conjunto sofra ruptura, deformações, plásticas ou elásticas, ou desgaste superficial prematuro e excessivo.

A seguir serão descritos, em síntese, alguns métodos de dimensionamento de pavimentos classificados segundo suas bases lógicas, ou seja, se empíricos ou racionais.

2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos

Os procedimentos empíricos de dimensionamento de pavimentos são baseados em uma correlação entre observação de comportamento em campo e medidas das características dos materiais e suas espessuras. A seguir serão descritos alguns desses métodos de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.4.1 - Método do CBR

O método do Índice de Suporte Califórnia (CBR) baseia-se essencialmente no ensaio de penetração CBR, o qual permite ao projetista determinar com o auxílio de um gráfico resultante de um ensaio de solo relativamente simples as espessuras necessárias para sub-base, base e revestimento. Teve sua origem no estado da Califórnia, onde foi introduzido pelo **Engº O. J. Porter**, em 1939, depois desenvolvido e modificado pelo United States Corps of Engineers da U.S. Army, sofrendo várias adaptações e modificações sendo hoje um dos métodos de dimensionamento mais conhecidos. Além disso, tem servido de base para outros métodos de dimensionamento que, embora não adotem os mesmos parâmetros para tráfego e para a qualidade dos materiais das camadas, adotam o CBR para identificar a qualidade do subleito.

Logo após o início da Segunda Guerra Mundial, esse método foi adotado pelo Corpo de Engenheiro do Exército dos Estados Unidos para emprego em aeroportos (SENÇO, 1997).

2.1.4.2 - Método do DNER

O método do DNER foi proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de **W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Ahlvin**, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista experimental da AASHTO.

A capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade específica para o projeto.

A espessura total do pavimento é dada em gráfico, em função de N(número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão) e do CBR(SENÇO, 1997).

2.1.4.3 - Método da AASHTO

The AASHTO Road Test foi desenvolvido pela *American Association of State Highway Officials, AASHO*, hoje *AASHTO- American Association of State Highway and Transportation Officials* -, nos Estados Unidos, com base em que o rompimento de um pavimento não é súbito, pois a ação do tráfego vai progressiva e continuamente afetando a estrutura, até um determinado ponto crítico em que a estrutura estará totalmente comprometida.

Os dados foram obtidos na pista experimental da AASHTO para o *The AASHTO Road Test*, construída nos arredores da cidade de Ottawa, Illinois- EUA, com o objetivo de estudar o comportamento dos pavimentos rígidos e flexíveis e pontes, de características conhecidas, sob a ação de cargas móveis de determinada magnitude e frequência, e obter dados necessários para o dimensionamento de pavimentos.

A pista experimental foi construída em 1956, sendo que o período de aplicação das cargas foi de 2 anos, entre 1958 e 1960 (SENÇO, 1997).

O modelo original relacionava o Present Serviceability Index (PSI) com a espessura da camada de revestimento e a magnitude do carregamento por eixo, tipo e repetições. Este modelo foi modificado e passou a considerar efeitos como drenagem, módulo de resiliência do leito da estrada, coeficientes estruturais das camadas baseadas no módulo de resiliência, e a adição do conceito de confiabilidade.

Os resultados dos ensaios da pista experimental mostraram as relações empíricas existentes entre a camada de concreto asfáltico, o carregamento, tipo de eixo, número de repetições da carga e a perda de serventia do pavimento para as condições da pista experimental. O modelo empírico original desenvolvido a partir dos resultados destes ensaios é o seguinte:

$$\log(W) = \log(\rho) + \frac{G}{\beta} \quad (2.1)$$

Sendo:

W – número de repetições para o índice último de serventia;

G – uma função logarítmica da taxa de perda de serventia com o tempo para um índice de serventia adotado igual a 1,5;

β – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W);

ρ – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5.

Na pista experimental, os termos β e ρ foram encontrados a partir da seguinte relação entre o carregamento e as variáveis do pavimento:

$$\log(\rho) = 5,93 + 9,36 \log(SN + 1) - 4,79 \log(L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 \quad (2.2)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081(L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}} \quad (2.3)$$

Sendo:

SN – número estrutural;

L_1 – carregamento em um eixo simples ou eixo tandem, em kips;

L_2 – código de eixo (1 para eixo simples e 2 para tandem).

O modelo final de dimensionamento da AASHTO foi o seguinte:

$$\log(W_{18}) = Z_R + S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) - 8,07 \quad (2.4)$$

Sendo:

W_{18} – estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80kN;

Z_R – desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido;

S_0 – desvio padrão total;

SN – número estrutural;

ΔPSI – perda de serventia de dimensionamento;

M_R – módulo de resiliência do solo do leito da estrada, em lbf/in².

2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos

Enquanto o processo de dimensionamento empírico é fundamentado nas relações baseadas na experiência, o método racional baseia-se nas leis da mecânica do contínuo, a qual relaciona a carga da superfície com a reação do pavimento em termos de tensão, deformação e deslocamentos.

Segundo RODRIGUES (1998), em um corpo sujeito às forças de compressão ou tração, a definição mais genérica de *tensão* é à *força de compressão por unidade de área* da seção reta do corpo perpendicular à sollicitação. Entretanto, para estudo de sólidos e suas relações com as ações de cargas que lhes forem aplicadas é necessário conhecer a distribuição desses esforços e suas conseqüências no arcabouço interno desses corpos.

Distribuições internas de forças e tensões em um sólido podem ser representadas através de um *elemento de sólido*, uma imagem teórica de uma parte interna muito pequena (infinitesimal) ao sólido. A Figura 2.3 ilustra uma representação adotada para o estudo de forças e tensões de um elemento triangular de sólido ABC. As convenções utilizadas são: dx_1 é o lado horizontal do elemento, ds , a sua hipotenusa, dx_2 , sua altura; os índices "1" indicam tensões e forças normais aplicadas no plano que contém a direção dx_2 , os índices "2", tensões e forças normais à direção dx_1 ; $\alpha = \arctg \frac{dx_1}{dx_2}$; τ_{ij} , as tensões de cisalhamento aplicadas sobre "i", a partir de "j"; σ_{ij} ,

idem para tensões; n_{kl} , as forças normais aplicadas sobre "k", a partir de "l"; "e", a espessura do elemento.

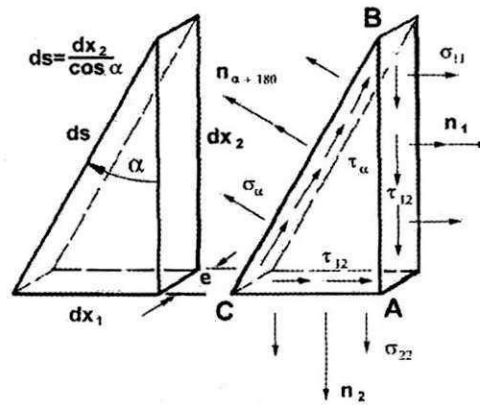


Figura 2.3 – Forças e tensões internas aos sólidos

Cisalhamento é a deformação que sofre um corpo quando sujeito à ação de forças cortantes. A tensão τ que atua na seção do corpo é chamada *tensão de cisalhamento*. A tensão que é normal à seção é σ , a *tensão normal*, que pode ser de tração ou compressão.

Mas, internamente, diz-se que a cada instante o sólido está em equilíbrio. E, as forças e tensões internas a seu arcabouço, também. Assim, as forças que agem sobre o triângulo ABC teriam para suas relações no estado de equilíbrio do elemento de sólido a expressão:

$$\sigma_{\alpha} \left(e \frac{dx_2}{\cos \alpha} \right) - \sigma_{11} (e dx_2) \cos \alpha - \sigma_{22} (e dx_2 \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{sen} \alpha -$$

$$\tau_{12} (e dx_2) \operatorname{sen} \alpha - \tau_{21} (e dx_2) \cos \alpha = 0$$
(2.5)

E, deduz-se que;

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{11} \cos^2 \alpha + \sigma_{22} \operatorname{sen}^2 \alpha + \tau_{12} \operatorname{sen} 2\alpha$$
(2.6)

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{11}}{2} \operatorname{sen} 2\alpha + \tau_{12} \cos 2\alpha$$
(2.7)

Direções, ou eixos, principais são as direções ortogonais das componentes da tensão resultante máxima ou mínima em dado plano. As tensões correspondentes a essa projeção são conhecidas como *tensões principais*. A Figura 2.4 ilustra uma representação gráfica do tensor das tensões. O índice "p" é usado para indicar "nas direções principais".

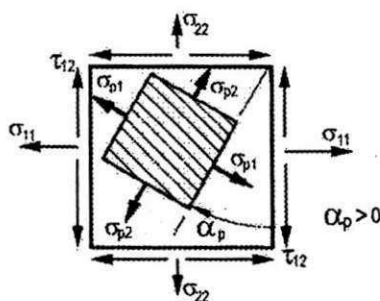


Figura 2.4 – Elemento de sólido e eixos principais

E, na direção p , os conjuntos de planos ortogonais são dados: $\operatorname{tg}(2\alpha_p) = \frac{2\tau_{12}}{\sigma_{11} - \sigma_{22}}$

RODRIGUES (1998) infere que um sólido é constituído de moléculas, e entre as moléculas há um conjunto de forças que as mantêm no arcabouço desses corpos. Essas mesmas forças opõem-se às mudanças de forma do sólido que forças externas tendam a gerar. Os deslocamentos de partículas de sólido provocados por forças externas são parte de um conjunto de mudanças de forma conhecido por *deformação*. E, o trabalho executado pelas forças externas ao movimentar partículas do solo é acumulado no arcabouço do material sob forma de *energia potencial de deformação*.

À propriedade de sólidos poderem voltar à forma inicial após a deformação é conhecida como *elasticidade* do sólido. *Deformação elástica* é a que desaparece com a cessação da causa. Opõe-se à deformação plástica. *Deformação plástica* ou permanente é a que permanece depois de cessada a causa opõe-se à deformação elástica. É importante definir o verbete *resiliência*, que segundo o "Aurélio", é a "propriedade pela qual a energia armazenada em um corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora de deformação elástica".

Para pequenas deformações, define-se *módulo de elasticidade* (para tração ou compressão simples) de sólidos como a "razão entre tensões aplicadas por forças externas e as deformações em um elemento do sólido". Se usarmos a notação " E " para o módulo de elasticidade, e " ε " para a deformação específica de um sólido, a definição pode conduzir à expressão para tensão:

$$\sigma = E\varepsilon$$

A um alongamento no elemento de sólido corresponde um encurtamento na direção ortogonal. Adotando-se o elemento de sólido retangular ilustrado na Figura 2.5, direções de deformação y_1 e sua ortogonal y_2 , lados do elemento sólido unitário "1", direções de deformação no plano "1" e "2"; encurtamento na direção "1", ε_{y_1} ; correspondente alongamento na direção "2", ε_{y_2} .

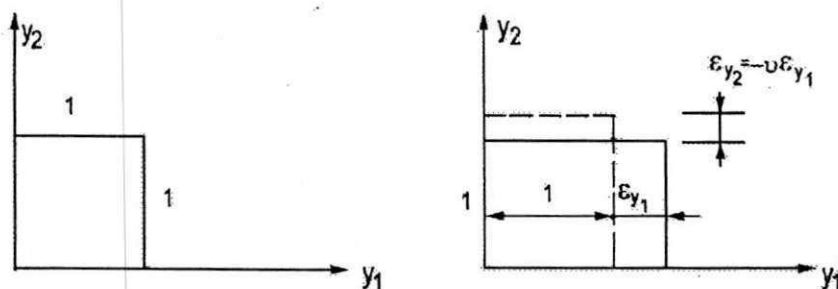


Figura 2.5 – Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido

E, lembrando-se que a aplicação de esforços cuja direção seja diferente às direções ortogonais y_1 e y_2 leva o sólido em equilíbrio a ter as deformações parciais ε_{01} e ε_{02} , às deformações ε_{y_1} e ε_{y_2} correspondem a soma das deformações ε_{01} e ε_{02} isoladas. (Figura 2.6). O problema poderia ser resolvido em um plano.

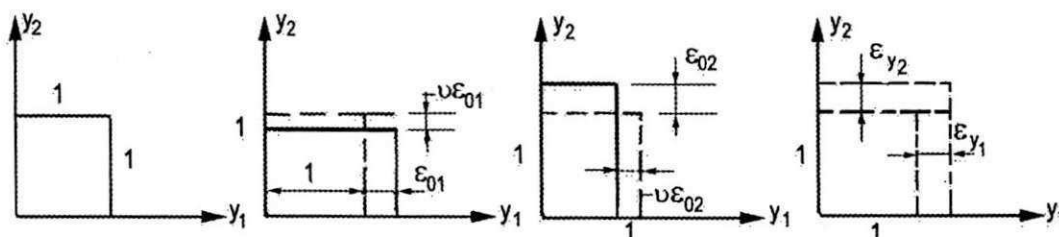


Figura 2.6 – Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas.

Ou seja, numa seção plana de um corpo:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{11} &= \frac{1}{E} \sigma_{11} - \nu \sigma_{22} \\
 \varepsilon_{22} &= \frac{1}{E} \sigma_{22} - \nu \sigma_{11} \\
 \sigma_{11} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{11} + \nu \varepsilon_{22} \\
 \sigma_{22} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{22} + \nu \varepsilon_{11}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Sendo, " ν " uma constante característica do material que constitui o sólido, conhecida como *coeficiente de Poisson*.

Quando as deformações forem uma torção, e γ for o ângulo de rotação de um elemento retangular do sólido (Figura 2.7) define-se G , o *módulo de elasticidade transversal do sólido*: a razão entre a tensão de cisalhamento τ aplicada no sólido e o ângulo de torção, γ .

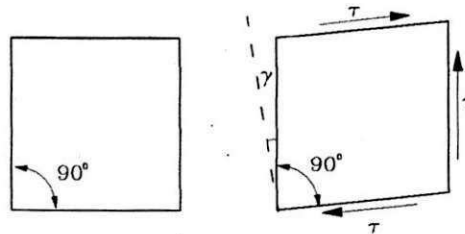


Figura 2.7 – Rotação de elemento retangular de sólido

A relação entre os módulos de elasticidade e o coeficiente de Poisson pode ser expressa:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

(2.9)

O elemento de sólido solicitado por uma força externa tem volume que pode ser representado como exposto na Figura 2.8.

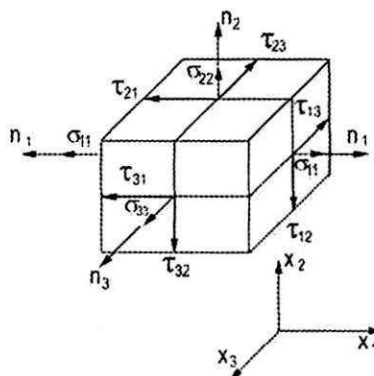


Figura 2.8 – Elemento de volume sob a ação de tensões

A relação entre essas variáveis pode ser expressa sob a forma de matrizes a seguir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = [\tau_{ij}]$$

(2.10)

Também, cada material que constitua o sólido pode ter propriedades que são condições de contorno para os estudos da igualdade entre as tensões estudadas. O elemento a ser analisado poderá fornecer dados e relações geométricas, ou de materiais, que condicionem as análises.

Pavimentos (YODER & WITCZAK, 1975) podem ter tensões em suas camadas estudadas a partir de hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (Figura 2.9).

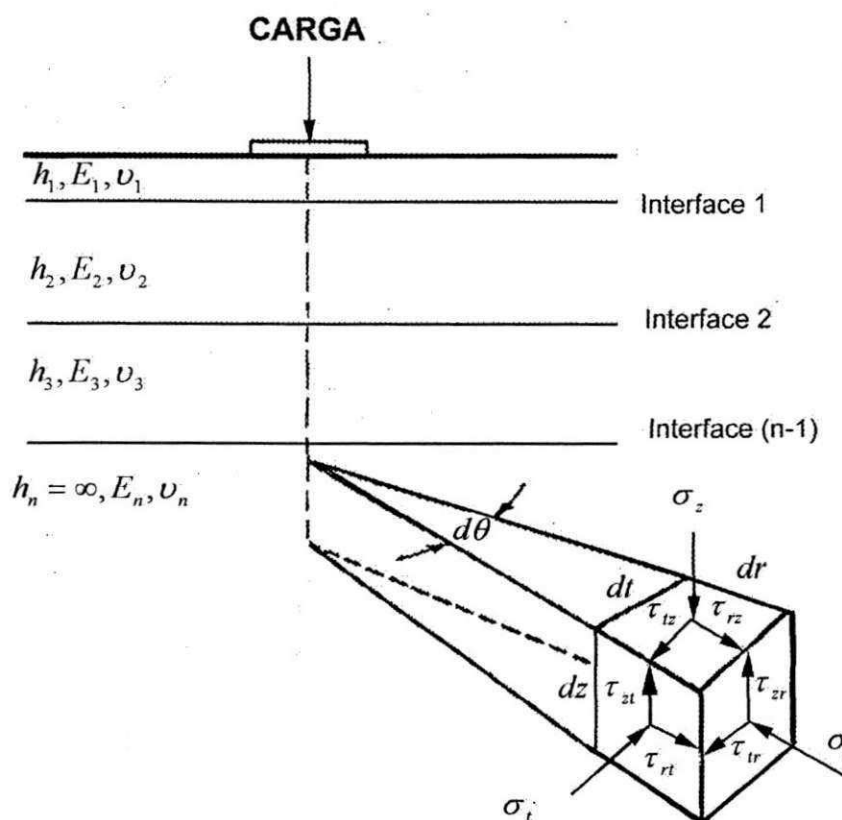


Figura 2.9 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)

Os procedimentos "racional" dependem de uma correlação entre as respostas do pavimento a partir do uso de conceitos de camadas elásticas e/ou elementos finitos e seu comportamento real. Equações são usadas para relacionar as solicitações impostas pelo tráfego com as deformações, trincas ou rupturas resultantes. Exemplos de modelos recentemente desenvolvidos são os da Shell Oil Company, Mobil Oil Company e o do The Asphalt Institute.

O manual de dimensionamento da AASHTO lista os benefícios do uso correto da aplicação do procedimento racional:

- melhor confiabilidade no dimensionamento;
- a habilidade em prever tipos específicos de deformações;
- a habilidade de extrapolar os resultados do campo e do laboratório.

Para o dimensionamento de um pavimento, existem vários métodos, esses são adotados de acordo com o tipo de pavimento, a seguir, de forma sucinta, descreveremos o surgimento e o desenvolvimento de alguns métodos denominados racionais.

Ao longo dos anos, engenheiros e pesquisadores usando diferentes níveis de sofisticação, têm aplicado os processos de análise racional de pavimentos. *Boussinesq* foi um dos primeiros pesquisadores que formulou equações para o cálculo de tensões e deformações em um meio semi-infinito, elástico-linear, homogêneo e isotrópico, solicitado por uma carga pontual.

Enquanto as equações de *Boussinesq* representam uma solução elástica para um sistema de uma camada, *Burmister* (1943,1945) desenvolveu soluções para duas camadas e para sistemas de três camadas, que avançaram consideravelmente na análise racional do pavimento.

Na formulação da teoria da elasticidade para um material isotrópico com uma carga bidimensional, assume-se: equilíbrio; compatibilidade entre deformação normal e de cisalhamento. Tensão e deformação são relacionadas de acordo com a *lei de Hooke*.

Segundo HILDEBRAND (2002), atualmente pode-se classificar os modelos racionais em dois: métodos tradicionais e métodos propostos ou *Traditional Mechanistic Design Method and Future Pavement Design Method*. Os métodos tradicionais podem ser divididos em três etapas: entrada, estimativa da vida útil prevista do pavimento, e estimativa da deterioração.

Os dados de entrada são informações sobre espessura das camadas, propriedades dos materiais (módulo de Young, coeficiente de Poisson, densidade) e configurações de carga.

$$ESAL = \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^n$$

(2.11)

Sendo:

$n = 4,0$ a $4,5$

p = carga atual do eixo

p_{ref} = carga de referência (geralmente 8,0 ou 9,0 toneladas)

A vida útil prevista, (N_t)

A partir de dados sobre vida útil do pavimento, modelos tipo resposta são usados para calcular estados críticos de deformações como a horizontal e vertical, entre o revestimento e a base, e normais ao topo do subleito, respectivamente.

Vários pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos, relacionando o número de aplicações de carga e deformações, para estudar o fenômeno da trinca por fadiga. YANG (1988) sugere como causa da deformação permanente a densificação causada por deformação de cisalhamento do material do subleito.

Um parâmetro ou critério de ruptura pode ser descrito pela relação entre a resposta do pavimento e o seu desempenho. Os critérios de trinca por fadiga e por deformação permanente podem ser utilizados para estabelecer níveis aceitáveis de deformação a partir da seguinte formulação:

$$\varepsilon = K \left(\frac{N_f}{10^6} \right)^{-1/a} \left(\frac{E}{E_{ref}} \right)^b$$

(2.12)

Sendo:

ε = deformação admissível;

K, a e b = constantes;

N_f = número de aplicações de carga para ruptura do revestimento;

E = rigidez do material.

Estimativa da deterioração (D)

A Estimativa da deterioração (D) pode ser obtida através da seguinte fórmula:

$$D = \sum_i \left(\sum_j \frac{n_{i,j}}{N_f} \right)$$

(2.13)

Sendo:

n - tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda;

N_f - tráfego previsto;

i - estação;

j - configuração de carga do eixo de roda.

A Figura 2.10 ilustra a seqüência lógica do modelo de dimensionamento racional segundo NCHRP (1999).



Figura 2.10 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).

Em pesquisas realizadas entre 1996 e 1999, a partir de informações de pavimentos da Europa e da América do Norte, COST 333 (1999) sugere que os métodos de projetos de pavimentos podem ter sua seqüência lógica segundo a ilustrada na Figura 2.11.

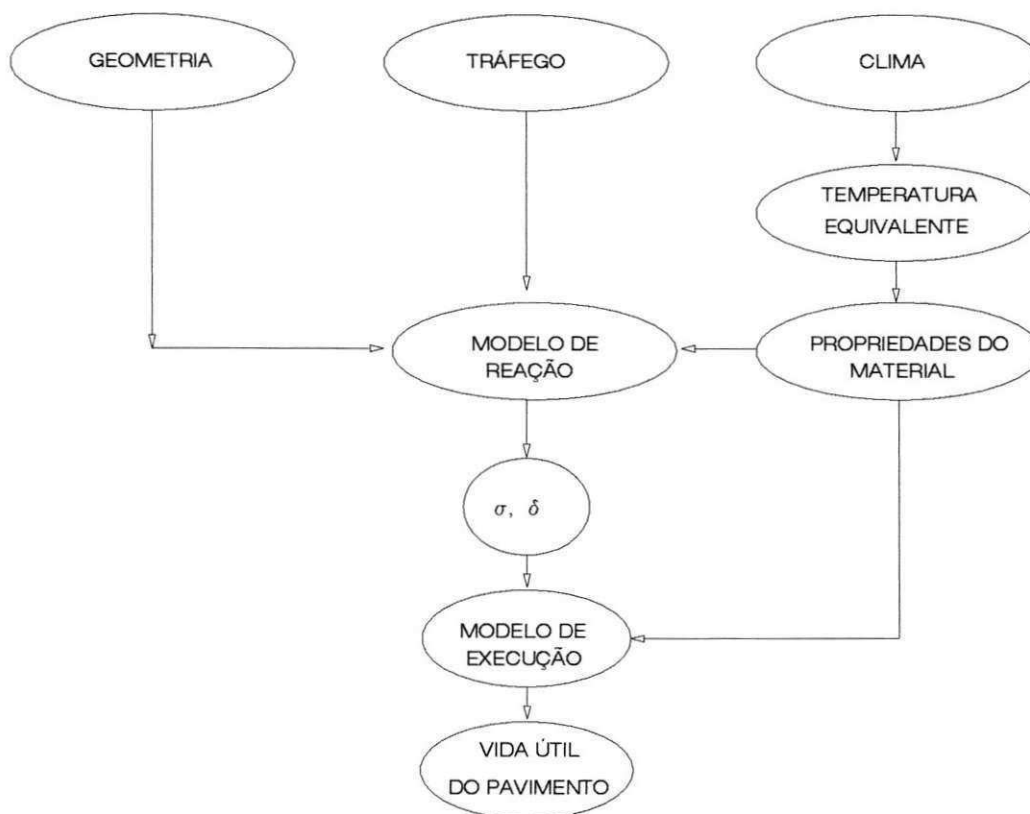


Figura 2.11 – Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

COST 333 (1999) sugere um método com incremento consistindo de modelos integrados por diferentes tipos de solicitações. Este modelo considera, entre outros, as propriedades físicas dos materiais como sendo não lineares variando com o tempo, e como consequência dos efeitos do meio ambiente ou cargas do tráfego (Figura 2.12).

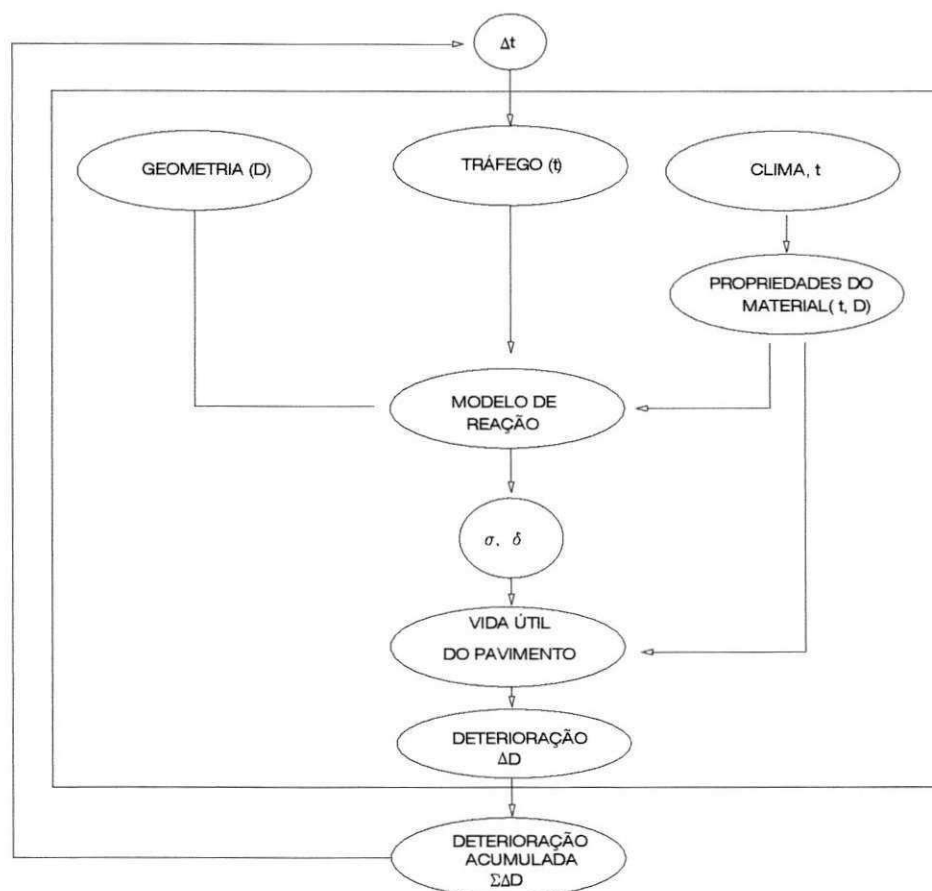


Figura 2.12 – Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

A seguir serão descritos alguns métodos racionais de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.5.1 - Método das espessuras equivalentes

Uma extensão da teoria de *Boussinesq*, para sistemas de múltiplas camadas, foi apresentado por *Odemark* (1949). Seu método é baseado no conceito de espessuras equivalentes, um conceito que foi apresentado na literatura a muito tempo atrás. Usando este procedimento as espessuras de todas as camadas acima do subleito são substituídas por uma espessura equivalente (H_{eq}) de material com as propriedades do subleito (*SEVERI et al*, 1998).

O método das espessuras equivalentes preconiza que a tensão e a deformação que ocorrem em uma camada dependem apenas da rigidez da mesma.

2.1.5.2 - Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos pode ser usado para análise da tensão, deformação e deslocamento na estrutura do pavimento. A sua vantagem é que se admite um modelo do pavimento responsável pela carga

dinâmica e estática para diferentes estruturas geométricas, as quais podem incluir considerações sobre trincas. É um método numérico o qual não fornece uma solução exata e os modelos de material são baseados na mecânica do contínuo, assim a validade junto aos dados reais são necessários.

Segundo MEDINA (1997), no método dos elementos finitos – MEF – o meio contínuo é dividido em elementos fictícios de dimensões finitas ligados entre si por pontos nodais que se assimilam a articulações sem atrito. Na Figura 2.13 é lustrada a malha de elementos quadrangulares.

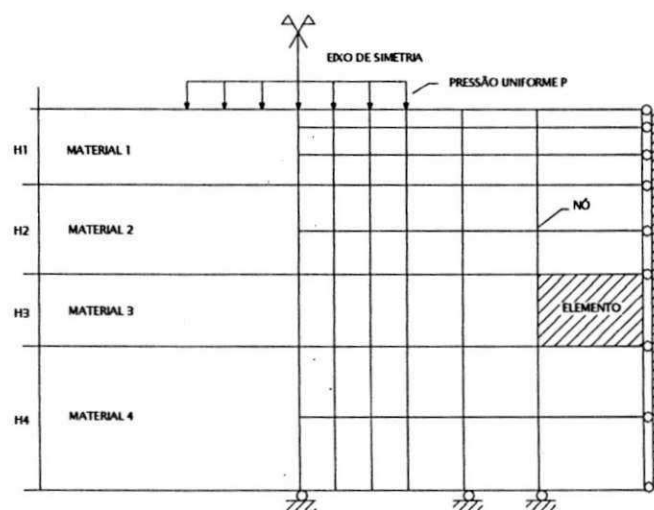


Figura 2.13 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)

A última camada nem sempre pode ser considerada semi-infinita. Se o subleito é pouco deformável deve-se simulá-lo por meio de uma fronteira indeformável por uma camada de rigidez elevada a uma profundidade adequada.

Aplica-se a teoria da elasticidade para obter a relação entre as forças e os deslocamentos nodais de cada elemento, e a partir destes, os deslocamentos no seu interior. Calcula-se a matriz de rigidez de cada elemento: $[K^e]$; os elementos ligam-se pelas faces ou lados. Desenvolve-se uma matriz de rigidez global da estrutura: $[K]$.

Tem-se o sistema de equações simultâneas: $\{F\} = [K] \{\delta\}$, onde o primeiro membro é um vetor tensão; resolvido o sistema, tem-se os deslocamentos nodais. O programa gera automaticamente uma malha e acolhe os módulos dependentes ou não das tensões. As deformações (específicas) são as derivadas primeiras dos deslocamentos, e as tensões relacionam-se às deformações: $\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\}$, onde $[D]$ é a matriz que contém as características do material. Na prática este é um valor do módulo de elasticidade que, se não for linear, dependerá do estado de tensões. O módulo de resiliência ou de "elasticidade" é obtido em ensaios de cargas repetidas.

2.1.5.3 - Métodos das diferenças finitas

O método das diferenças finitas é utilizado para solucionar problemas de valores no contorno em equações diferenciais ordinárias; as derivadas das equações diferenciais se calculam por meio de fórmulas aproximadas, numa série de pontos no domínio de integração no problema. Obtém-se um sistema de equações algébricas que permite calcular as incógnitas nos pontos escolhidos. Aumentando-se o número de pontos as soluções se aproximaram da solução exata. Tem-se a solução discreta do problema nos pontos considerados. A superposição dos efeitos causados por várias rodas é correta para o cálculo dos deslocamentos, mas, aproximada para as tensões. Consideram-se as camadas homogêneas, isotrópicas e horizontalmente infinitas, sendo o subleito um meio semi-infinito (MEDINA, 1997).

2.1.5.4 - Método dos elementos distintos

São utilizados nesse método programas de computador desenvolvidos para esse tipo de análise, o programa 'BALL' é um programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark.

A vantagem deste método é a habilidade de modelar realisticamente materiais do pavimento, tendo na memória a distribuição granulométrica, o tamanho das partículas e sua angularidade, o grau de compactação, a rigidez, o coeficiente de atrito dos grãos e a coesão entre as partículas.

O programa calcula o movimento de partículas distintos em incrementos de tempo baseados nas forças atuantes em cada partícula.

2.2 - DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

2.2.1 - Generalidades

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves, devendo apresentar um bom desempenho, sendo estáveis e resistentes às intempéries.

Existem diferenças entre os pavimentos de aeroportos e os pavimentos rodoviários, sendo estas quanto as suas características físicas e geométricas das solicitações dos veículos, cargas mais pesadas e menor número de solicitações que ocorrem nas pistas dos aeródromos (MEDINA,1997). Podem-se observar essas diferenças através da Tabela 2.1.

Segundo HORONJEFF (1966), em experiências realizadas entre 1928 e 1942 pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia, em pavimentos, forneceram elementos para o estabelecimento da relação empírica entre os valores do CBR e espessuras, ilustradas na Figura 2.14. A curva "B" da figura, indicava a espessura mínima para um pavimento destinado a tráfego leve, e a curva "A" indicava a espessura necessária para tráfego rodoviário em condições médias. Análise subsequente dos elementos que serviram para a determinação das duas curvas revelou que a curva "A" era a mais segura, sendo razoável admitir ser a mesma representativa da carga de 4000kg transmitida por roda de caminhão. Como os pneus de aeronaves sofrem deformações muito maiores que as dos pneus de caminhões e porque o tráfego rodoviário é muito mais canalizado, foi aceita a equivalência entre as cargas de 4000kg por roda de caminhão e de 5400kg por roda da aeronave. Por isso admitiu-se a curva "A", na época, como representativa da carga de 5400kg por roda de aeronave.

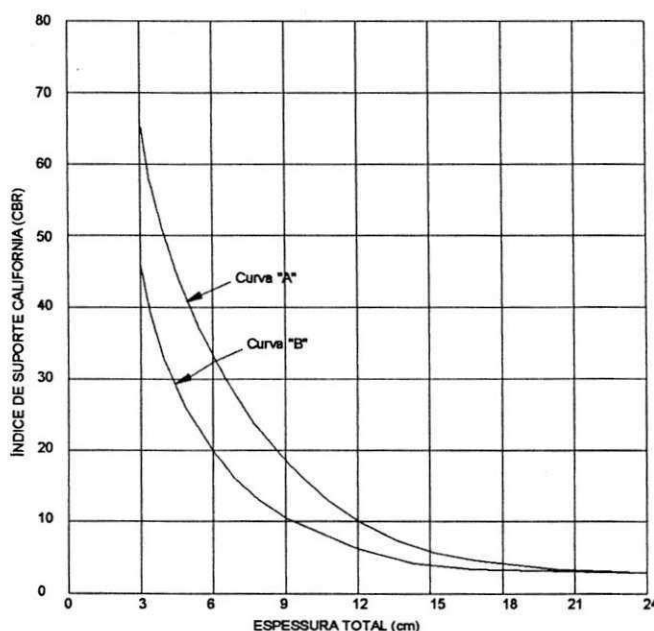
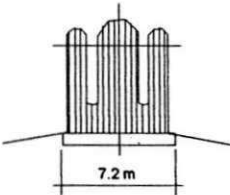
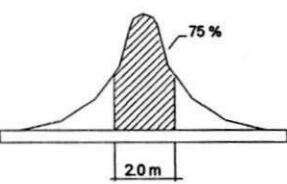

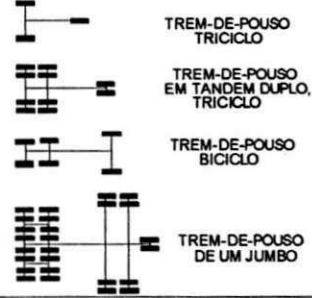


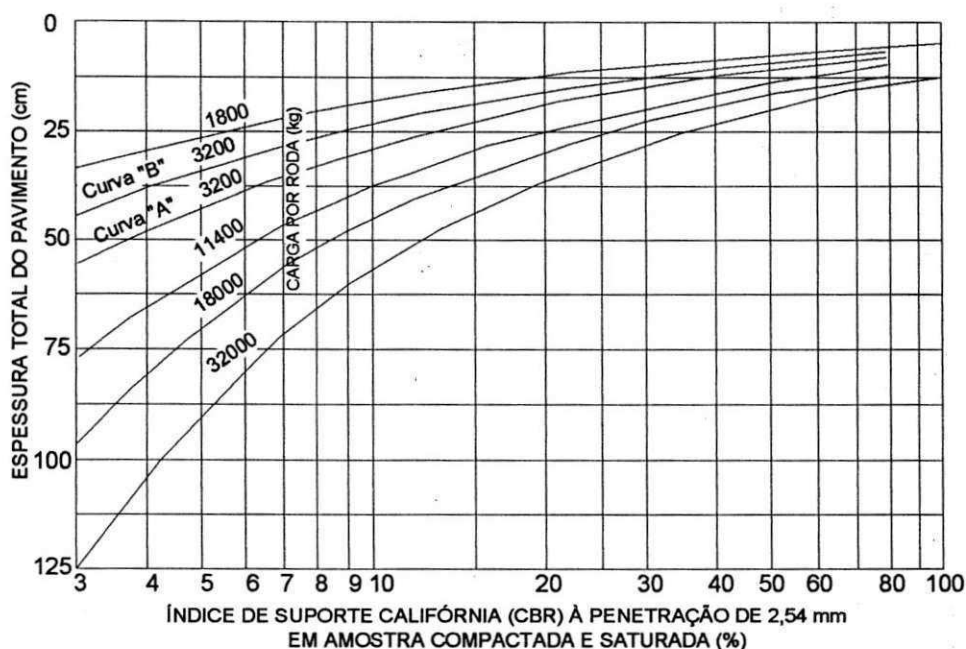
Figura 2.14– Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Tabela 2.1 – Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).

CARACTERÍSTICAS	RODOVIAS	AERÓDROMOS
LARGURA DAS PISTAS	7 a 10 m	20 a 50 m (táxis. 10 a 25 m)
COMPRIMENTO	VÁRIOS QUILOMETROS	ATÉ CERCA DE 3000 m
CARGAS	10 tf POR EIXO, VEÍCULO 45 tf MÁXIMO	100 tf OU MAIS POR TREM-DE-POUSO PRINCIPAL, AVIÕES DE ATÉ 400 tf
FREQUÊNCIA DE REPETIÇÃO DE CARGAS	POR EXEMPLO: 2000 POR DIA. VÁRIOS MILHÕES NA VIDA DE SERVIÇO (O EFEITO DA FADIGA DOS MATERIAIS DE PAVIMENTO É IMPORTANTE)	PEQUENA, POR DIA: 50 A 100, MENOS DE 100.000 NA VIDA DE SERVIÇO
PRESSÃO DOS PNEUS	1,5 A 6 kf / cm ² (0,15 a 0,60 MPa)	10 A 30 kf / cm ² (1,0 a 3,0 MPa)
DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DE CARGAS NAS PISTAS		
DISTÂNCIA DE DRENAGEM	PEQUENA (3m)	GRANDE (10 a 50 m)
IMPACTO DO VEÍCULO NO PAVIMENTO	PEQUENO	GRANDE NO POUSO, PORÉM MINORADO PELA SUSTENTAÇÃO E AMORTECIMENTO
AÇÃO DE CARGA DINÂMICA (VIBRAÇÕES) DE VEÍCULOS PARADOS	NÃO CONSIDERADA	É IMPORTANTE NAS CABECEIRAS DAS PISTAS NA DECOLAGEM E NAS PISTAS DE TÁXI
AÇÃO DE FRENAGEM E ACELERAÇÃO	NÃO É RELEVANTE; NAS RUAS, SIM, NOS SINAIS LUMINOSOS (SEMÁFOROS) PARADA DE ÔNIBUS	IMPACTO QUANDO DO ACIONAMENTO DOS MOTORES COM AS RODAS DE TREM-DE-POUSO TRAVADAS ANTES DA DECOLAGEM
GEOMETRIA DE RODAS	 <p>CAMINHÃO LEVE</p> <p>CAMINHÃO PESADO</p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE</p>	 <p>TREM-DE-POUSO TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO EM TANDEM DUPLO, TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO BICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO DE UM JUMBO</p>

Ainda segundo o autor, na época em que o método CBR foi adotado pelo Corpo de Engenheiros, as pressões dos pneus das aeronaves eram da ordem de 4,2 kg/cm², e as cargas de rodas simples variavam de 11000kg a 30000kg. Ao mesmo tempo que se procedia o estudo teórico, iniciou-se um programa de pesquisas que exigiu a construção de trechos de pavimentos experimentais. Os resultados revelaram que as curvas estabelecidas

pelas considerações teóricas pareciam fornecer espessuras excessivas para os CBR de maior valor e insuficientes para as cargas móveis mais elevadas em CBR baixos. Por isso as curvas básicas mencionadas anteriormente foram ajustadas aos resultados das pesquisas experimentais (Figura 2.15).



Figuras 2.15 – Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Até o surgimento do B-29, que possuía trem de pouso com pernas principais com duas rodas, tratava-se apenas de cargas transmitidas por rodas simples, pois até certa época, mesmo os mais pesados bombardeiros eram dotados de trens de pouso deste tipo. Somente a partir da Segunda Guerra Mundial, entrou em serviço o bombardeiro B-29, tornando-se indispensável à análise dos efeitos das rodas duplas sobre a espessura dos pavimentos, bem como a preparação de gráficos de dimensionamento apropriados ao novo tipo de trem de pouso.

Para estabelecer uma equivalência entre rodas simples e duplas, admitiu-se que um conjunto de rodas duplas que determina no subleito tensões e deformações iguais às determinadas por uma roda simples, necessita da mesma espessura de pavimento que esta última. Assim, o problema do preparo de gráficos de dimensionamento para o B-29 exigia a fixação para cada roda da espessura até a qual cada roda atuava no subleito como unidade independente e a fixação da espessura a partir da qual as duas rodas atuavam no subleito se fosse uma única. Foram calculadas pela teoria de *Boussinesq*, supondo um meio homogêneo, as tensões verticais e de cisalhamento determinadas a diversas profundidades, por uma roda simples de 13500 kg, por outra roda simples de 27000kg e pelas rodas de uma das pernas principais do trem de pouso do B-29, como ilustrada na Figura 2.16. Foram também comparados os recalques produzidos no subleito por rodas simples e duplas. A etapa

seguinte consistiu no estabelecimento de um gráfico de dimensionamento partindo dos dados acima, Figura 2.17, que é uma modificação das curvas de dimensionamento para rodas simples.

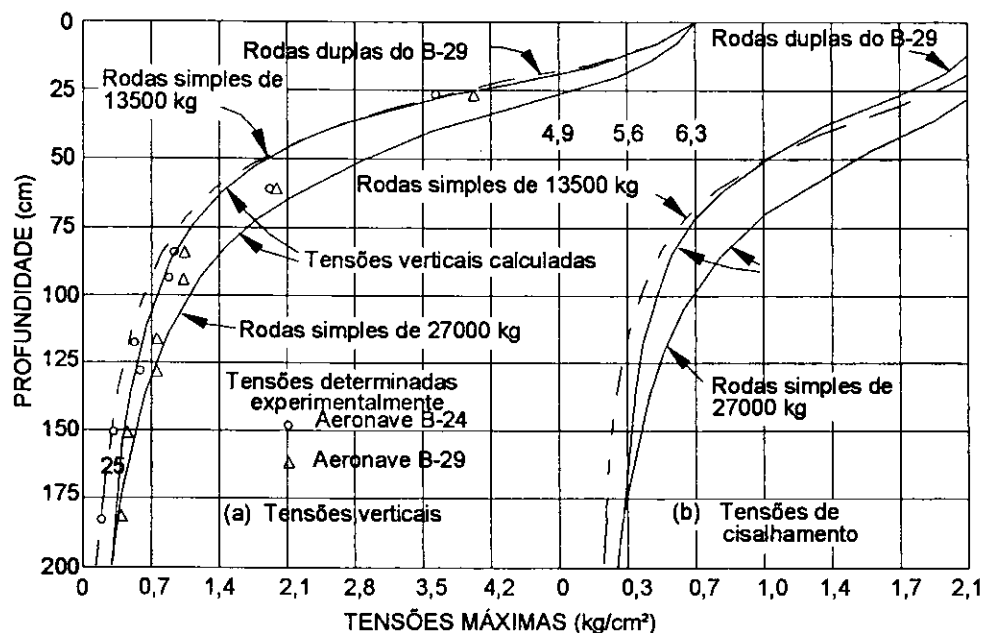
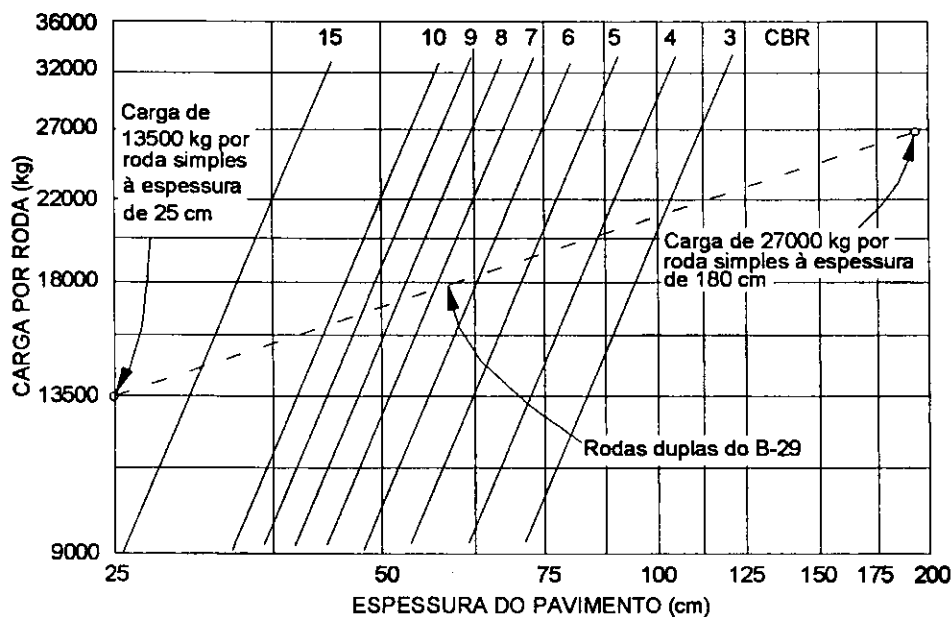


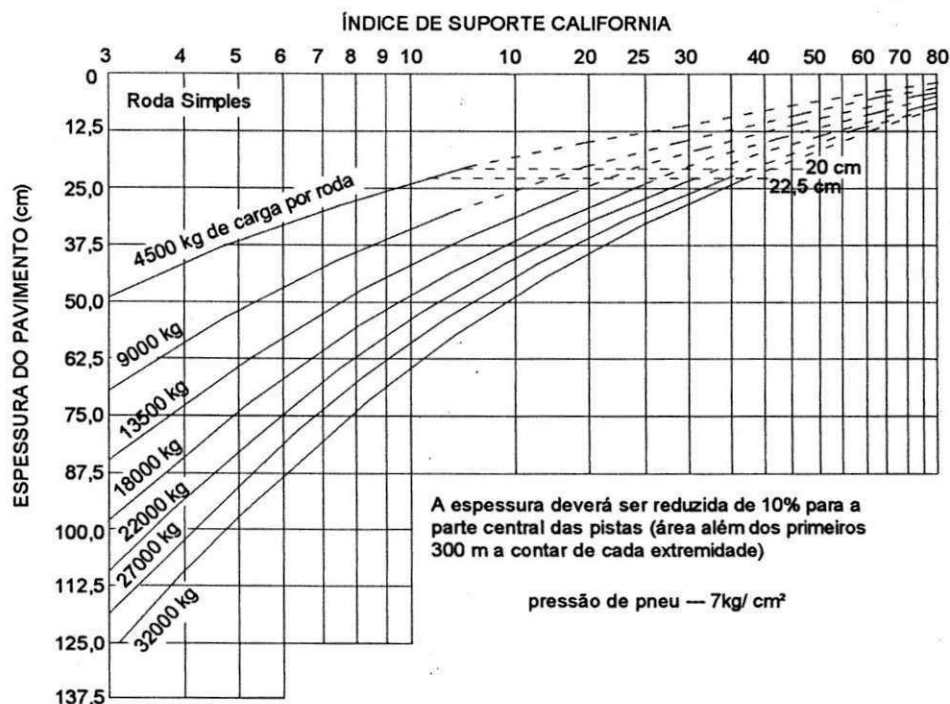
Figura 2.16 – Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.17 – Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Para aplicação do método do CBR adaptado para o dimensionamento de pavimentos de aeroportos, foram preparados gráficos como ilustrado na Figura 2.18, para o dimensionamento de pavimentos para aeronaves Douglas, DC-8, Boeing 707 e Convair 880. As espessuras estimadas nesses gráficos referiam-se as pistas de

rolamento e aos primeiros 300 m a contar de cada extremidade das pistas. Para a parte central das pistas, além dos 300 m, a espessura fornecida pelos gráficos poderia ser reduzida em 10% (HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.18— Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Constata-se, com a evolução do método de dimensionamento de CBR para pavimentos aeroportuários descrita acima, a necessidade do conhecimento das características das aeronaves, como: seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, estudos sobre materiais, entre outros.

A seguir serão descritos alguns conceitos básicos sobre equipamentos de aeronaves, variáveis e métodos de dimensionamento essenciais ao dimensionamento dos pavimentos de aeroportos.

2.2.2 - Aeronaves

Segundo PAIVA E PEIXOTO (2003), as aeronaves civis podem ser classificadas em aeronaves da aviação geral ou da categoria transporte. As aeronaves da aviação geral apresentam peso que varia até 15 tf e podem, no caso das menores, do tipo monomotoras à pistão, utilizar aeródromos com extensão a partir de, tipicamente, 600 m e operar em piso de revestimento primário ou até sobre superfície gramada, tal como se pode operar o antigo modelo P-56C/Neiva.

Para os autores as aeronaves da aviação geral, contudo, apresentam ampla faixa de modelos, desde os de tração monomotor do tipo a pistão, como de impulsão do tipo turbo-fan, que equipam aeronaves como o B-737 – “séries”, ideal para as aeronaves da categoria transporte atuais, devido ao ruído reduzido e economia de combustível relativamente às turbinas tipo turbo-jato. Em função de porte e variação da relação peso por

potência, há elevada amplitude de comprimentos de pistas de pouso e de decolagem para operar bem como combustíveis distintos, da gasolina verde, para aeronaves à pistão ao querosene do tipo aeronáutico, como o *Jet A-1*, para aeronaves à turbina.

As aeronaves da categoria transporte apresentam peso variando entre, aproximadamente, 15 tf a 370 tf, bem como porte externo que varia em ampla faixa, com envergaduras até 70 m aproximadamente, ou capacidade interna de 20 passageiros aproximadamente, como a capacidade do Bandeirante da EMBRAER a até 560 passageiros para uma das versões do B-747-300/400.

Na Tabela 2.2 estão ilustrados exemplos de características físicas típicas comparadas de três aeronaves da categoria transporte, o ERJ 145 da EMBRAER, o B-737-600 da BOEING e B747-300 da Boeing, em termos de envergadura, comprimento, peso máximo de decolagem, tração, capacidade em termos de passageiros e comprimento de pista de pouso e de decolagem em condições padronizadas.

O comprimento de pista de pouso e de decolagem foi respectivamente anotado, em condições padronizadas, pelo FAR *Federal Aviation Regulations* e pela ISA, *International Standard Atmosphere*.

**Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600
(PAIVA E PEIXOTO, 2003).**

AERONAVE	ENVERGADURA	COMPRIMENTO	MÁXIMO PESO ESTRUTURAL NA DECOLAGEM	TIPO E NÚMERO DE TURBINAS	CARGA PAGA (PASSAGEIROS)	COMPRIMENTO DE PISTA
ERI-145	20,04 m	29,87 m	20.600kgf	2 ALLISON AE 3007 A TURBOFANS	50 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.720 m (FAR 25, ISA)
B-737-600	34,32 m	31,25 m	65.560kgf	2 TURBO-FANS CFM56- 7818	130 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.700 m (ISA; FLAPS:10°)
B-747-300	59,64 m	68,6 m	377.800kgf	4TURBO-FANS JT9D- 7R4G2	565 ASSENTOS (INCLUSOS 30 ASSENTOS NA 1ª CLASSE)	3.300 m (FAR; ISA)

Essas aeronaves foram selecionadas em função de aspectos econômicos contemporâneos do transporte aéreo, onde se subentende ideal, na aviação categoria transporte, o uso de aeronaves menores para que se tenha maior índice de aproveitamento de assentos oferecidos tal como se pode considerar para do B 737 da Boeing ou do ERJ 145 da EMBRAER e que, no caso específico desta última, pode-se ainda considerá-la como *feeder*, auxiliando no aumento de demanda de passageiros para aeronaves do tipo *wide bodies*, aeronaves de "corpo largo" com elevada capacidade em assentos, melhorando o desempenho financeiro destas a até viabilizar o seu uso em determinadas rotas (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.3 - Trem de pouso

Trem de pouso é o nome dado ao conjunto de sustentação da aeronave para a fase terrestre de suas etapas de vôo, é composto geralmente por bequilha ou perna de nariz e pelas pernas principais, tal como se apresenta na Figura 2.19 e na Figura 2.20.

O trem de pouso de uma aeronave destina-se à sua sustentação nos movimentos terrestres bem como durante sua permanência em rampa ou em decolagem no pátio ou em hangar. Durante o movimento terrestre da aeronave, o trem de pouso deve amortecer o impacto advindo do movimento vertical no pouso e os impactos inerentes do movimento a alta velocidade sobre o pavimento de pistas de pouso e de decolagem em função de irregularidade superficial, além de facilitar as manobras realizadas pela aeronave.

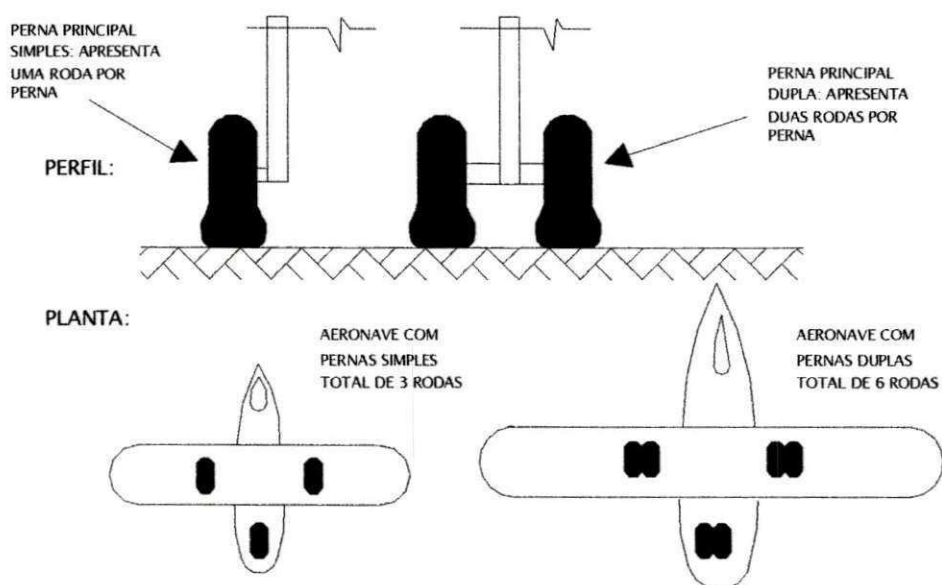


Figura 2.19 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).



Pernas principais –tandem duplo



Bequilha ou perna de nariz - dupla

Figura 2.20 - Trens de pouso típicos.

Segundo HORONJEFF (1966), para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários considera-se, geralmente, 95% do peso da aeronave sobre as pernas principais. Assim, essas definem o carregamento para projeto dos pavimentos aeroportuários. A fragilidade do trem de pouso de aeronaves pesadas impede o pouso com peso elevado, sendo, portanto, *o momento de decolagem tipicamente o crítico para efeito de projeto e a aeronave sob peso máximo.*

A Figura 2.21 ilustra para diferentes tipos de pernas principais sua geometria, relativos a trens de pouso desde pequenas aeronaves da aviação geral a aeronaves wide-bodies da aviação categoria transporte MEDINA (1997) e HORONJEFF (1966).

O trem de pouso distribui adequadamente a carga devida ao peso notavelmente elevado das aeronaves da categoria transporte para que a espessura dos pavimentos não seja exagerada bem como não comprometa a estabilidade do material superficial em função de elevadíssimo esforço de cisalhamento oriundo das cargas concentradas sobre o revestimento.

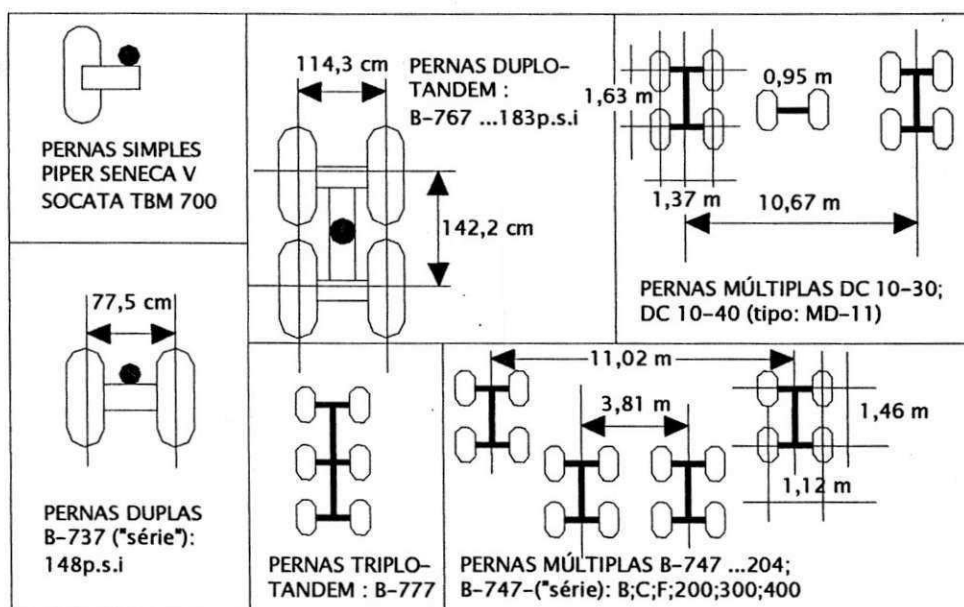


Figura 2.21 – Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos

Para que se possa projetar um pavimento de aeroporto, deve ser realizado um estudo do subleito e dos materiais a serem utilizados na pavimentação, sobre comportamento dos mesmos em função do tráfego e da aplicação de cargas e considerar as condições climáticas e de drenagem.

Em síntese, na escolha de um projeto de pavimentação, devem-se levar em conta alguns fatores, entre eles pode-se destacar: estudo dos solos, estudo do subleito, previsão do tráfego e drenagem.

2.2.4.1 - Estudo dos solos

O Estudo dos solos consiste no estudo geotécnico e econômico para aproveitamento de material existente e escolha do tipo de pavimento a ser adotado, se flexível ou rígido.

2.2.4.2 - Estudo do subleito

No estudo do subleito são realizados ensaios em laboratório para caracterização do material do subleito (granulometria e índices físicos), ensaio de compactação, CBR, sondagens para identificação das várias camadas e determinação da profundidade do lençol d'água.

2.2.4.3 - Previsão do tráfego

Para previsão do tráfego é elaborado um estudo sobre o volume de tráfego do aeroporto, suas partidas anuais bem como são classificadas as aeronaves.

2.2.4.4 - Condições climáticas

Sobre as condições climáticas são realizadas estimativas das temperaturas médias anuais.

2.2.4.5 - Drenagem

Para segurança das aeronaves e uma conservação melhor do pavimento, é indispensável definir um sistema adequado de drenagem das águas superficiais e subterrâneas.

2.3 - MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

Para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, podem-se destacar dois métodos:

- Método da FAA (Federal Aviation Administration);
- Método do Instituto do Asfalto – AI (Asphalt Institute).

2.3.1 - Método da FAA

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do congelamento das camadas, das cargas, tendo em vista o comportamento real do pavimento em serviço (HORONJEFF, 1966). Nesse método deve-se levar em consideração alguns fatores: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc.

2.3.1.1 - Investigação do solo

As informações dos vários tipos de solos são essenciais, e com isso, são necessárias investigações para obtenção da distribuição dos tipos de solo e suas propriedades físicas. Essas informações, combinadas com os dados de topografia e do clima da região, fornecem subsídios para o planejamento básico e o desenvolvimento lógico do dimensionamento do pavimento. A investigação das condições do solo de aeroportos sugeridas pela FAA inclui: inventário, amostragem, ensaios, aproveitamento, drenagem, custos.

Inventário

São estimados os arranjos das diferentes camadas do perfil do solo com relação à estrutura proposta sobre o subleito.

Amostragem

São coletadas amostras representativas das camadas do solo.

Ensaios

São realizados ensaios das amostras para estimativa das propriedades físicas e mecânicas dos vários materiais.

Aproveitamento

São sugeridos estudos sobre os possíveis aproveitamentos dos materiais para o uso na construção da estrutura do pavimento.

Drenagem

São sugeridos estudos do escoamento das águas superficiais e subterrâneas para que seja construído um sistema de drenagem adequado e que não ocorram danos ao pavimento.

Custos

A FAA evidencia que as condições do solo e o preço local dos materiais são itens importantes na elaboração do orçamento durante a fase de projeto do pavimento do aeroporto. O custo do movimento de terra, do lançamento do greide, está diretamente relacionado com o nível de dificuldade dos serviços de escavação e de compactação a serem executados.

2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves

No método de dimensionamento sugerido pela FAA alguns fatores, relacionados com o tipo de aeronave, são considerados essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

Peso máximo de decolagem

O método de dimensionamento baseia-se no peso bruto da aeronave. Para fins de projeto, o pavimento deve ser dimensionado para o peso máximo de decolagem da aeronave.

Tipo e geometria do trem de pouso

O tipo e a configuração do trem de pouso indica como o peso da aeronave está distribuído sobre o pavimento, o que configura em informação importante para quem o dimensiona. O tipo trem de pouso da aeronave pode ser classificado da seguinte forma:

- eixo simples (single gear aircraft);
- eixo duplo (dual gear aircraft);
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) entre os eixos das rodas;
 - aeronaves pesadas o espaço entre duas rodas é de 34 polegadas (0,86m)
- eixo tandem duplo;
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) e tandem de 45 polegadas (1,14m);

- aeronaves pesadas o espaço entre rodas é de 30 polegadas (0,76m) e entre tandem de 55 polegadas (1,40 m).

Pressão dos pneus

A pressão dos pneus varia entre 75 e 200 psi (516 a 1380kPa) dependendo do tipo de trem de pouso.

2.3.1.3 - Aeronave de projeto

Para o dimensionamento do pavimento a aeronave de projeto é aquela que requer a maior espessura do pavimento. Cada tipo de aeronave que constar na lista da previsão do número anual de decolagem, deverá ser avaliada. A aeronave de projeto deverá ser, necessariamente, a aeronave mais pesada.

2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto

O tráfego previsto é uma mistura dos vários tipos de aeronaves as quais possuem diferentes tipos de trem de pouso e diferentes pesos. Os efeitos do tráfego devem ser estimados em função da aeronave de projeto. Todas as aeronaves devem ser convertidas para o mesmo tipo de trem de pouso da aeronave de projeto, através do uso de fatores de conversão.

A estimativa e a projeção das partidas anuais de aeronaves são necessárias e essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento pelo método da FAA. O número equivalente de decolagens da aeronave de projeto denominado, R_1 , é estimado a partir da fórmula:

$$\text{Log}R_1 = \text{log} R_2 \cdot \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$$

(2.14)

Sendo:

R_1 – número equivalente anual de operações da aeronave de projeto;

R_2 – número de operações da aeronave em questão;

W_1 – carga na roda da aeronave de projeto;

W_2 – carga na roda da aeronave em questão.

2.3.1.5 - Seções típicas

Os pavimentos de aeroporto são geralmente construídos em seções de largura uniforme. As pistas de rolamento podem ser construídas com seção transversal variável se for viável economicamente, ou seja, numa seção variável ocorre reduções na quantidade de material requerido para as camadas superiores da pista, entretanto a sua execução é complexa, o que poderá inviabilizar economicamente este tipo de estrutura. O projeto típico e o desenho das seções para pavimentos de seção variável são ilustrados na Figura 2.22.

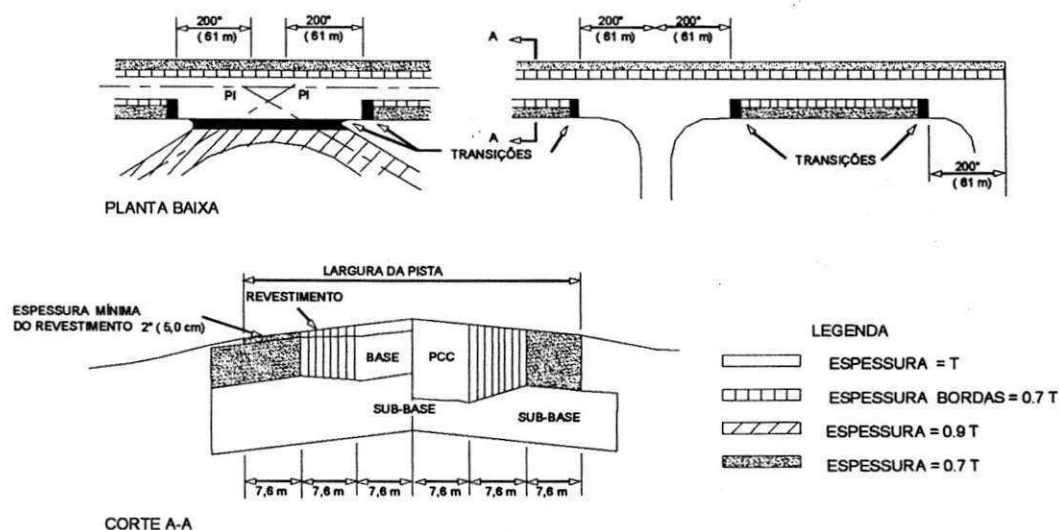


Figura 2.22- Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).

2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves

O método sugerido pela FAA utiliza o peso máximo da aeronave (gross weight) assumindo duas formas de cálculo para o dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

- para valores > 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves pesadas
- para valores < 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves leves

2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito

A estrutura do pavimento flexível a ser estimada é baseada no Índice de Suporte Califórnia, ISC ou CBR. Para o dimensionamento de pavimentos rígidos o parâmetro utilizado é o coeficiente de recalque, K, baseado da teoria de Westergaard.

A Figura 2.29 ilustra, de forma resumida, a seqüência lógica do processo de dimensionamento de pavimentos de aeroportos pelo método da FAA.

A seguir serão descritas as etapas, em detalhes, do dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis para aeronaves que possuem peso máximo maior e menor que 13000kg (30,000lb).

2.3.1.8 - Aeronaves pesadas

O dimensionamento de aeronaves pesadas pelo método da FAA é realizado para pavimentos rígidos e para pavimentos flexíveis. A seguir serão descritas essas duas formas de dimensionamento.

Pavimento rígido

Os pavimentos rígidos para aeroportos são compostos de estrutura, placa, em concreto de cimento Portland sobre uma sub-base granular ou tratada assente sobre o subleito. A superfície de concreto deve ser antiderrapante, impedir a infiltração de água e fornecer suporte estrutural.

A sub-base deve fornecer um suporte estável e uniforme para as placas. A espessura mínima de 4 pol (100mm) é exigida para a sub-base. O subleito deve ser compactado, com grau de compactação (GC), maior ou igual a 90% para solos coesivos é igual a 100% para solos não coesivos. Em seções de corte, igual a 100% nos primeiros 15 cm do topo e 95% nos 46 cm abaixo.

Para a estimativa da espessura da placa, utilizam-se curvas (Figura 2.23) onde é necessário, além da aeronave de projeto, estabelecer quatro parâmetros, a saber:

- resistência à tração na flexão do concreto;
- módulo de reação do subleito;
- peso máximo de decolagem;
- numero equivalente de operações da aeronave de projeto (R_1).

A estimativa da espessura da placa é feita adotando-se a seguinte seqüência: Com o trem de pouso escolhido, entra-se com o valor da resistência a tração na flexão σ , em psi, traçando-se uma linha horizontal até interceptar o valor do módulo de reação do subleito, K; deste ponto traça-se uma linha vertical até o valor do peso máximo de decolagem, PMD; traça-se a partir daí uma linha horizontal até o valor das partidas anuais, R_1 , encontrando-se o valor da espessura da placa em polegadas. A Figura 2.24 ilustra a chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

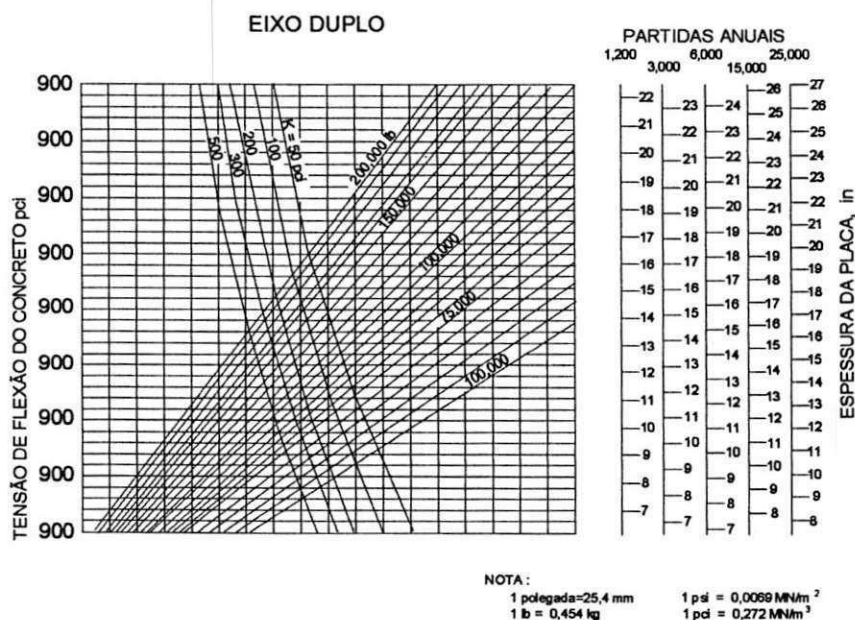


Figura 2.23 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).

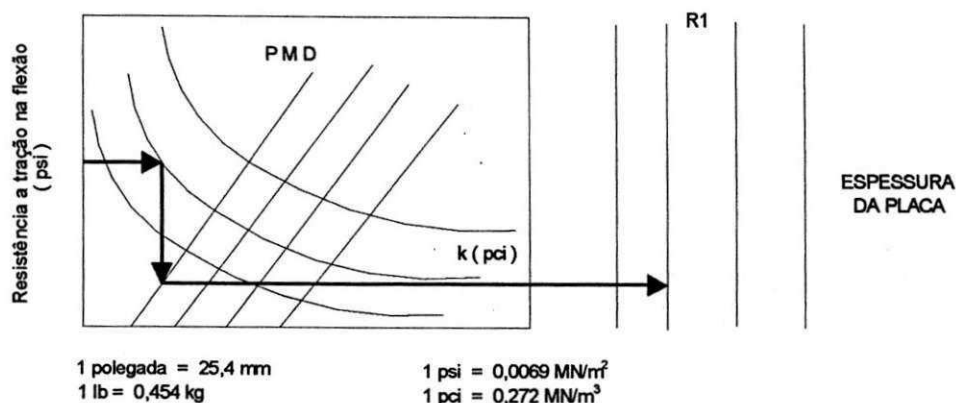


Figura 2.24- Chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

Assim, determina-se o valor da espessura da placa para áreas críticas. Para áreas não críticas pode-se adotar o valor da espessura da placa = $0,9 T$, onde T é a espessura encontrada nas curvas.

Juntas

As juntas são colocadas nos pavimentos de concreto, para permitir a dilatação e a contração das placas, aliviando assim as tensões de empenamento e de atrito, e para facilitar a construção. Existem três tipos de juntas: juntas de dilatação, de contração e de construção.

Juntas de dilatação

As juntas de dilatação têm como principal função proporcionar espaço para a dilatação do pavimento, impedindo assim o aparecimento de tensões de compressão muito elevadas, que poderiam empenar o pavimento.

Juntas de contração

As juntas de contração são conhecidas também como juntas de seção enfraquecida, tendo a função de aliviar as tensões de tração devidas as variações de temperatura, umidade e atrito, controlando desse modo trincas espalhadas pela superfície do pavimento. São moldadas durante a construção ou serradas após o endurecimento do concreto. O espaçamento entre esse tipo de junta é entre 4,5 m e 6,0 m, podendo estender-se aos 7,5 m.

Juntas de construção

As juntas de construção são necessárias para facilitar a construção. Seu espaçamento depende da largura do pavimento, geralmente não excedendo 7,5 m.

Todas as juntas devem ser vedadas com material que impeça a infiltração de água e a penetração de poeira. A Figura 2.25 ilustra os diversos tipos de juntas.

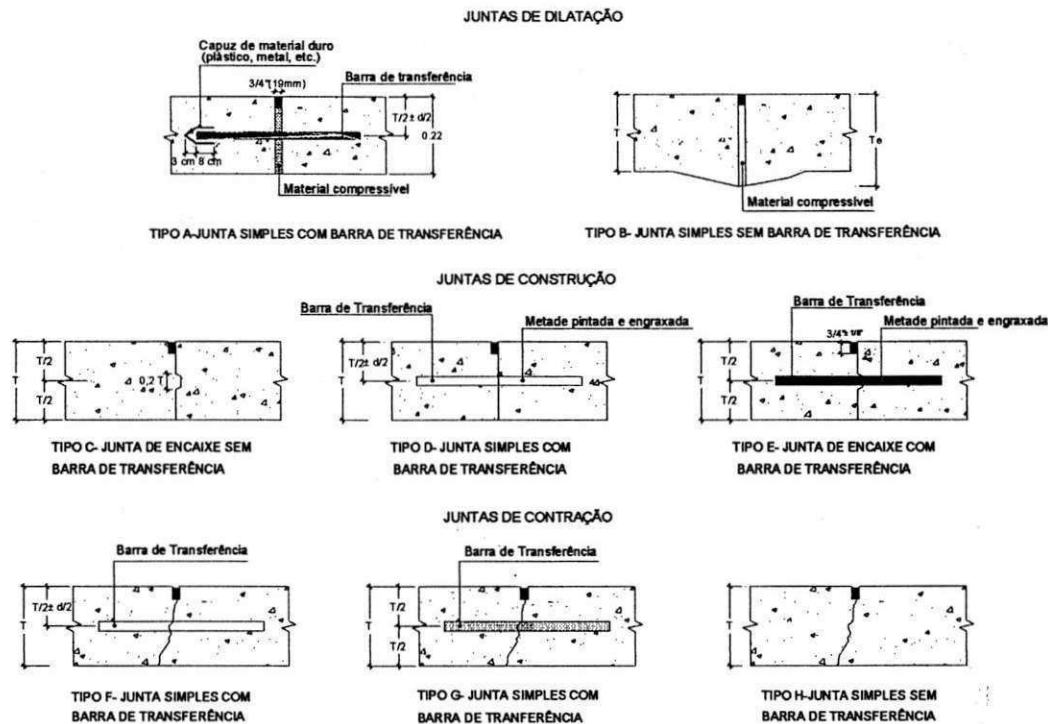


Figura 2.25 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)

Exemplo de dimensionamento de um pavimento rígido

Dados:

Aeronave com PMD = 350000lb (160.000 kg);

Eixo duplo;

$R_1 = 6000$;

$K = 100 \text{ pci}$ (25 MN/m^3);

Drenagem deficiente;

Penetração do degelo de 18 " (460 mm);

Pista principal requerendo 100% de proteção contra degelo;

Classificação do subleito: CL;

Resistência à tração na flexão = 650 psi (4,5 Mpa).

Estimativa de K no topo da sub-base

Com o valor da espessura da sub-base e o coeficiente de recalque do subleito, $K = 100 \text{ pci}$, estima-se o valor do K no topo da sub-base, sendo $K = 210 \text{ pci}$ (57 MN/m^3).

Estimativa da espessura da placa

Nas curvas da Figura 2.23, para o tipo de trem de pouso adequado, entra-se com o valor da resistência à tração na flexão de 650 psi, traça-se uma linha horizontal até o valor de $K = 210 \text{ pci}$, e a partir deste ponto traça-se uma linha vertical até o PMD = 350000lb.

Do ponto de interseção traça-se uma nova horizontal até o valor de $R_1 = 6000$, e encontra-se o valor estimado para a espessura da placa de 16,6 " (422 mm) \approx 17 " (430 mm).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO DE
JOÃO PESSOA**

por _____

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

Campina Grande – Paraíba

Maio de 2004

Luciana Pimentel Jordão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. Doutor. John Kennedy Guedes Rodrigues

Orientador

Campina Grande, maio de 2004



J 82a Jordão, Luciana Pimentel

2004 Avaliação Estrutural das pistas de Pouso e Decolagem, Pátios e Acessos do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa / Luciana Pimentel Jordão. – Campina Grande: UFCEG, 2004.

114p. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFCEG/CCT/DEC

Inclui bibliografia.

1. Aeroportos 2. Avaliação 3. Pavimentos I.Título

CDU: 625.717: 624.13

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Manassés e Soraya, pelo apoio, incentivo e compreensão sempre presentes, expressão do amor que por eles me foi legado durante toda a minha formação.

Aos meus e meus irmãos, Heitor Hugo e Guilherme pelo apoio e estímulo em todas as horas.

Ao meu noivo Fábio, pela força constante, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo.

Ao Professor John Kennedy Guedes Rodrigues, pela orientação, compreensão, dedicação e paciência, pessoa fundamental para realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG pela base científica necessária para realização deste trabalho.

Aos Professores Edmar Brasileiro e Raimundo Leidimar Bezerra, pelo incentivo.

A ATECEL[®] – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior.

A INFRAERO - Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária.

Aos funcionários da área de geotecnia, em especial a Josenira, pela dedicação.

Aos meus avós, Mário, Lucrécia e Liquinha, pela fé em mim depositada.

Aos meus tios e primos, em especial a Marinho, Tânia e Raquel, pelo apoio constante.

Aos colegas e amigos do curso de Pós-Graduação, em especial a Albanise, Adriano Lucena, Giselle e Simone, com os quais dividi momentos inesquecíveis.

Aos amigos, Rose, Sidicley, Adriana, Alessandro, Maristela, e Ricardo, pela afetuosa amizade e estímulo dado.

Agradeço também aos colegas e amigos, Ádney, Arnaldo, Edson, Gladstone e Pedro que me ajudaram na fase de impressão deste trabalho.

Finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM,
PÁTIOS E ACESSOS DO AEROPORTO PRESIDENTE CASTRO PINTO
DE JOÃO PESSOA**


Luciana Pimentel Jordão

Dissertação Defendida e Aprovada em: 27 / 05 / 2004

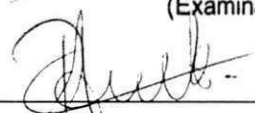
BANCA EXAMINADORA:



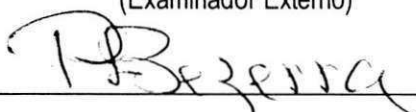
John Kennedy Guedes Rodrigues, D.Sc. - UFCG
(Orientador)



Sérgio Henrique Demarchi, D.Sc. - UEM
(Examinador Externo)



Ricardo Almeida de Melo, D.Sc. - UFPB
(Examinador Externo)



Raimundo Leidimar Bezerra, D.Sc. - ATECEL
(Examinador Externo)

Campina Grande - Paraíba

ÍNDICE

ÍNDICE	i
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Objetivo	3
1.3 - Organização do Trabalho	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 - Pavimento	5
2.1.1 - Constituintes de um pavimento	5
2.1.2 - Classificação dos pavimentos	5
2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos	6
2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos	7
2.1.4.1 - Método do CBR	7
2.1.4.2 - Método do DNER	7
2.1.4.3 - Método da AASHTO	7
2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos	9
2.1.5.1 - Método das Espessuras Equivalentes	19
2.1.5.2 - Método dos Elementos Finitos	19
2.1.5.3 - Métodos das Diferenças Finitas	20
2.1.5.4 - Método dos Elementos Distintos	21
2.2 - Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos	22
2.2.1 - Generalidades	22
2.2.2 - Aeronaves	26
2.2.3 - Trem de pouso	27
2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos	29

2.2.4.1 - Estudo dos solos	29
2.2.4.2 - Estudo do subleito	30
2.2.4.3 - Previsão do tráfego	30
2.2.4.4 - Condições climáticas	30
2.2.4.5 - Drenagem	30
2.3 - Métodos de Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos	30
2.3.1 - Método da FAA	30
2.3.1.1 - Investigação do solo	30
2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves	31
2.3.1.3 - Aeronave de projeto	32
2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto	32
2.3.1.5 - Seções típicas	32
2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves	33
2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito	33
2.3.1.8 - Aeronaves pesadas	33
2.3.1.9 - Aeronaves leves	42
2.3.2 - Método do Asphalt Institute	45
2.3.2.1 - Base teórica	45
2.3.2.2 - Condições ambientais	46
2.3.2.3 - Análise dos materiais	47
2.3.2.4 - Localização do projeto	49
2.3.2.5 - Análise do tráfego	49
2.3.2.6 - Análise entre tensão e deformação em um sistema de multicamadas	49
2.3.2.7 - Processo de dimensionamento	50
2.4 - Avaliação de Pavimentos	57
2.5 - Reabilitação de Pavimentos	58
2.5.1 - Método de Recapeamento da FAA	58
2.5.1.1 - Recapeamento Flexível sobre Flexível	59
2.5.1.2 - Recapeamento Flexível sobre Rígido	59
2.5.1.3 - Recapeamento Rígido sobre Rígido	61
2.5.1.4 - Recapeamento Rígido sobre Flexível	61
2.5.1.5 - Recapeamento Rígido sobre Rígido com camada de nivelamento	62
2.5.2 - Método de recapeamento do Asphalt Institute	62
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO	64
3.1 - Generalidades	64
3.1.1 - Localização do Aeroporto	64
3.1.2 - Caracterização	65

3.2 - Pavimentos existentes, Projeto de Reforço e ampliação	65
3.2.1 - Pavimentos existentes.....	65
3.2.1.1 - Pista de Pouso e Decolagem	66
3.2.1.2 - Pistas de Táxi	66
3.2.1.3 - Pátios e Estacionamento	66
3.2.2 - Projeto de Reforço e Ampliação	67
3.2.2.1 - Estudos operacionais.....	67
3.2.2.2 - Aeronave tipo	67
3.2.2.3 - Estudos topográficos.....	67
3.2.2.4 - Estudos geotécnicos	68
3.2.2.5 - Projeto de reforço e ampliação	68
3.2.3 - Dimensionamento	69
3.2.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	69
3.2.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (ampliação)	70
3.2.3.3 - Área III - Pista de Táxi (ampliação).....	70
3.2.3.4 - Área IV - Pátios 1 e Pátio 2	71
3.3 - Levantamentos Topográficos, Avaliação das Condições de Desempenho, Registros e Estudos Geotécnicos.	72
3.3.1 - Levantamentos Topográficos.....	72
3.3.2 - Avaliação das Condições de Superfície dos Pavimentos	72
3.3.2.1 - Registros.....	76
3.3.2.2 - Estudos geotécnicos.....	76
3.4 - Metodologia	78
3.4.1 - Divisão das Áreas	78
3.4.2 - Hipóteses de Trabalho	78
3.5 - Apresentação e Análise dos Resultados.....	79
3.5.1 - Sobre a Revisão da Literatura	79
3.5.2 - Dimensionamento a partir do Método da FAA.....	81
3.5.2.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	81
3.5.2.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	82
3.5.2.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	83
3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação).....	84
3.5.3 - Dimensionamento a partir do Método do Asphalt Institute	85
3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)	85
3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação).....	86
3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – Acessos (Ampliação)	87

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	89
4.1 - Conclusões.....	89
4.2 - Sugestões.....	90
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....	91
ANEXOS.....	95
ANEXO A.....	96
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Componentes de pavimento flexível	1
Figura 1.2 - Área de distribuição de pressões por pneus.....	2
Figura 1.3 - Deslocamentos em pavimentos flexíveis , quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).....	2
Figura 2.4 - Seção transversal de pavimento flexível.	6
Figura 2.5 - Seção transversal de pavimento rígido.....	6
Figura 2.6 - Forças e tensões internas aos sólidos.....	10
Figura 2.7 - Elemento de sólido e eixos principais	11
Figura 2.8 - Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido	12
Figura 2.9 - Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas	12
Figura 2.10 - Rotação de elemento retangular de sólido	13
Figura 2.11 - Elemento de volume sob a ação de tensões.....	13
Figura 2.12 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)	14
Figura 2.13 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).	17
Figura 2.14 - Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).	18
Figura 2.15 - Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999) .	19
Figura 2.16 - Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)	20
Figura 2.17- Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	22
Figura 2.18- Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	24
Figura 2.19 - Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	25
Figura 2.20 - Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).....	25
Figura 2.21- Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966)	26
Figura 2.22 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	28
Figura 2.23 - Trens de pouso típicos	28
Figura 2.24 - Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	29
Figura 2.25 - Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).....	33

Figura 2.26 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).	34
Figura 2.27 - Chave do nomograma para o dimensionamento da placa	35
Figura 2.28 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)	36
Figura 2.29 - Curvas para o dimensionamento da estrutura do pavimento flexível (FAA, 1995)	39
Figura 2.30 - Chave para o nomograma de dimensionamento da estrutura do pavimento flexível(FAA,1995)	39
Figura 2.31 - Chave para o Nomograma de dimensionamento do pavimento flexível	43
Figura 2.32 - Seqüência lógica para o dimensionamento de pavimentos pelo método da FAA	44
Figura 2.33 - Localização e direção das deformações de tração e de compressão num pavimento "Full-Depth Asphalt" (Asphalt Institute, 1987)	45
Figura 2.34 - Espessuras do concreto asfáltico em função do módulo de resiliência e tráfego para o critério de deformação E_c (Asphalt Institute, 1987)	46
Figura 2.35 - Relação aproximada entre o valor da prova de carga em placas e o módulo de resiliência (M_r) (Asphalt Institute, 1987).	47
Figura 2.36 - Curvas do N_a (tráfego admissível), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987)	50
Figura 2.37- Roteiro para o uso dos diagramas de tráfego equivalentes versus deformações (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.38 - Curvas do N_a (tráfego previsto), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).	52
Figura 2.39 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A (Asphalt Institute, 1987)	53
Figura 2.40 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_c	54
Figura 2.41 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_t	55
Figura 2.42 - Dimensionamento de um pavimento pelo método do Asphalt Institute.	56
Figura 2.43 - Estrutura de recapeamento de pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).	59
Figura 2.44 - Fator F versus módulo de reação do subleito (K) para diferentes níveis de tráfego (FAA, 1995)	60
Figura 2.45 - Valor de K para revestimentos existente de pavimentos flexíveis em CBUQ (FAA, 1995)	62
Figura 2.46 - Quadro para seleção da espessura de recape em CBUQ sobre pavimentos rígidos (Asphalt Institute, 1987)	63
Figura 3.1 - Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto (INFRAERO, 2004)	64
Figura 3.2 - Pavimento existente e pavimento ampliado -Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto -	66
Figura 3.3 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho recapeado	69
Figura 3.4 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado	70
Figura 3.5 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado da pista de táxi	71
Figura 3.6 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado do Pátio 1	71
Figura 3.7 - Cadastro da Cabeceira 34 do Aeroporto Castro Pinto (ATECEL/INFRAERO, 2002)	72
Figura 3.8 - Superfície avaliada – Pavimento flexível – Cabeceira 16 – Pista de Pouso e Decolagem	73
Figura 3.9 - Superfície avaliada – Pavimento rígido - Pátio 1	74
Figura 3.10 - Registro fotográfico digital de uma seção do pavimento para a avaliação das condições de superfície - Pátio	76

Figura 3.11 - Extração de corpo de prova do revestimento asfáltico com extratora rotativa diamantada – Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.12 - Extração de material a trado - Pista de pouso e decolagem.....	77
Figura 3.13 - Verificação de espessuras de placas e realização de ensaios de densidade “in situ”.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).....	23
Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600 (PAIVA E PEIXOTO, 2003).....	27
Tabela 2.3 - Espessura mínima da camada de base (FAA, 1995).....	40
Tabela 2.4 - Dimensões máximas de agregados (Asphalt Institute, 1987).....	48
Tabela 2.5 - Critérios mecânicos e físicos sugeridos pelo AI para escolha de misturas asfálticas de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	48
Tabela 2.6 - Critérios sugeridos pelo AI para a escolha dos materiais de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).	49
Tabela 2.7 - Tipos de aeronaves e valores de tráfego acumulado	51
Tabela 2.8 - Tráfego de aeronaves e espessuras equivalentes.....	51
Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa.....	88
Tabela 4.1 - Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Seções avaliadas – Pista de Pouso e Decolagem - Valor de Serventia Atual, Índice de Gravidade Global e Present Condition Index	75
Quadro 3.2 - Seções avaliadas Pátios 1 e 2 - Serventia Atual	75

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

γ	Ângulo de torção
ν	Coefficiente de Poisson
ε	Deformação
$\varepsilon_{01}, \varepsilon_{02}$	Deformações parciais
p	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5
β	Função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W)
σ	Tensão normal
τ	Tensão de cisalhamento
ΔPSI	Perda de serventia de dimensionamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Asphalt Institute
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHO	American Association of State Highway Officials
ATECEL®	Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
BALL	Programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark
C_r, C_b	Fator de condição do pavimento existente
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	Concreto betuminoso usinado à quente
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
[D]	Matriz que contém as características do material
D	Estimativa da deterioração
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DTN	Design Traffic Number

E	Rigidez do material
E	Módulo de elasticidade
E_t	Deformação de tração horizontal na base da camada de concreto asfáltico
E_c	Deformação de compressão vertical no topo do subleito
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
ESAL's	Equivalent Single Axle Loads
F_R	Fator de confiabilidade
F	Fator que controla o grau das fendas na base do pavimento rígido
{F}	Vetor tensão
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
G	Módulo de elasticidade transversal do sólido
GC	Grau de compactação
h_d	Espessura do pavimento rígido novo requerido pelas condições de projeto
h_e	Espessura do pavimento rígido existente
h_c	Espessura requerida do recapeamento de concreto
h_e	Espessura do pavimento existente
h	Espessura requerida para placa de concreto simples determinada pelas curvas
HMA	Hot Mix Asphalt
ISA	International Standard Atmosphere
IG	Índice de Grupo
IGG	Índice de Gravidade Global
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
K	Coefficiente de recalque
[K^e]	Matriz de rigidez de cada elemento
[K]	Matriz de rigidez global da estrutura
MEF	Método dos elementos finitos
M_r	Módulo de resiliência
N	Tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda
N_a	Tráfego admissível
N_p	Tráfego previsto
N_f	A Vida útil prevista do pavimento
PCI	Pavement Condition Index
PMD	Peso máximo de decolagem
PI	Poço de Inspeção
PMQ	Pré Misturado à Quente
PSI	Present Serviceability Index

R	Stabilometer value, Hveem
R₁	Número equivalente anual de operações da aeronave de projeto
R₂	Número de operações da aeronave em questão
RCA	Rotativa em Asfalto
RCP	Rotativa em Pavimento Rígido
S₀	Desvio padrão total
SN	Número estrutural
T	Espessura do pavimento encontrada nas curvas de dimensionamento
t	Espessura do recapeamento betuminoso
TR	Sondagem à Trado
VSA	Valor de Serventia Atual
W₁₈	Estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80 KN
Z_R	Desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido

RESUMO

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves. Devem assim apresentar um bom desempenho e ser estáveis e resistentes às intempéries. Estudos sobre os materiais constituintes do pavimento e o conhecimento das características das aeronaves, como seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, entre outros, são de grande importância para o dimensionamento, avaliação, manutenção e restauração dos pavimentos aeroportuários.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo sobre a avaliação de projetos de ampliação e de recape, das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Foram utilizadas informações contidas no relatório da INFRAERO de 1980, dados coletados pela ATECEL[®] em 2002, e analisados, de forma comparativa, resultados estimados através dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

A avaliação das condições de superfície dos pavimentos da pista de pouso e decolagem, pátios e acessos do Aeroporto Castro Pinto, indica que a sua estrutura não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é corroborada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos, através de sondagens com rotativas, com trados, com aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas, a partir dos Métodos da FAA e do Asphalt Institute.

Palavras-chave: aeroportos, avaliação, pavimentos.

ABSTRACT

Highway airfields are built to support loads which are imposed by aircrafts. So, they must present a good performance, and be stable and resistant to varying climate conditions. Knowledge of aircraft characteristics such as landing gear type, maximum takeoff weight, tire pressures, research of pavement materials, among others, is very important to design, evaluation, maintenance and rehabilitation of the pavement.

The aim of the present work was the evaluation study of enlargement and overlay designs of landing runways, takeoff runways, taxiways and aprons of President Castro Pinto Airfield in João Pessoa, state of Paraíba, based on the methods of FAA and those of the Asphalt Institute.

Data contained in the report of INFRAERO and those collected by ATECEL were used. The estimated results were analyzed in a comparative way through the approaches of FAA and those of the Asphalt Institute.

The surface condition of landing runways, takeoff runways, aprons and taxiways of Castro Pinto Airfield indicates that its structure has suffered neither any premature collapse nor any accentuated distress after 23 years of service. This evidence is confirmed by data obtained in semi-destructive evaluation of pavements, carried out by means of sounding, sampling, survey and through estimated thicknesses, employing methods of FAA, and the of Asphalt Institute.

Key words: airports, evaluation, pavements

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - INTRODUÇÃO

O pavimento é quem fornece a superfície para o tráfego. Dentre suas funções destacam-se suportar e transmitir entre componentes de pavimento esforços estáticos e dinâmicos provocados por cargas solicitantes provenientes dos veículos. O pavimento flexível é uma classe específica de pavimento composto de camadas relativamente esbeltas construídas a partir do subleito compactado da via, materiais granulares e ligantes. Dentre os ligantes destacam-se os asfaltos derivados do petróleo. A Figura 1.1 é uma ilustração de componentes dos pavimentos.

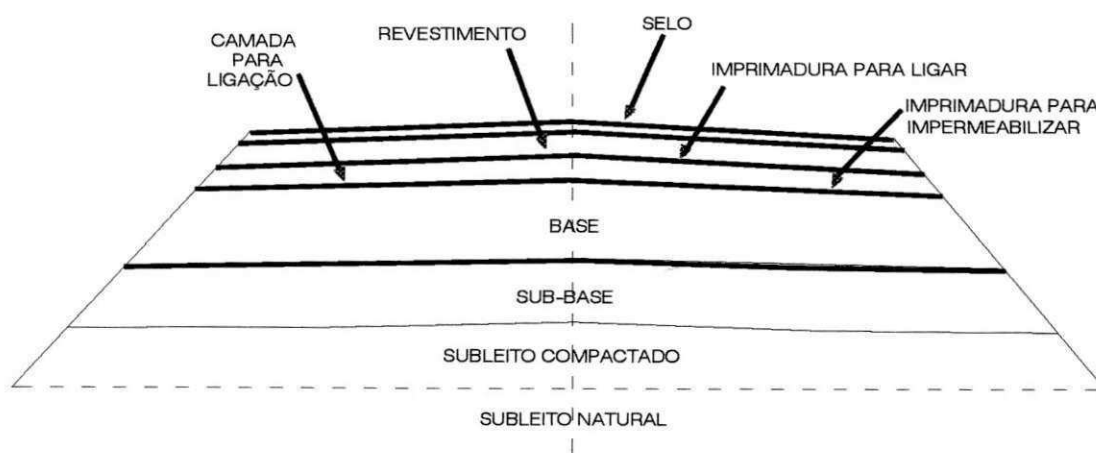


Figura 1.1– Componentes de pavimento flexível.

As cargas são aplicadas no pavimento pelos pneus dos veículos. A pressão de pneus define, para cada veículo a superfície de contato entre os pneus e o pavimento. YODER & WITCZAK (1975) comentam que a maior parte das questões sobre a distribuição de esforços em pavimentos podem ser respondidas assumindo a hipótese de que a pressão aplicada ao pavimento é resultado da distribuição uniforme da carga por uma área constituída por círculos e retângulos. A Figura 1.2 ilustra o exposto.

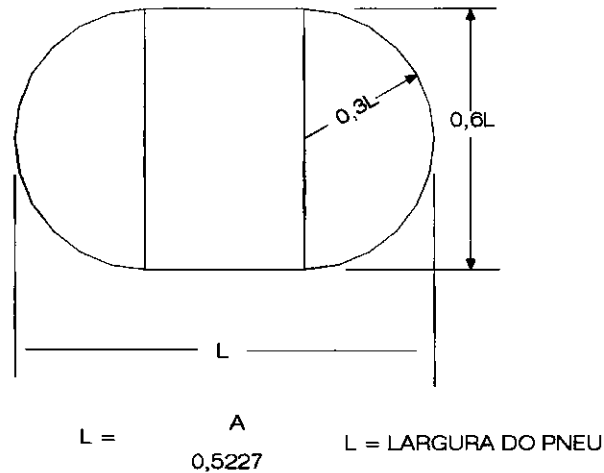


Figura 1.2 – Área de distribuição de pressões por pneus.

Chama-se *ruptura estrutural de pavimento* à perda de capacidade de suportar esforços ou à quebra de uma ou mais de suas camadas, cuja magnitude torne o pavimento incapaz de suportar as cargas aplicadas na sua superfície. Os pavimentos são caracterizados por diferenças mecânicas na dissipação de tensões em sua estrutura. A Figura 1.3 constitui um exemplo de esboço sobre deslocamentos em estruturas típicas, com rupturas, de pavimentos flexíveis quando submetidos às tensões causadas pelos veículos.

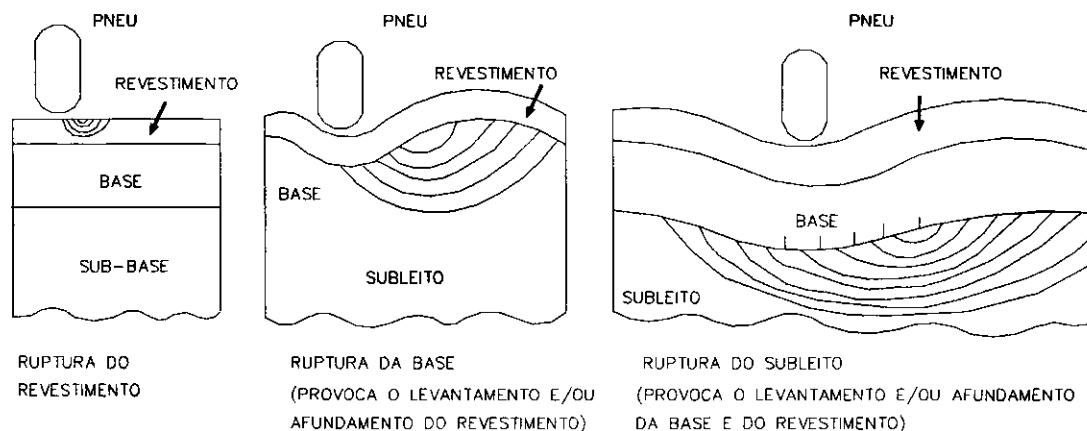


Figura 1.3 – Deslocamentos em pavimentos flexíveis, quando submetidos a cargas de veículos com rupturas das camadas (SENÇO, 1997).

Durante a avaliação do comportamento de pavimentos flexíveis podem ser usadas técnicas empíricas para levantamento de dados e estimativa de valores para variáveis relacionadas com a resistência e rigidez de materiais utilizados na construção de suas camadas. Há também métodos racionais, que usam dados fundamentais ao conhecimento de tensões e deformações em solos e agregados dos pavimentos.

O estudo da relação entre as tensões e deformações a partir de valores de variáveis estimados através de modelos teóricos, ou dados obtidos em testes realizados em campo ou em laboratório, é essencial para

diagnósticos sobre condições estruturais de pavimentos, por consequência de condições oferecidas ao tráfego, conforto e segurança, no presente, e, para subsidiar a análise do desempenho futuro.

Ensaio como o triaxial com repetição de aplicação de cargas, utilizados para estimativa de módulos de elasticidade ou de resiliência podem ser usados para melhor caracterizar materiais da estrutura de pavimentos e estudos sobre tensões e deformações de solos. Usando esse tipo de teste pode-se simular em laboratório condições de aplicação de cargas em campo e história de tensões de materiais.

Também, pode-se estimar valores de variáveis características de tensões, deformações ou deslocamentos de materiais que constituem as camadas do pavimento e sua fundação, a partir de equipamentos com resultados obtidos "in situ" - ensaios com placas, viga Benkelman, Falling Weight Deflectometer – que podem subsidiar com dados as análises sobre estruturas de pavimentos.

Os pavimentos aeroportuários apresentam similaridade com os pavimentos rodoviários em termos de materiais e serviços, diferindo consideravelmente na magnitude da carga aplicada, pressão dos pneus, a seção geométrica do pavimento e o número de repetições de carga durante sua vida útil.

Com relação ao dimensionamento do pavimento de aeroporto, são considerados alguns fatores importantes como: o tipo de aeronave que o pavimento irá receber, o tráfego solicitado, o tipo de solo onde ele será construído e o método que será utilizado no dimensionamento.

No Brasil não existe um método específico para o dimensionamento de pavimento de aeroportos, os engenheiros se baseiam em métodos já existentes em outros países, como é o caso da FAA (Federal Aviation Administration) e do AI (Asphalt Institute), os quais se encarregam de normalizar o dimensionamento de pavimentos novos, a avaliação de pavimentos existentes, o recapeamento e reconstrução de pavimentos se necessário.

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do gelo e do degelo das camadas e das cargas, tendo em vista o comportamento real de pavimentos de aeroportos em serviço e baseia-se em uma classificação de solos especialmente estabelecida. O método se aplica ao dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos.

O método de dimensionamento de pavimentos do Instituto do Asfalto é baseado na teoria de que a "full depth asphalt pavement" é um sistema elástico de multicamadas e a aplicação de carga ao pavimento produz dois tipos de deformações; sendo estas deformações a horizontal na base da camada de concreto asfáltico "Et" e a compressão vertical no topo da camada do subleito "Ec".

1.2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo sobre a avaliação, projetos de ampliação, e recapeamento das pistas de pouso e decolagem, de acessos e de pátios do Aeroporto Presidente Castro Pinto de João Pessoa, Estado da Paraíba, a partir dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 5 Capítulos:

No Capítulo 1, Introdução e objetivos, são descritos os objetivos principais do trabalho, com um breve resumo do assunto objeto da pesquisa.

No Capítulo 2, Revisão da Literatura, são definidos os conceitos fundamentais sobre pavimento de uma forma geral, sua estrutura, classificação e abordados alguns métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos. É dada ênfase ao pavimento de aeroporto, detalhando-se dois métodos de dimensionamento: o método da FAA – Federal Aviation Administration e do AI – Asphalt Institute.

No Capítulo 3, Estudo de caso, estão inseridas informações sobre o aeroporto em estudo, dados sobre clima, topografia, geologia, geometria e estrutura dos pavimentos, dimensionamento de recapes executados, ampliações das pistas de pouso e decolagem e de pátios de acesso e de estacionamentos. Sobre os resultados é feita uma análise comparativa e são realizadas inferências sobre os resultados obtidos pelos dois métodos.

No Capítulo 4, Conclusão, encontra-se as conclusões e sugestões.

No Capítulo 5, Referências, estão inseridas as referências bibliográficas do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - PAVIMENTO

Segundo SENÇO (1997), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem e destinada técnica e economicamente a:

- resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície do pavimento.

2.1.1 - Constituintes de um pavimento

O pavimento é constituído de camadas de espessuras finitas assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, ou seja, a infra-estrutura ou terreno de fundação (subleito). Em síntese pode-se descrever as estruturas de um pavimento como:

Regularização do subleito - é a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente, com o projeto;

Reforço do subleito - é a camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base;

Sub-base - é a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito;

Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e é destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade da estrutura.

2.1.2 - Classificação dos pavimentos

Os pavimentos podem ser classificados de uma forma geral, segundo Senço (1997), em:

Pavimentos rígidos - são pavimentos pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento.

Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações (Figura 2.1).

Pavimentos flexíveis - são pavimentos em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento.

São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (Figura 2.2).

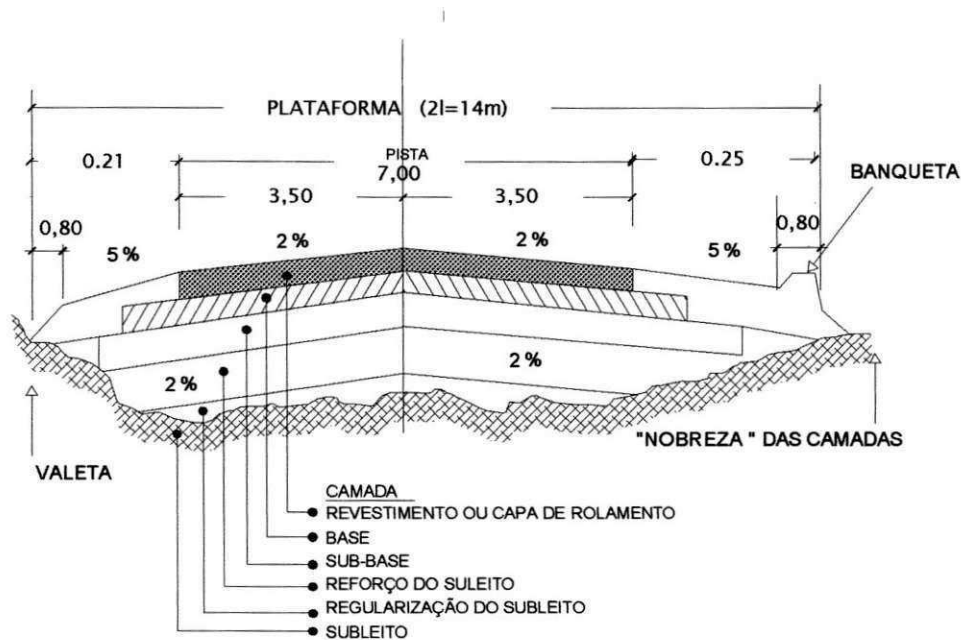


Figura 2.1 - Seção transversal de pavimento flexível.

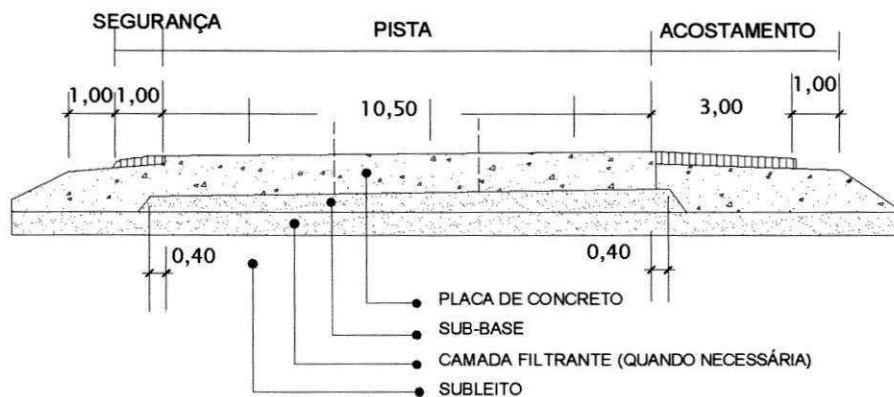


Figura 2.2 - Seção transversal de pavimento rígido.

2.1.3 - Dimensionamento de pavimentos

O dimensionamento de um pavimento consiste na determinação dos materiais e das espessuras das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento de forma que essas sejam suficientes para resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da passagem dos veículos ao subleito, sem que o conjunto sofra ruptura, deformações, plásticas ou elásticas, ou desgaste superficial prematuro e excessivo.

A seguir serão descritos, em síntese, alguns métodos de dimensionamento de pavimentos classificados segundo suas bases lógicas, ou seja, se empíricos ou racionais.

2.1.4 - Métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos

Os procedimentos empíricos de dimensionamento de pavimentos são baseados em uma correlação entre observação de comportamento em campo e medidas das características dos materiais e suas espessuras. A seguir serão descritos alguns desses métodos de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.4.1 - Método do CBR

O método do Índice de Suporte Califórnia (CBR) baseia-se essencialmente no ensaio de penetração CBR, o qual permite ao projetista determinar com o auxílio de um gráfico resultante de um ensaio de solo relativamente simples as espessuras necessárias para sub-base, base e revestimento. Teve sua origem no estado da Califórnia, onde foi introduzido pelo **Engº O. J. Porter**, em 1939, depois desenvolvido e modificado pelo United States Corps of Engineers da U.S. Army, sofrendo várias adaptações e modificações sendo hoje um dos métodos de dimensionamento mais conhecidos. Além disso, tem servido de base para outros métodos de dimensionamento que, embora não adotem os mesmos parâmetros para tráfego e para a qualidade dos materiais das camadas, adotam o CBR para identificar a qualidade do subleito.

Logo após o início da Segunda Guerra Mundial, esse método foi adotado pelo Corpo de Engenheiro do Exército dos Estados Unidos para emprego em aeroportos (SENÇO, 1997).

2.1.4.2 - Método do DNER

O método do DNER foi proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de **W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Ahlvin**, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista experimental da AASHTO.

A capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade específica para o projeto.

A espessura total do pavimento é dada em gráfico, em função de N(número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão) e do CBR(SENÇO, 1997).

2.1.4.3 - Método da AASHTO

The AASHTO Road Test foi desenvolvido pela *American Association of State Highway Officials, AASHO*, hoje *AASHTO- American Association of State Highway and Transportation Officials* -, nos Estados Unidos, com base em que o rompimento de um pavimento não é súbito, pois a ação do tráfego vai progressiva e continuamente afetando a estrutura, até um determinado ponto crítico em que a estrutura estará totalmente comprometida.

Os dados foram obtidos na pista experimental da AASHTO para o *The AASHTO Road Test*, construída nos arredores da cidade de Ottawa, Illinois- EUA, com o objetivo de estudar o comportamento dos pavimentos rígidos e flexíveis e pontes, de características conhecidas, sob a ação de cargas móveis de determinada magnitude e frequência, e obter dados necessários para o dimensionamento de pavimentos.

A pista experimental foi construída em 1956, sendo que o período de aplicação das cargas foi de 2 anos, entre 1958 e 1960 (SENÇO, 1997).

O modelo original relacionava o Present Serviceability Index (PSI) com a espessura da camada de revestimento e a magnitude do carregamento por eixo, tipo e repetições. Este modelo foi modificado e passou a considerar efeitos como drenagem, módulo de resiliência do leito da estrada, coeficientes estruturais das camadas baseadas no módulo de resiliência, e a adição do conceito de confiabilidade.

Os resultados dos ensaios da pista experimental mostraram as relações empíricas existentes entre a camada de concreto asfáltico, o carregamento, tipo de eixo, número de repetições da carga e a perda de serventia do pavimento para as condições da pista experimental. O modelo empírico original desenvolvido a partir dos resultados destes ensaios é o seguinte:

$$\log(W) = \log(\rho) + \frac{G}{\beta} \quad (2.1)$$

Sendo:

W – número de repetições para o índice último de serventia;

G – uma função logarítmica da taxa de perda de serventia com o tempo para um índice de serventia adotado igual a 1,5;

β – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que influenciam a forma da curva de serventia (p versus W);

ρ – uma função do dimensionamento e das variáveis de carregamento que indica o número esperado de repetições do eixo para o índice de serventia de 1,5.

Na pista experimental, os termos β e ρ foram encontrados a partir da seguinte relação entre o carregamento e as variáveis do pavimento:

$$\log(\rho) = 5,93 + 9,36 \log(SN + 1) - 4,79 \log(L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 \quad (2.2)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081(L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} L_2^{3,23}} \quad (2.3)$$

Sendo:

SN – número estrutural;

L_1 – carregamento em um eixo simples ou eixo tandem, em kips;

L_2 – código de eixo (1 para eixo simples e 2 para tandem).

O modelo final de dimensionamento da AASHTO foi o seguinte:

$$\log(W_{18}) = Z_R + S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) - 8,07 \quad (2.4)$$

Sendo:

W_{18} – estimativa do número de repetições em eixo simples para a carga de 80kN;

Z_R – desvio padrão normal correspondente ao nível de serventia escolhido;

S_0 – desvio padrão total;

SN – número estrutural;

ΔPSI – perda de serventia de dimensionamento;

M_R – módulo de resiliência do solo do leito da estrada, em lbf/in².

2.1.5 - Métodos Racionais de Dimensionamentos de Pavimentos

Enquanto o processo de dimensionamento empírico é fundamentado nas relações baseadas na experiência, o método racional baseia-se nas leis da mecânica do contínuo, a qual relaciona a carga da superfície com a reação do pavimento em termos de tensão, deformação e deslocamentos.

Segundo RODRIGUES (1998), em um corpo sujeito às forças de compressão ou tração, a definição mais genérica de *tensão* é à *força de compressão por unidade de área* da seção reta do corpo perpendicular à sollicitação. Entretanto, para estudo de sólidos e suas relações com as ações de cargas que lhes forem aplicadas é necessário conhecer a distribuição desses esforços e suas conseqüências no arcabouço interno desses corpos.

Distribuições internas de forças e tensões em um sólido podem ser representadas através de um *elemento de sólido*, uma imagem teórica de uma parte interna muito pequena (infinitesimal) ao sólido. A Figura 2.3 ilustra uma representação adotada para o estudo de forças e tensões de um elemento triangular de sólido ABC. As convenções utilizadas são: dx_1 é o lado horizontal do elemento, ds , a sua hipotenusa, dx_2 , sua altura; os índices "1" indicam tensões e forças normais aplicadas no plano que contém a direção dx_2 , os índices "2", tensões e forças normais à direção dx_1 ; $\alpha = \arctg \frac{dx_1}{dx_2}$; τ_{ij} , as tensões de cisalhamento aplicadas sobre "i", a partir de "j"; σ_{ij} ,

idem para tensões; n_{kl} , as forças normais aplicadas sobre "k", a partir de "l"; "e", a espessura do elemento.

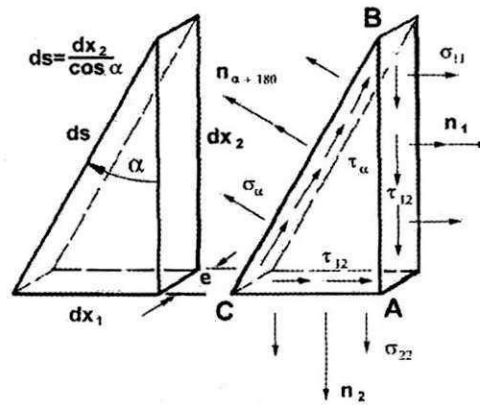


Figura 2.3 – Forças e tensões internas aos sólidos

Cisalhamento é a deformação que sofre um corpo quando sujeito à ação de forças cortantes. A tensão τ que atua na seção do corpo é chamada *tensão de cisalhamento*. A tensão que é normal à seção é σ , a *tensão normal*, que pode ser de tração ou compressão.

Mas, internamente, diz-se que a cada instante o sólido está em equilíbrio. E, as forças e tensões internas a seu arcabouço, também. Assim, as forças que agem sobre o triângulo ABC teriam para suas relações no estado de equilíbrio do elemento de sólido a expressão:

$$\sigma_{\alpha} \left(e \frac{dx_2}{\cos \alpha} \right) - \sigma_{11} (e dx_2) \cos \alpha - \sigma_{22} (e dx_2 \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{sen} \alpha -$$

$$\tau_{12} (e dx_2) \operatorname{sen} \alpha - \tau_{21} (e dx_2) \cos \alpha = 0$$
(2.5)

E, deduz-se que;

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{11} \cos^2 \alpha + \sigma_{22} \operatorname{sen}^2 \alpha + \tau_{12} \operatorname{sen} 2\alpha$$
(2.6)

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{11}}{2} \operatorname{sen} 2\alpha + \tau_{12} \cos 2\alpha$$
(2.7)

Direções, ou eixos, principais são as direções ortogonais das componentes da tensão resultante máxima ou mínima em dado plano. As tensões correspondentes a essa projeção são conhecidas como *tensões principais*. A Figura 2.4 ilustra uma representação gráfica do tensor das tensões. O índice "p" é usado para indicar "nas direções principais".

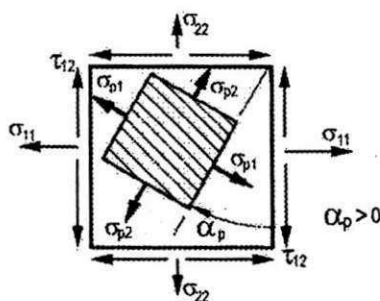


Figura 2.4 – Elemento de sólido e eixos principais

E, na direção p , os conjuntos de planos ortogonais são dados: $\operatorname{tg}(2\alpha_p) = \frac{2\tau_{12}}{\sigma_{11} - \sigma_{22}}$

RODRIGUES (1998) infere que um sólido é constituído de moléculas, e entre as moléculas há um conjunto de forças que as mantêm no arcabouço desses corpos. Essas mesmas forças opõem-se às mudanças de forma do sólido que forças externas tendam a gerar. Os deslocamentos de partículas de sólido provocados por forças externas são parte de um conjunto de mudanças de forma conhecido por *deformação*. E, o trabalho executado pelas forças externas ao movimentar partículas do solo é acumulado no arcabouço do material sob forma de *energia potencial de deformação*.

À propriedade de sólidos poderem voltar à forma inicial após a deformação é conhecida como *elasticidade* do sólido. *Deformação elástica* é a que desaparece com a cessação da causa. Opõe-se à deformação plástica. *Deformação plástica* ou permanente é a que permanece depois de cessada a causa opõe-se à deformação elástica. É importante definir o verbete *resiliência*, que segundo o "Aurélio", é a "propriedade pela qual a energia armazenada em um corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora de deformação elástica".

Para pequenas deformações, define-se *módulo de elasticidade* (para tração ou compressão simples) de sólidos como a "razão entre tensões aplicadas por forças externas e as deformações em um elemento do sólido". Se usarmos a notação " E " para o módulo de elasticidade, e " ε " para a deformação específica de um sólido, a definição pode conduzir à expressão para tensão:

$$\sigma = E\varepsilon$$

A um alongamento no elemento de sólido corresponde um encurtamento na direção ortogonal. Adotando-se o elemento de sólido retangular ilustrado na Figura 2.5, direções de deformação y_1 e sua ortogonal y_2 , lados do elemento sólido unitário "1", direções de deformação no plano "1" e "2"; encurtamento na direção "1", ε_{y_1} ; correspondente alongamento na direção "2", ε_{y_2} .

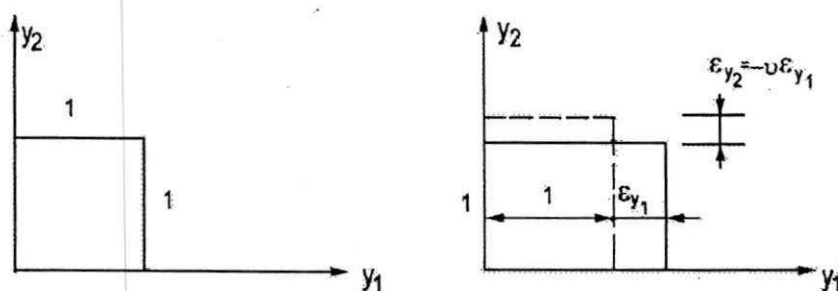


Figura 2.5 – Alongamentos e encurtamentos de elemento de sólido

E, lembrando-se que a aplicação de esforços cuja direção seja diferente às direções ortogonais y_1 e y_2 leva o sólido em equilíbrio a ter as deformações parciais ε_{01} e ε_{02} , às deformações ε_{y_1} e ε_{y_2} correspondem a soma das deformações ε_{01} e ε_{02} isoladas. (Figura 2.6). O problema poderia ser resolvido em um plano.

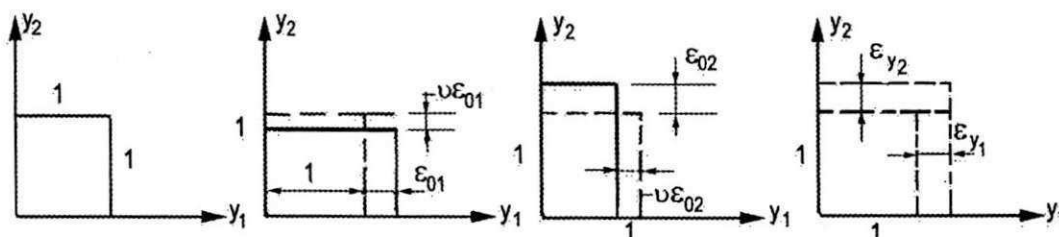


Figura 2.6 – Alongamentos e encurtamentos de elementos de sólido, devido a forças externas.

Ou seja, numa seção plana de um corpo:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{11} &= \frac{1}{E} \sigma_{11} - \nu \sigma_{22} \\
 \varepsilon_{22} &= \frac{1}{E} \sigma_{22} - \nu \sigma_{11} \\
 \sigma_{11} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{11} + \nu E \varepsilon_{22} \\
 \sigma_{22} &= \frac{E}{1-\nu} \varepsilon_{22} + \nu E \varepsilon_{11}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Sendo, " ν " uma constante característica do material que constitui o sólido, conhecida como *coeficiente de Poisson*.

Quando as deformações forem uma torção, e γ for o ângulo de rotação de um elemento retangular do sólido (Figura 2.7) define-se G , o *módulo de elasticidade transversal do sólido*: a razão entre a tensão de cisalhamento τ aplicada no sólido e o ângulo de torção, γ .

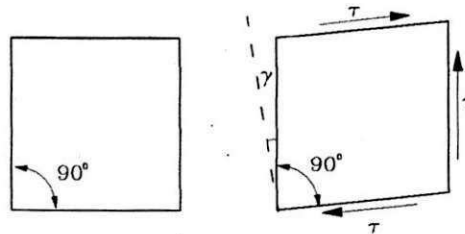


Figura 2.7 – Rotação de elemento retangular de sólido

A relação entre os módulos de elasticidade e o coeficiente de Poisson pode ser expressa:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

(2.9)

O elemento de sólido sollicitado por uma força externa tem volume que pode ser representado como exposto na Figura 2.8.

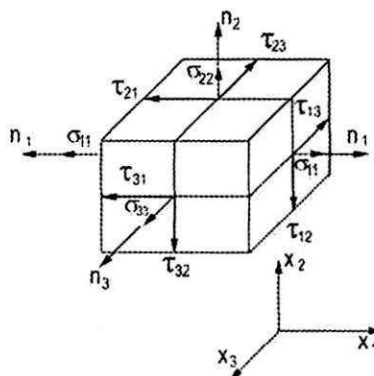


Figura 2.8 – Elemento de volume sob a ação de tensões

A relação entre essas variáveis pode ser expressa sob a forma de matrizes a seguir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = [\tau_{ij}]$$

(2.10)

Também, cada material que constitua o sólido pode ter propriedades que são condições de contorno para os estudos da igualdade entre as tensões estudadas. O elemento a ser analisado poderá fornecer dados e relações geométricas, ou de materiais, que condicionem as análises.

Pavimentos (YODER & WITCZAK, 1975) podem ter tensões em suas camadas estudadas a partir de hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (Figura 2.9).

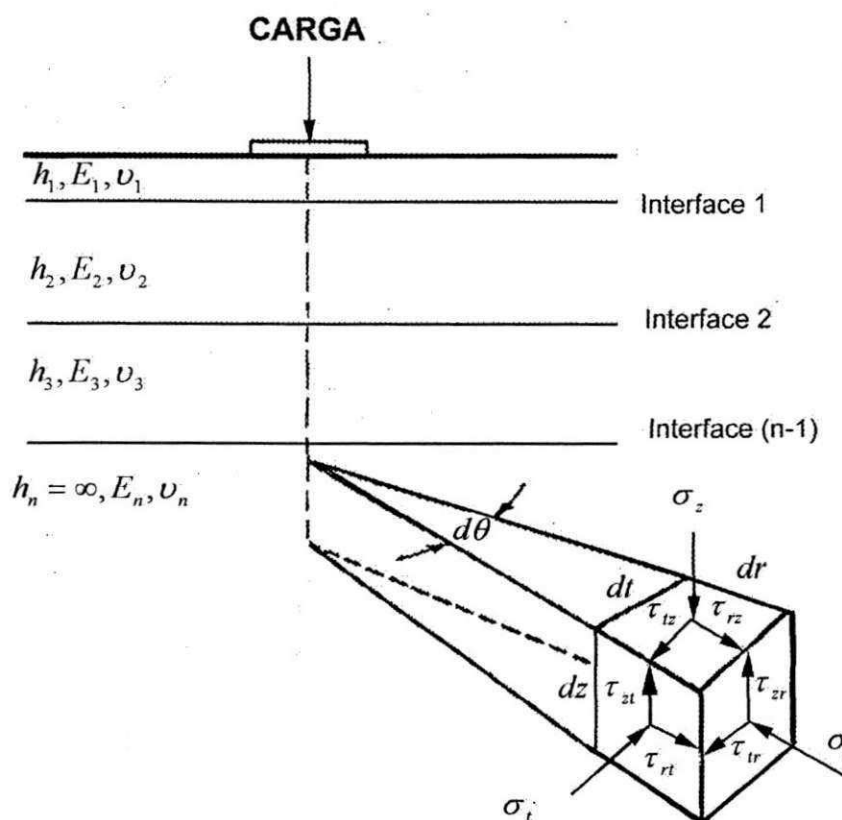


Figura 2.9 - Hipóteses para cargas e transmissão entre camadas (YODER & WITCZAK, 1975)

Os procedimentos "racional" dependem de uma correlação entre as respostas do pavimento a partir do uso de conceitos de camadas elásticas e/ou elementos finitos e seu comportamento real. Equações são usadas para relacionar as solicitações impostas pelo tráfego com as deformações, trincas ou rupturas resultantes. Exemplos de modelos recentemente desenvolvidos são os da Shell Oil Company, Mobil Oil Company e o do The Asphalt Institute.

O manual de dimensionamento da AASHTO lista os benefícios do uso correto da aplicação do procedimento racional:

- melhor confiabilidade no dimensionamento;
- a habilidade em prever tipos específicos de deformações;
- a habilidade de extrapolar os resultados do campo e do laboratório.

Para o dimensionamento de um pavimento, existem vários métodos, esses são adotados de acordo com o tipo de pavimento, a seguir, de forma sucinta, descreveremos o surgimento e o desenvolvimento de alguns métodos denominados racionais.

Ao longo dos anos, engenheiros e pesquisadores usando diferentes níveis de sofisticação, têm aplicado os processos de análise racional de pavimentos. *Boussinesq* foi um dos primeiros pesquisadores que formulou equações para o cálculo de tensões e deformações em um meio semi-infinito, elástico-linear, homogêneo e isotrópico, solicitado por uma carga pontual.

Enquanto as equações de *Boussinesq* representam uma solução elástica para um sistema de uma camada, *Burmister* (1943,1945) desenvolveu soluções para duas camadas e para sistemas de três camadas, que avançaram consideravelmente na análise racional do pavimento.

Na formulação da teoria da elasticidade para um material isotrópico com uma carga bidimensional, assume-se: equilíbrio; compatibilidade entre deformação normal e de cisalhamento. Tensão e deformação são relacionadas de acordo com a *lei de Hooke*.

Segundo HILDEBRAND (2002), atualmente pode-se classificar os modelos racionais em dois: métodos tradicionais e métodos propostos ou *Traditional Mechanistic Design Method and Future Pavement Design Method*. Os métodos tradicionais podem ser divididos em três etapas: entrada, estimativa da vida útil prevista do pavimento, e estimativa da deterioração.

Os dados de entrada são informações sobre espessura das camadas, propriedades dos materiais (módulo de Young, coeficiente de Poisson, densidade) e configurações de carga.

$$ESAL = \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^n$$

(2.11)

Sendo:

$n = 4,0$ a $4,5$

p = carga atual do eixo

p_{ref} = carga de referência (geralmente 8,0 ou 9,0 toneladas)

A vida útil prevista, (N_t)

A partir de dados sobre vida útil do pavimento, modelos tipo resposta são usados para calcular estados críticos de deformações como a horizontal e vertical, entre o revestimento e a base, e normais ao topo do subleito, respectivamente.

Vários pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos, relacionando o número de aplicações de carga e deformações, para estudar o fenômeno da trinca por fadiga. YANG (1988) sugere como causa da deformação permanente a densificação causada por deformação de cisalhamento do material do subleito.

Um parâmetro ou critério de ruptura pode ser descrito pela relação entre a resposta do pavimento e o seu desempenho. Os critérios de trinca por fadiga e por deformação permanente podem ser utilizados para estabelecer níveis aceitáveis de deformação a partir da seguinte formulação:

$$\varepsilon = K \left(\frac{N_f}{10^6} \right)^{-1/a} \left(\frac{E}{E_{ref}} \right)^b$$

(2.12)

Sendo:

ε = deformação admissível;

K, a e b = constantes;

N_f = número de aplicações de carga para ruptura do revestimento;

E = rigidez do material.

Estimativa da deterioração (D)

A Estimativa da deterioração (D) pode ser obtida através da seguinte fórmula:

$$D = \sum_i \left(\sum_j \frac{n_{i,j}}{N_f} \right)$$

(2.13)

Sendo:

n - tráfego atual para cada estação e cada configuração da carga do eixo de roda;

N_f - tráfego previsto;

i - estação;

j - configuração de carga do eixo de roda.

A Figura 2.10 ilustra a seqüência lógica do modelo de dimensionamento racional segundo NCHRP (1999).



Figura 2.10 - Seqüência lógica do Modelo de dimensionamento racional (NCHRP, 1999).

Em pesquisas realizadas entre 1996 e 1999, a partir de informações de pavimentos da Europa e da América do Norte, COST 333 (1999) sugere que os métodos de projetos de pavimentos podem ter sua seqüência lógica segundo a ilustrada na Figura 2.11.

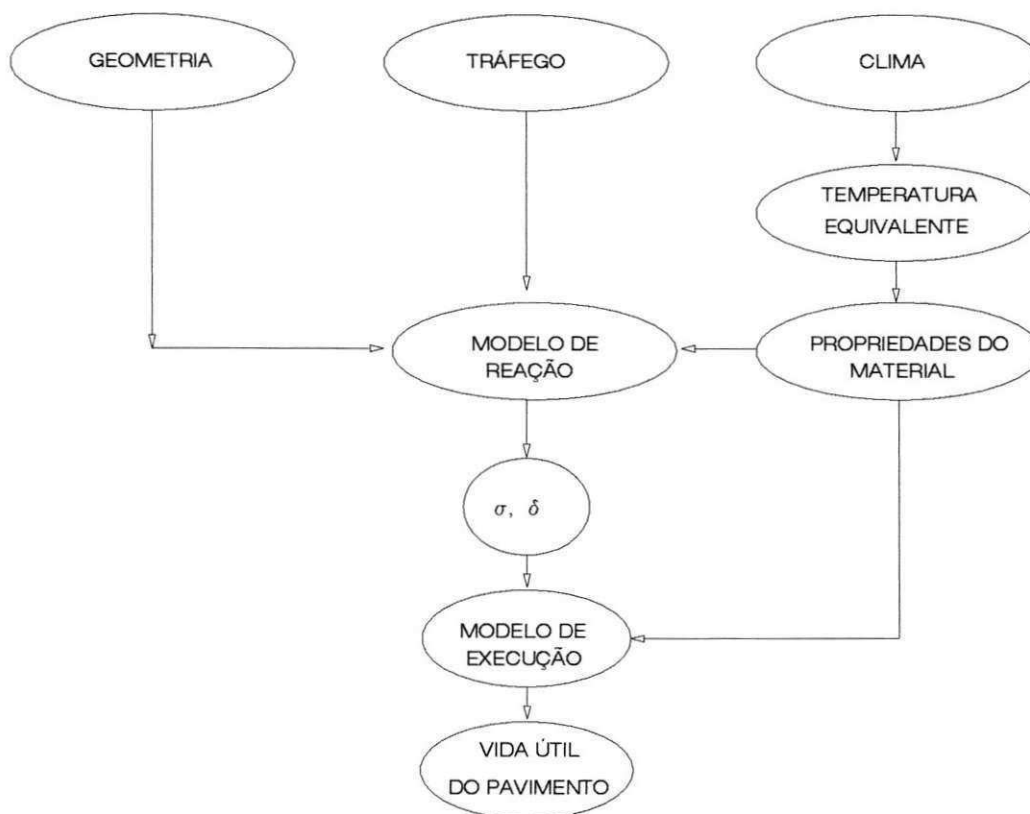


Figura 2.11 – Seqüência lógica dos Métodos Racionais Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

COST 333 (1999) sugere um método com incremento consistindo de modelos integrados por diferentes tipos de solicitações. Este modelo considera, entre outros, as propriedades físicas dos materiais como sendo não lineares variando com o tempo, e como consequência dos efeitos do meio ambiente ou cargas do tráfego (Figura 2.12).

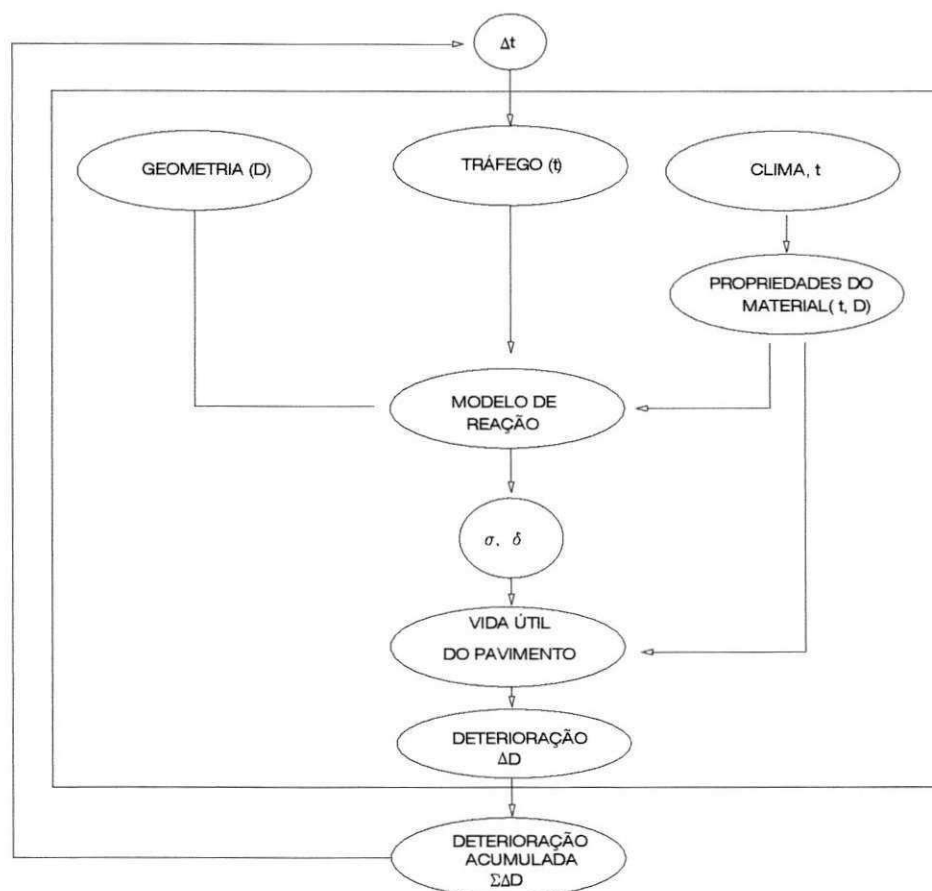


Figura 2.12 – Seqüência lógica dos Métodos Propostos para o dimensionamento de pavimentos (COST 333, 1999).

A seguir serão descritos alguns métodos racionais de forma resumida. Os ábacos e figuras desses métodos estão contidos no ANEXO A.

2.1.5.1 - Método das espessuras equivalentes

Uma extensão da teoria de *Boussinesq*, para sistemas de múltiplas camadas, foi apresentado por *Odemark* (1949). Seu método é baseado no conceito de espessuras equivalentes, um conceito que foi apresentado na literatura a muito tempo atrás. Usando este procedimento as espessuras de todas as camadas acima do subleito são substituídas por uma espessura equivalente (H_{eq}) de material com as propriedades do subleito (*SEVERI et al*, 1998).

O método das espessuras equivalentes preconiza que a tensão e a deformação que ocorrem em uma camada dependem apenas da rigidez da mesma.

2.1.5.2 - Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos pode ser usado para análise da tensão, deformação e deslocamento na estrutura do pavimento. A sua vantagem é que se admite um modelo do pavimento responsável pela carga

dinâmica e estática para diferentes estruturas geométricas, as quais podem incluir considerações sobre trincas. É um método numérico o qual não fornece uma solução exata e os modelos de material são baseados na mecânica do contínuo, assim a validade junto aos dados reais são necessários.

Segundo MEDINA (1997), no método dos elementos finitos – MEF – o meio contínuo é dividido em elementos fictícios de dimensões finitas ligados entre si por pontos nodais que se assimilam a articulações sem atrito. Na Figura 2.13 é lustrada a malha de elementos quadrangulares.

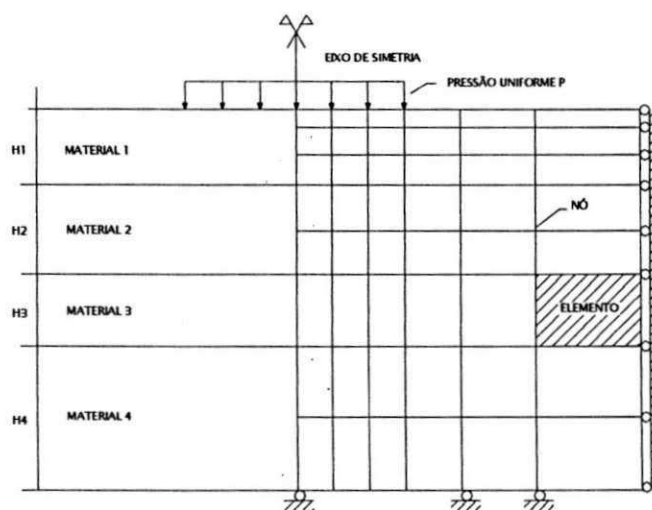


Figura 2.13 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (MEDINA , 1997)

A última camada nem sempre pode ser considerada semi-infinita. Se o subleito é pouco deformável deve-se simulá-lo por meio de uma fronteira indeformável por uma camada de rigidez elevada a uma profundidade adequada.

Aplica-se a teoria da elasticidade para obter a relação entre as forças e os deslocamentos nodais de cada elemento, e a partir destes, os deslocamentos no seu interior. Calcula-se a matriz de rigidez de cada elemento: $[K^e]$; os elementos ligam-se pelas faces ou lados. Desenvolve-se uma matriz de rigidez global da estrutura: $[K]$.

Tem-se o sistema de equações simultâneas: $\{F\} = [K] \{\delta\}$, onde o primeiro membro é um vetor tensão; resolvido o sistema, tem-se os deslocamentos nodais. O programa gera automaticamente uma malha e acolhe os módulos dependentes ou não das tensões. As deformações (específicas) são as derivadas primeiras dos deslocamentos, e as tensões relacionam-se às deformações: $\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\}$, onde $[D]$ é a matriz que contém as características do material. Na prática este é um valor do módulo de elasticidade que, se não for linear, dependerá do estado de tensões. O módulo de resiliência ou de "elasticidade" é obtido em ensaios de cargas repetidas.

2.1.5.3 - Métodos das diferenças finitas

O método das diferenças finitas é utilizado para solucionar problemas de valores no contorno em equações diferenciais ordinárias; as derivadas das equações diferenciais se calculam por meio de fórmulas aproximadas, numa série de pontos no domínio de integração no problema. Obtém-se um sistema de equações algébricas que permite calcular as incógnitas nos pontos escolhidos. Aumentando-se o número de pontos as soluções se aproximaram da solução exata. Tem-se a solução discreta do problema nos pontos considerados. A superposição dos efeitos causados por várias rodas é correta para o cálculo dos deslocamentos, mas, aproximada para as tensões. Consideram-se as camadas homogêneas, isotrópicas e horizontalmente infinitas, sendo o subleito um meio semi-infinito (MEDINA, 1997).

2.1.5.4 - Método dos elementos distintos

São utilizados nesse método programas de computador desenvolvidos para esse tipo de análise, o programa 'BALL' é um programa desenvolvido para este fim pela Technical University of Denmark.

A vantagem deste método é a habilidade de modelar realisticamente materiais do pavimento, tendo na memória a distribuição granulométrica, o tamanho das partículas e sua angularidade, o grau de compactação, a rigidez, o coeficiente de atrito dos grãos e a coesão entre as partículas.

O programa calcula o movimento de partículas distintos em incrementos de tempo baseados nas forças atuantes em cada partícula.

2.2 - DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

2.2.1 - Generalidades

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves, devendo apresentar um bom desempenho, sendo estáveis e resistentes às intempéries.

Existem diferenças entre os pavimentos de aeroportos e os pavimentos rodoviários, sendo estas quanto as suas características físicas e geométricas das solicitações dos veículos, cargas mais pesadas e menor número de solicitações que ocorrem nas pistas dos aeródromos (MEDINA,1997). Podem-se observar essas diferenças através da Tabela 2.1.

Segundo HORONJEFF (1966), em experiências realizadas entre 1928 e 1942 pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia, em pavimentos, forneceram elementos para o estabelecimento da relação empírica entre os valores do CBR e espessuras, ilustradas na Figura 2.14. A curva "B" da figura, indicava a espessura mínima para um pavimento destinado a tráfego leve, e a curva "A" indicava a espessura necessária para tráfego rodoviário em condições médias. Análise subsequente dos elementos que serviram para a determinação das duas curvas revelou que a curva "A" era a mais segura, sendo razoável admitir ser a mesma representativa da carga de 4000kg transmitida por roda de caminhão. Como os pneus de aeronaves sofrem deformações muito maiores que as dos pneus de caminhões e porque o tráfego rodoviário é muito mais canalizado, foi aceita a equivalência entre as cargas de 4000kg por roda de caminhão e de 5400kg por roda da aeronave. Por isso admitiu-se a curva "A", na época, como representativa da carga de 5400kg por roda de aeronave.

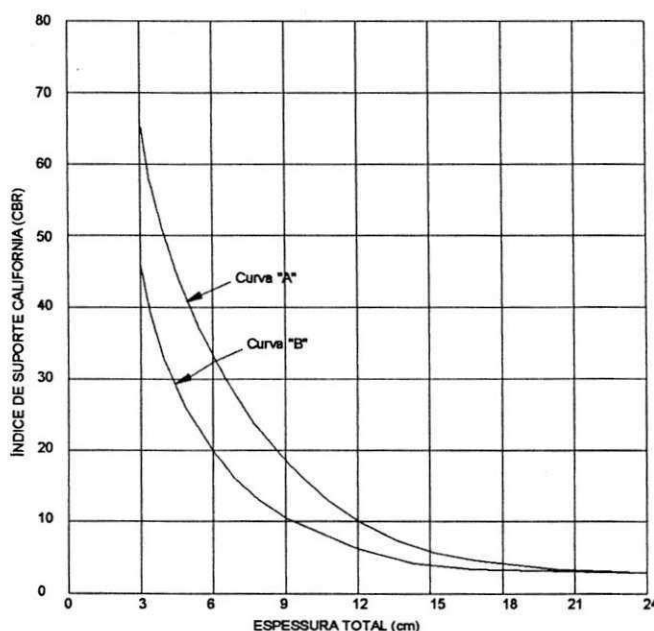
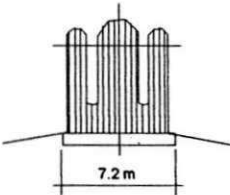
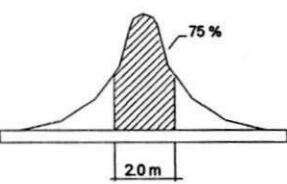

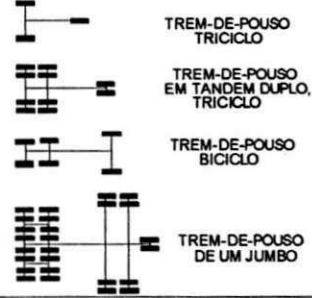


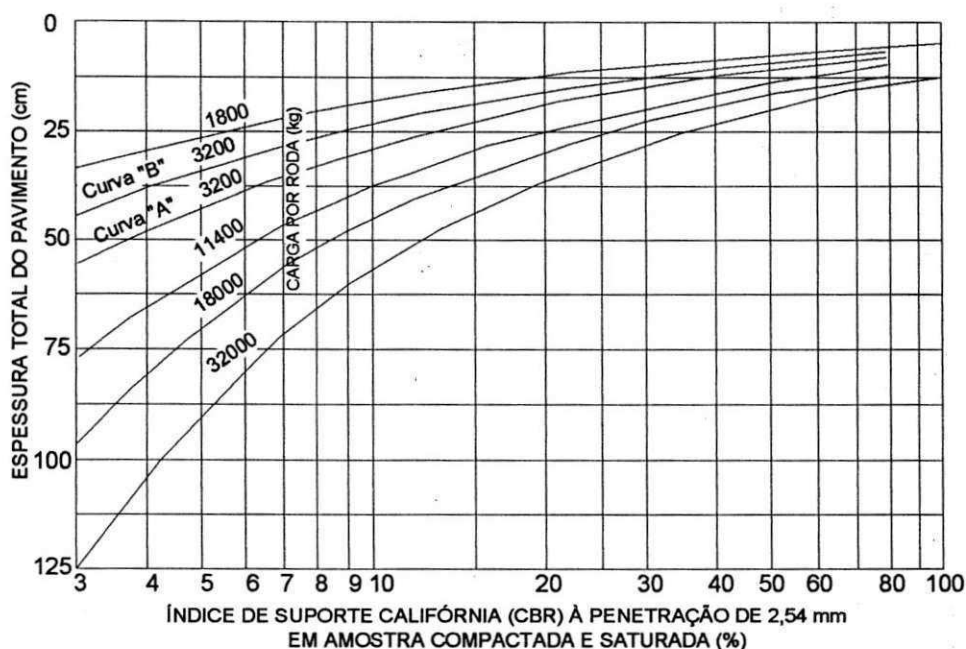
Figura 2.14– Espessura dos pavimentos em função do CBR (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Tabela 2.1 – Diferenças entre pavimento rodoviário e de aeroporto (MEDINA, 1997).

CARACTERÍSTICAS	RODOVIAS	AERÓDROMOS
LARGURA DAS PISTAS	7 a 10 m	20 a 50 m (táxis. 10 a 25 m)
COMPRIMENTO	VÁRIOS QUILOMETROS	ATÉ CERCA DE 3000 m
CARGAS	10 tf POR EIXO, VEÍCULO 45 tf MÁXIMO	100 tf OU MAIS POR TREM-DE-POUSO PRINCIPAL, AVIÕES DE ATÉ 400 tf
FREQUÊNCIA DE REPETIÇÃO DE CARGAS	POR EXEMPLO: 2000 POR DIA. VÁRIOS MILHÕES NA VIDA DE SERVIÇO (O EFEITO DA FADIGA DOS MATERIAIS DE PAVIMENTO É IMPORTANTE)	PEQUENA, POR DIA: 50 A 100, MENOS DE 100.000 NA VIDA DE SERVIÇO
PRESSÃO DOS PNEUS	1,5 A 6 kf / cm ² (0,15 a 0,60 MPa)	10 A 30 kf / cm ² (1,0 a 3,0 MPa)
DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DE CARGAS NAS PISTAS		
DISTÂNCIA DE DRENAGEM	PEQUENA (3m)	GRANDE (10 a 50 m)
IMPACTO DO VEÍCULO NO PAVIMENTO	PEQUENO	GRANDE NO POUSO, PORÉM MINORADO PELA SUSTENTAÇÃO E AMORTECIMENTO
AÇÃO DE CARGA DINÂMICA (VIBRAÇÕES) DE VEÍCULOS PARADOS	NÃO CONSIDERADA	É IMPORTANTE NAS CABECEIRAS DAS PISTAS NA DECOLAGEM E NAS PISTAS DE TÁXI
AÇÃO DE FRENAGEM E ACELERAÇÃO	NÃO É RELEVANTE; NAS RUAS, SIM, NOS SINAIS LUMINOSOS (SEMÁFOROS) PARADA DE ÔNIBUS	IMPACTO QUANDO DO ACIONAMENTO DOS MOTORES COM AS RODAS DE TREM-DE-POUSO TRAVADAS ANTES DA DECOLAGEM
GEOMETRIA DE RODAS	 <p>CAMINHÃO LEVE</p> <p>CAMINHÃO PESADO</p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE</p>	 <p>TREM-DE-POUSO TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO EM TANDEM DUPLO, TRICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO BICICLO</p> <p>TREM-DE-POUSO DE UM JUMBO</p>

Ainda segundo o autor, na época em que o método CBR foi adotado pelo Corpo de Engenheiros, as pressões dos pneus das aeronaves eram da ordem de 4,2 kg/cm², e as cargas de rodas simples variavam de 11000kg a 30000kg. Ao mesmo tempo que se procedia o estudo teórico, iniciou-se um programa de pesquisas que exigiu a construção de trechos de pavimentos experimentais. Os resultados revelaram que as curvas estabelecidas

pelas considerações teóricas pareciam fornecer espessuras excessivas para os CBR de maior valor e insuficientes para as cargas móveis mais elevadas em CBR baixos. Por isso as curvas básicas mencionadas anteriormente foram ajustadas aos resultados das pesquisas experimentais (Figura 2.15).



Figuras 2.15 – Curvas para o dimensionamento de pavimentos flexíveis (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Até o surgimento do B-29, que possuía trem de pouso com pernas principais com duas rodas, tratava-se apenas de cargas transmitidas por rodas simples, pois até certa época, mesmo os mais pesados bombardeiros eram dotados de trens de pouso deste tipo. Somente a partir da Segunda Guerra Mundial, entrou em serviço o bombardeiro B-29, tornando-se indispensável à análise dos efeitos das rodas duplas sobre a espessura dos pavimentos, bem como a preparação de gráficos de dimensionamento apropriados ao novo tipo de trem de pouso.

Para estabelecer uma equivalência entre rodas simples e duplas, admitiu-se que um conjunto de rodas duplas que determina no subleito tensões e deformações iguais às determinadas por uma roda simples, necessita da mesma espessura de pavimento que esta última. Assim, o problema do preparo de gráficos de dimensionamento para o B-29 exigia a fixação para cada roda da espessura até a qual cada roda atuava no subleito como unidade independente e a fixação da espessura a partir da qual as duas rodas atuavam no subleito se fosse uma única. Foram calculadas pela teoria de *Boussinesq*, supondo um meio homogêneo, as tensões verticais e de cisalhamento determinadas a diversas profundidades, por uma roda simples de 13500 kg, por outra roda simples de 27000kg e pelas rodas de uma das pernas principais do trem de pouso do B-29, como ilustrada na Figura 2.16. Foram também comparados os recalques produzidos no subleito por rodas simples e duplas. A etapa

seguinte consistiu no estabelecimento de um gráfico de dimensionamento partindo dos dados acima, Figura 2.17, que é uma modificação das curvas de dimensionamento para rodas simples.

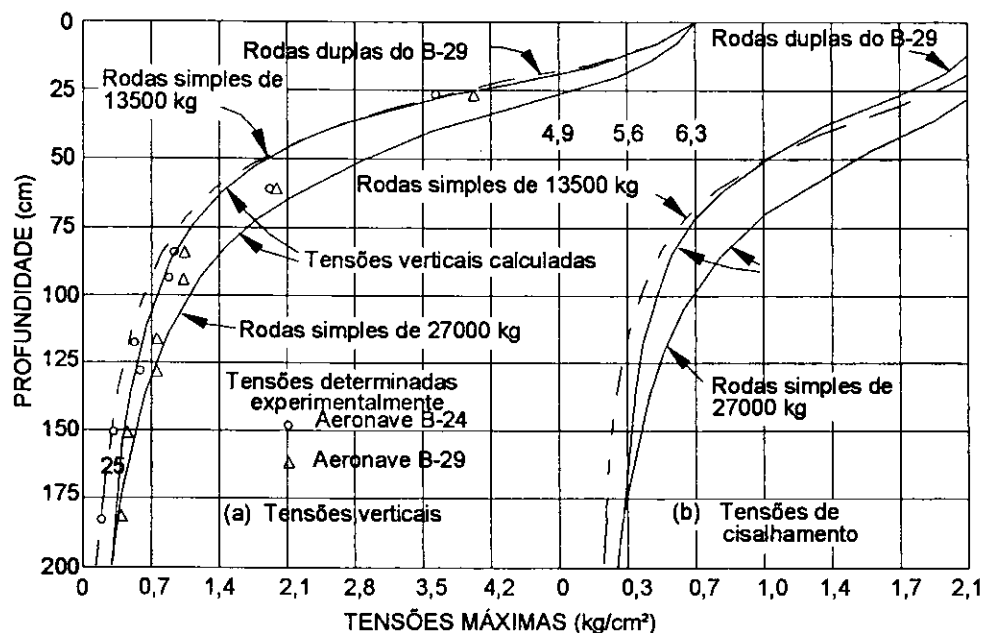
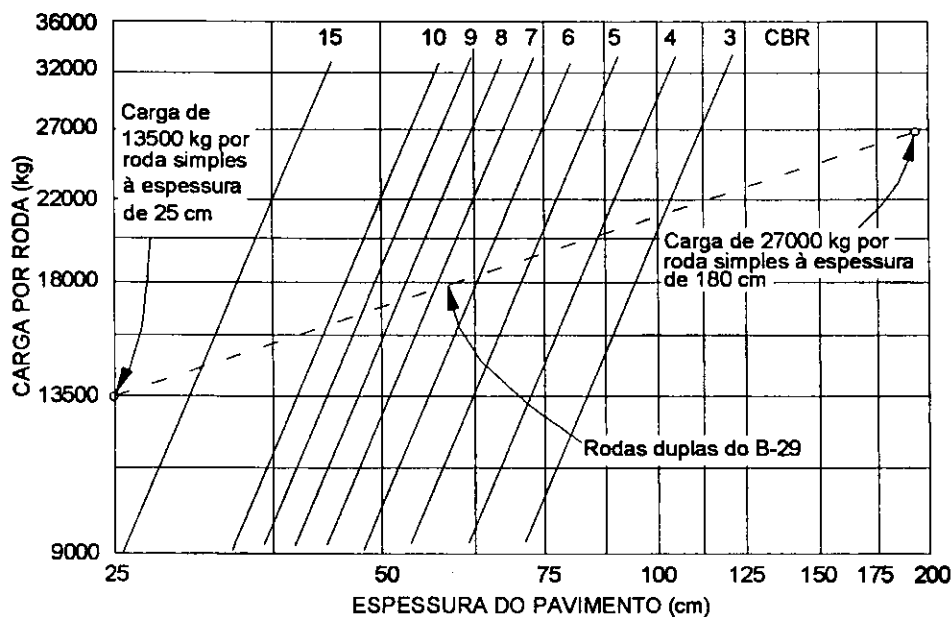


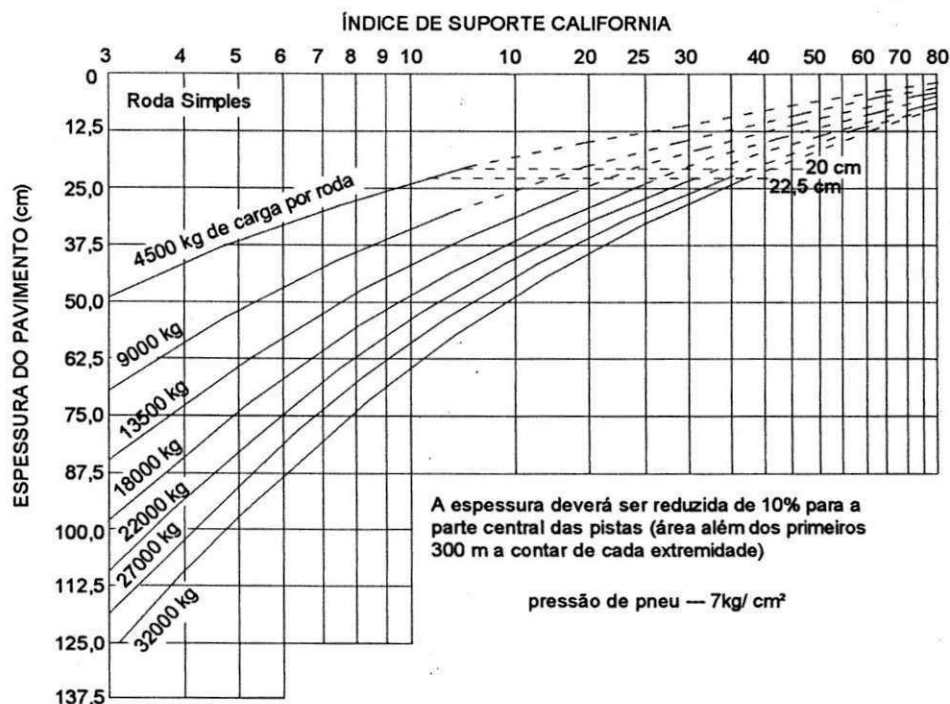
Figura 2.16 – Tensões verticais e de cisalhamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.17 – Curvas de dimensionamento de pavimentos para carga de 27000kg transmitida por perna principal na aeronave B 29 (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Para aplicação do método do CBR adaptado para o dimensionamento de pavimentos de aeroportos, foram preparados gráficos como ilustrado na Figura 2.18, para o dimensionamento de pavimentos para aeronaves Douglas, DC-8, Boeing 707 e Convair 880. As espessuras estimadas nesses gráficos referiam-se as pistas de

rolamento e aos primeiros 300 m a contar de cada extremidade das pistas. Para a parte central das pistas, além dos 300 m, a espessura fornecida pelos gráficos poderia ser reduzida em 10% (HORONJEFF, 1966).



Figuras 2.18— Curvas de dimensionamento para pavimentos flexíveis de pista de rolamento (US Corps of Engineers apud HORONJEFF, 1966).

Constata-se, com a evolução do método de dimensionamento de CBR para pavimentos aeroportuários descrita acima, a necessidade do conhecimento das características das aeronaves, como: seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, estudos sobre materiais, entre outros.

A seguir serão descritos alguns conceitos básicos sobre equipamentos de aeronaves, variáveis e métodos de dimensionamento essenciais ao dimensionamento dos pavimentos de aeroportos.

2.2.2 - Aeronaves

Segundo PAIVA E PEIXOTO (2003), as aeronaves civis podem ser classificadas em aeronaves da aviação geral ou da categoria transporte. As aeronaves da aviação geral apresentam peso que varia até 15 tf e podem, no caso das menores, do tipo monomotoras à pistão, utilizar aeródromos com extensão a partir de, tipicamente, 600 m e operar em piso de revestimento primário ou até sobre superfície gramada, tal como se pode operar o antigo modelo P-56C/Neiva.

Para os autores as aeronaves da aviação geral, contudo, apresentam ampla faixa de modelos, desde os de tração monomotor do tipo a pistão, como de impulsão do tipo turbo-fan, que equipam aeronaves como o B-737 – “séries”, ideal para as aeronaves da categoria transporte atuais, devido ao ruído reduzido e economia de combustível relativamente às turbinas tipo turbo-jato. Em função de porte e variação da relação peso por

potência, há elevada amplitude de comprimentos de pistas de pouso e de decolagem para operar bem como combustíveis distintos, da gasolina verde, para aeronaves à pistão ao querosene do tipo aeronáutico, como o *Jet A-1*, para aeronaves à turbina.

As aeronaves da categoria transporte apresentam peso variando entre, aproximadamente, 15 tf a 370 tf, bem como porte externo que varia em ampla faixa, com envergaduras até 70 m aproximadamente, ou capacidade interna de 20 passageiros aproximadamente, como a capacidade do Bandeirante da EMBRAER a até 560 passageiros para uma das versões do B-747-300/400.

Na Tabela 2.2 estão ilustrados exemplos de características físicas típicas comparadas de três aeronaves da categoria transporte, o ERJ 145 da EMBRAER, o B-737-600 da BOEING e B747-300 da Boeing, em termos de envergadura, comprimento, peso máximo de decolagem, tração, capacidade em termos de passageiros e comprimento de pista de pouso e de decolagem em condições padronizadas.

O comprimento de pista de pouso e de decolagem foi respectivamente anotado, em condições padronizadas, pelo FAR *Federal Aviation Regulations* e pela ISA, *International Standard Atmosphere*.

**Tabela 2.2 - Características Comparadas entre o ERJ-145 e o B-737-600
(PAIVA E PEIXOTO, 2003).**

AERONAVE	ENVERGADURA	COMPRIMENTO	MÁXIMO PESO ESTRUTURAL NA DECOLAGEM	TIPO E NÚMERO DE TURBINAS	CARGA PAGA (PASSAGEIROS)	COMPRIMENTO DE PISTA
ERI-145	20,04 m	29,87 m	20.600kgf	2 ALLISON AE 3007 A TURBOFANS	50 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.720 m (FAR 25, ISA)
B-737-600	34,32 m	31,25 m	65.560kgf	2 TURBO-FANS CFM56- 7818	130 ASSENTOS (CLASSE ÚNICA)	1.700 m (ISA; FLAPS:10°)
B-747-300	59,64 m	68,6 m	377.800kgf	4TURBO-FANS JT9D- 7R4G2	565 ASSENTOS (INCLUSOS 30 ASSENTOS NA 1ª CLASSE)	3.300 m (FAR; ISA)

Essas aeronaves foram selecionadas em função de aspectos econômicos contemporâneos do transporte aéreo, onde se subentende ideal, na aviação categoria transporte, o uso de aeronaves menores para que se tenha maior índice de aproveitamento de assentos oferecidos tal como se pode considerar para do B 737 da Boeing ou do ERJ 145 da EMBRAER e que, no caso específico desta última, pode-se ainda considerá-la como *feeder*, auxiliando no aumento de demanda de passageiros para aeronaves do tipo *wide bodies*, aeronaves de "corpo largo" com elevada capacidade em assentos, melhorando o desempenho financeiro destas a até viabilizar o seu uso em determinadas rotas (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.3 - Trem de pouso

Trem de pouso é o nome dado ao conjunto de sustentação da aeronave para a fase terrestre de suas etapas de vôo, é composto geralmente por bequilha ou perna de nariz e pelas pernas principais, tal como se apresenta na Figura 2.19 e na Figura 2.20.

O trem de pouso de uma aeronave destina-se à sua sustentação nos movimentos terrestres bem como durante sua permanência em rampa ou em decolagem no pátio ou em hangar. Durante o movimento terrestre da aeronave, o trem de pouso deve amortecer o impacto advindo do movimento vertical no pouso e os impactos inerentes do movimento a alta velocidade sobre o pavimento de pistas de pouso e de decolagem em função de irregularidade superficial, além de facilitar as manobras realizadas pela aeronave.

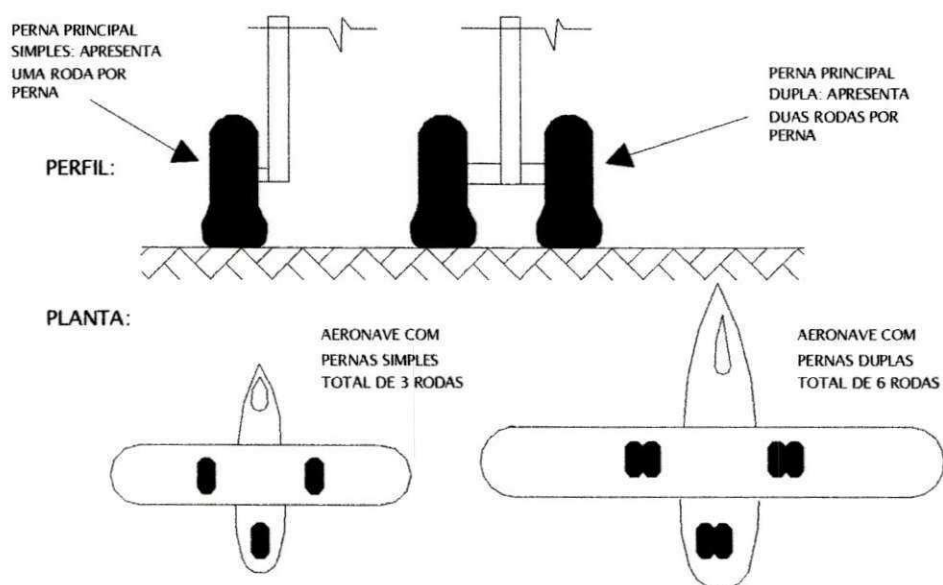


Figura 2.19 - Trens de pouso típicos (PAIVA E PEIXOTO, 2003).



Pernas principais –tandem duplo



Bequilha ou perna de nariz - dupla

Figura 2.20 - Trens de pouso típicos.

Segundo HORONJEFF (1966), para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários considera-se, geralmente, 95% do peso da aeronave sobre as pernas principais. Assim, essas definem o carregamento para projeto dos pavimentos aeroportuários. A fragilidade do trem de pouso de aeronaves pesadas impede o pouso com peso elevado, sendo, portanto, *o momento de decolagem tipicamente o crítico para efeito de projeto e a aeronave sob peso máximo.*

A Figura 2.21 ilustra para diferentes tipos de pernas principais sua geometria, relativos a trens de pouso desde pequenas aeronaves da aviação geral a aeronaves wide-bodies da aviação categoria transporte MEDINA (1997) e HORONJEFF (1966).

O trem de pouso distribui adequadamente a carga devida ao peso notavelmente elevado das aeronaves da categoria transporte para que a espessura dos pavimentos não seja exagerada bem como não comprometa a estabilidade do material superficial em função de elevadíssimo esforço de cisalhamento oriundo das cargas concentradas sobre o revestimento.

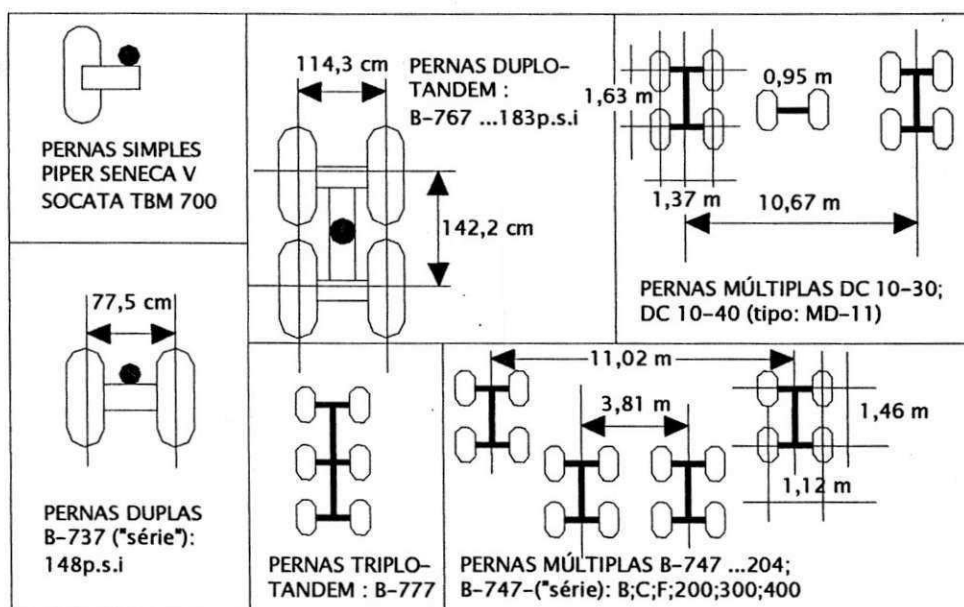


Figura 2.21 – Tipos de pernas principais (PAIVA E PEIXOTO, 2003).

2.2.4 - Propriedades físicas e mecânicas de materiais utilizados em pavimentos de aeroportos

Para que se possa projetar um pavimento de aeroporto, deve ser realizado um estudo do subleito e dos materiais a serem utilizados na pavimentação, sobre comportamento dos mesmos em função do tráfego e da aplicação de cargas e considerar as condições climáticas e de drenagem.

Em síntese, na escolha de um projeto de pavimentação, devem-se levar em conta alguns fatores, entre eles pode-se destacar: estudo dos solos, estudo do subleito, previsão do tráfego e drenagem.

2.2.4.1 - Estudo dos solos

O Estudo dos solos consiste no estudo geotécnico e econômico para aproveitamento de material existente e escolha do tipo de pavimento a ser adotado, se flexível ou rígido.

2.2.4.2 - Estudo do subleito

No estudo do subleito são realizados ensaios em laboratório para caracterização do material do subleito (granulometria e índices físicos), ensaio de compactação, CBR, sondagens para identificação das várias camadas e determinação da profundidade do lençol d'água.

2.2.4.3 - Previsão do tráfego

Para previsão do tráfego é elaborado um estudo sobre o volume de tráfego do aeroporto, suas partidas anuais bem como são classificadas as aeronaves.

2.2.4.4 - Condições climáticas

Sobre as condições climáticas são realizadas estimativas das temperaturas médias anuais.

2.2.4.5 - Drenagem

Para segurança das aeronaves e uma conservação melhor do pavimento, é indispensável definir um sistema adequado de drenagem das águas superficiais e subterrâneas.

2.3 - MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

Para o dimensionamento de pavimentos aeroportuários, podem-se destacar dois métodos:

- Método da FAA (Federal Aviation Administration);
- Método do Instituto do Asfalto – AI (Asphalt Institute).

2.3.1 - Método da FAA

O método de dimensionamento da FAA consiste essencialmente na comparação das condições locais com a análise estatística dos solos, da drenagem, dos efeitos do congelamento das camadas, das cargas, tendo em vista o comportamento real do pavimento em serviço (HORONJEFF, 1966). Nesse método deve-se levar em consideração alguns fatores: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc.

2.3.1.1 - Investigação do solo

As informações dos vários tipos de solos são essenciais, e com isso, são necessárias investigações para obtenção da distribuição dos tipos de solo e suas propriedades físicas. Essas informações, combinadas com os dados de topografia e do clima da região, fornecem subsídios para o planejamento básico e o desenvolvimento lógico do dimensionamento do pavimento. A investigação das condições do solo de aeroportos sugeridas pela FAA inclui: inventário, amostragem, ensaios, aproveitamento, drenagem, custos.

Inventário

São estimados os arranjos das diferentes camadas do perfil do solo com relação à estrutura proposta sobre o subleito.

Amostragem

São coletadas amostras representativas das camadas do solo.

Ensaio

São realizados ensaios das amostras para estimativa das propriedades físicas e mecânicas dos vários materiais.

Aproveitamento

São sugeridos estudos sobre os possíveis aproveitamentos dos materiais para o uso na construção da estrutura do pavimento.

Drenagem

São sugeridos estudos do escoamento das águas superficiais e subterrâneas para que seja construído um sistema de drenagem adequado e que não ocorram danos ao pavimento.

Custos

A FAA evidencia que as condições do solo e o preço local dos materiais são itens importantes na elaboração do orçamento durante a fase de projeto do pavimento do aeroporto. O custo do movimento de terra, do lançamento do greide, está diretamente relacionado com o nível de dificuldade dos serviços de escavação e de compactação a serem executados.

2.3.1.2 Considerações sobre aeronaves

No método de dimensionamento sugerido pela FAA alguns fatores, relacionados com o tipo de aeronave, são considerados essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

Peso máximo de decolagem

O método de dimensionamento baseia-se no peso bruto da aeronave. Para fins de projeto, o pavimento deve ser dimensionado para o peso máximo de decolagem da aeronave.

Tipo e geometria do trem de pouso

O tipo e a configuração do trem de pouso indica como o peso da aeronave está distribuído sobre o pavimento, o que configura em informação importante para quem o dimensiona. O tipo trem de pouso da aeronave pode ser classificado da seguinte forma:

- eixo simples (single gear aircraft);
- eixo duplo (dual gear aircraft);
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) entre os eixos das rodas;
 - aeronaves pesadas o espaço entre duas rodas é de 34 polegadas (0,86m)
- eixo tandem duplo;
 - aeronaves leves o espaço entre duas rodas é de 20 polegadas (0,51 m) e tandem de 45 polegadas (1,14m);

- aeronaves pesadas o espaço entre rodas é de 30 polegadas (0,76m) e entre tandem de 55 polegadas (1,40 m).

Pressão dos pneus

A pressão dos pneus varia entre 75 e 200 psi (516 a 1380kPa) dependendo do tipo de trem de pouso.

2.3.1.3 - Aeronave de projeto

Para o dimensionamento do pavimento a aeronave de projeto é aquela que requer a maior espessura do pavimento. Cada tipo de aeronave que constar na lista da previsão do número anual de decolagem, deverá ser avaliada. A aeronave de projeto deverá ser, necessariamente, a aeronave mais pesada.

2.3.1.4 - Estimativa das partidas anuais equivalentes a partir da aeronave de projeto

O tráfego previsto é uma mistura dos vários tipos de aeronaves as quais possuem diferentes tipos de trem de pouso e diferentes pesos. Os efeitos do tráfego devem ser estimados em função da aeronave de projeto. Todas as aeronaves devem ser convertidas para o mesmo tipo de trem de pouso da aeronave de projeto, através do uso de fatores de conversão.

A estimativa e a projeção das partidas anuais de aeronaves são necessárias e essenciais ao dimensionamento da estrutura do pavimento pelo método da FAA. O número equivalente de decolagens da aeronave de projeto denominado, R_1 , é estimado a partir da fórmula:

$$\text{Log}R_1 = \text{log} R_2 \cdot \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$$

(2.14)

Sendo:

R_1 – número equivalente anual de operações da aeronave de projeto;

R_2 – número de operações da aeronave em questão;

W_1 – carga na roda da aeronave de projeto;

W_2 – carga na roda da aeronave em questão.

2.3.1.5 - Seções típicas

Os pavimentos de aeroporto são geralmente construídos em seções de largura uniforme. As pistas de rolamento podem ser construídas com seção transversal variável se for viável economicamente, ou seja, numa seção variável ocorre reduções na quantidade de material requerido para as camadas superiores da pista, entretanto a sua execução é complexa, o que poderá inviabilizar economicamente este tipo de estrutura. O projeto típico e o desenho das seções para pavimentos de seção variável são ilustrados na Figura 2.22.

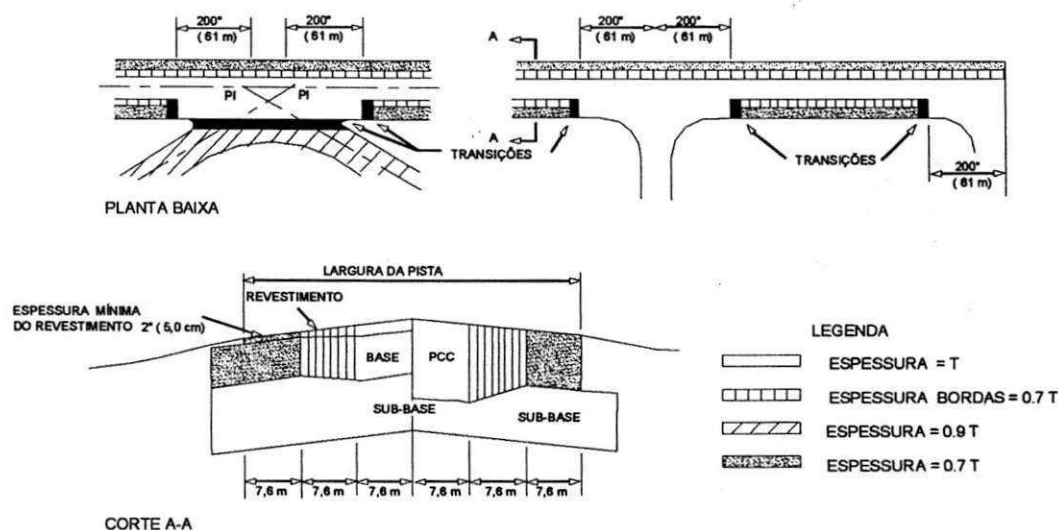


Figura 2.22- Seções transversais típicas para pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).

2.3.1.6 - Classificação segundo o peso das aeronaves

O método sugerido pela FAA utiliza o peso máximo da aeronave (gross weight) assumindo duas formas de cálculo para o dimensionamento da estrutura do pavimento, a saber:

- para valores > 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves pesadas
- para valores < 13.000 kg (30.000 lb)– aeronaves leves

2.3.1.7 - Propriedade mecânica do subleito

A estrutura do pavimento flexível a ser estimada é baseada no Índice de Suporte Califórnia, ISC ou CBR. Para o dimensionamento de pavimentos rígidos o parâmetro utilizado é o coeficiente de recalque, K, baseado da teoria de Westergaard.

A Figura 2.29 ilustra, de forma resumida, a seqüência lógica do processo de dimensionamento de pavimentos de aeroportos pelo método da FAA.

A seguir serão descritas as etapas, em detalhes, do dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis para aeronaves que possuem peso máximo maior e menor que 13000kg (30,000lb).

2.3.1.8 - Aeronaves pesadas

O dimensionamento de aeronaves pesadas pelo método da FAA é realizado para pavimentos rígidos e para pavimentos flexíveis. A seguir serão descritas essas duas formas de dimensionamento.

Pavimento rígido

Os pavimentos rígidos para aeroportos são compostos de estrutura, placa, em concreto de cimento Portland sobre uma sub-base granular ou tratada assente sobre o subleito. A superfície de concreto deve ser antiderrapante, impedir a infiltração de água e fornecer suporte estrutural.

A sub-base deve fornecer um suporte estável e uniforme para as placas. A espessura mínima de 4 pol (100mm) é exigida para a sub-base. O subleito deve ser compactado, com grau de compactação (GC), maior ou igual a 90% para solos coesivos é igual a 100% para solos não coesivos. Em seções de corte, igual a 100% nos primeiros 15 cm do topo e 95% nos 46 cm abaixo.

Para a estimativa da espessura da placa, utilizam-se curvas (Figura 2.23) onde é necessário, além da aeronave de projeto, estabelecer quatro parâmetros, a saber:

- resistência à tração na flexão do concreto;
- módulo de reação do subleito;
- peso máximo de decolagem;
- numero equivalente de operações da aeronave de projeto (R_1).

A estimativa da espessura da placa é feita adotando-se a seguinte seqüência: Com o trem de pouso escolhido, entra-se com o valor da resistência a tração na flexão σ , em psi, traçando-se uma linha horizontal até interceptar o valor do módulo de reação do subleito, K; deste ponto traça-se uma linha vertical até o valor do peso máximo de decolagem, PMD; traça-se a partir daí uma linha horizontal até o valor das partidas anuais, R_1 , encontrando-se o valor da espessura da placa em polegadas. A Figura 2.24 ilustra a chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

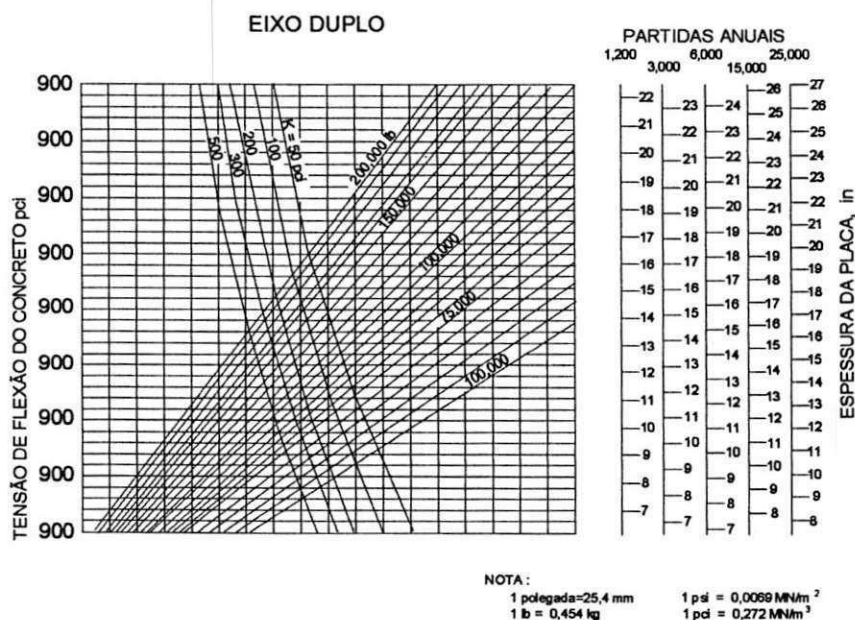


Figura 2.23 - Curva para o dimensionamento da espessura da placa (FAA, 1995).

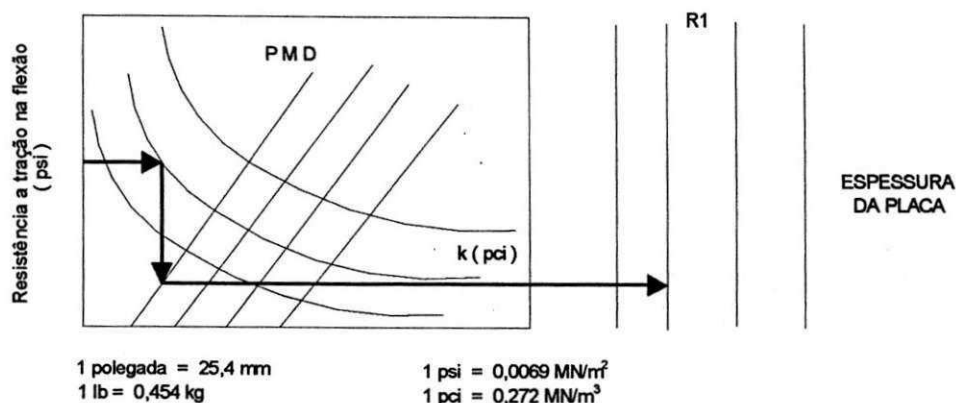


Figura 2.24- Chave do nomograma para o dimensionamento da placa.

Assim, determina-se o valor da espessura da placa para áreas críticas. Para áreas não críticas pode-se adotar o valor da espessura da placa = $0,9 T$, onde T é a espessura encontrada nas curvas.

Juntas

As juntas são colocadas nos pavimentos de concreto, para permitir a dilatação e a contração das placas, aliviando assim as tensões de empenamento e de atrito, e para facilitar a construção. Existem três tipos de juntas: juntas de dilatação, de contração e de construção.

Juntas de dilatação

As juntas de dilatação têm como principal função proporcionar espaço para a dilatação do pavimento, impedindo assim o aparecimento de tensões de compressão muito elevadas, que poderiam empenar o pavimento.

Juntas de contração

As juntas de contração são conhecidas também como juntas de seção enfraquecida, tendo a função de aliviar as tensões de tração devidas as variações de temperatura, umidade e atrito, controlando desse modo trincas espalhadas pela superfície do pavimento. São moldadas durante a construção ou serradas após o endurecimento do concreto. O espaçamento entre esse tipo de junta é entre 4,5 m e 6,0 m, podendo estender-se aos 7,5 m.

Juntas de construção

As juntas de construção são necessárias para facilitar a construção. Seu espaçamento depende da largura do pavimento, geralmente não excedendo 7,5 m.

Todas as juntas devem ser vedadas com material que impeça a infiltração de água e a penetração de poeira. A Figura 2.25 ilustra os diversos tipos de juntas.

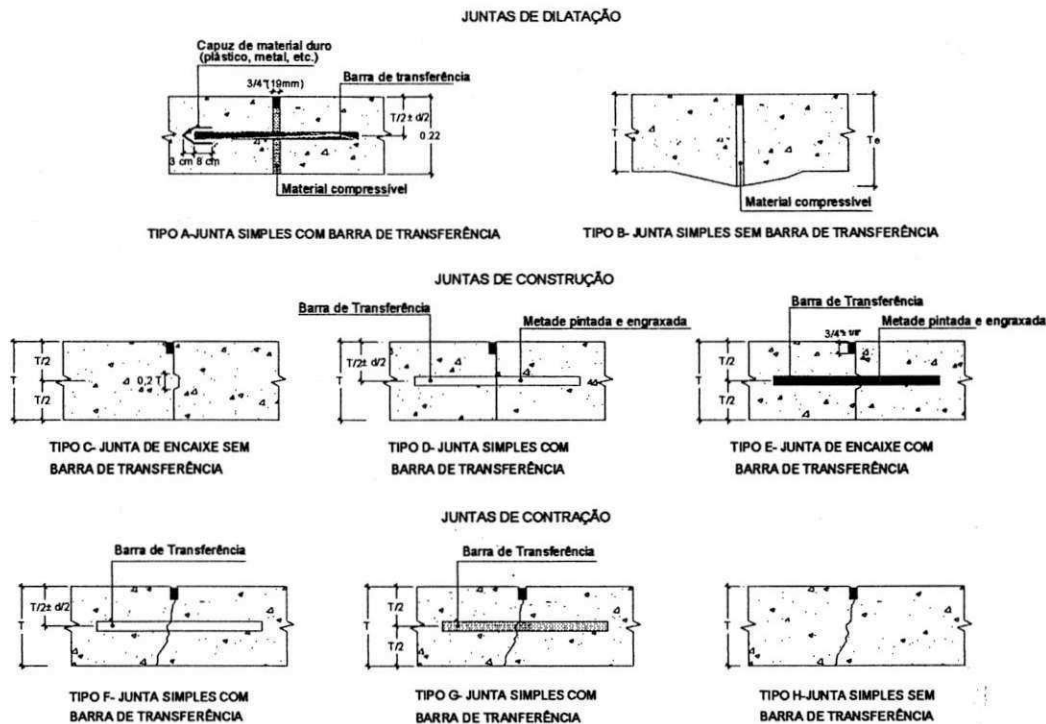


Figura 2.25 - Tipos de juntas para pavimentos rígidos (FAA, 1995)

Exemplo de dimensionamento de um pavimento rígido

Dados:

Aeronave com PMD = 350000lb (160.000 kg);

Eixo duplo;

$R_1 = 6000$;

$K = 100 \text{ pci}$ (25 MN/m^3);

Drenagem deficiente;

Penetração do degelo de 18 " (460 mm);

Pista principal requerendo 100% de proteção contra degelo;

Classificação do subleito: CL;

Resistência à tração na flexão = 650 psi (4,5 Mpa).

Estimativa de K no topo da sub-base

Com o valor da espessura da sub-base e o coeficiente de recalque do subleito, $K = 100 \text{ pci}$, estima-se o valor do K no topo da sub-base, sendo $K = 210 \text{ pci}$ (57 MN/m^3).

Estimativa da espessura da placa

Nas curvas da Figura 2.23, para o tipo de trem de pouso adequado, entra-se com o valor da resistência à tração na flexão de 650 psi, traça-se uma linha horizontal até o valor de $K = 210 \text{ pci}$, e a partir deste ponto traça-se uma linha vertical até o PMD = 350000lb.

Do ponto de interseção traça-se uma nova horizontal até o valor de $R_1 = 6000$, e encontra-se o valor estimado para a espessura da placa de 16,6 " (422 mm) \approx 17 " (430 mm).

Sabendo-se que a penetração do degelo é de apenas 18 "(460 mm) e a espessura da placa + espessura da sub-base = 17 + 6 = 23 "(585mm), não é necessária uma maior proteção contra o degelo.

Pavimento flexível

O pavimento flexível é composto por revestimento de Hot Mix Asphalt (HMA) ou CBUQ sobre uma camada de base, e quando requerido pelas condições do subleito possui sub-base. Serão descritos alguns conceitos básicos sobre estas camadas que compõem o pavimento.

Revestimento em CBUQ

O revestimento em CBUQ deve prevenir a penetração da água da superfície para a camada de base, fornecer uma superfície suave livre de partículas que poderiam trazer riscos para aeronaves ou pessoas e resistir às tensões de cisalhamento impostas pelas cargas das aeronaves.

Camada de base

A camada de base é o principal componente estrutural do pavimento flexível. A qualidade dessa camada depende da sua composição, das propriedades físicas e da compactação. Muitos materiais e combinações de materiais têm funcionado satisfatoriamente como camada de base. Eles são compostos de agregados selecionados, fortes e duráveis. Especificações sobre a qualidade dos componentes, granulometria, controle de manipulação e preparação de vários tipos de camadas de base para uso em aeroportos para aeronaves com cargas máximas $\geq 30,000$ libras (14000 kg) são as seguintes:

- Item P-208 – camada de base de agregado
- Item P-209 – camada de base de agregado britado
- Item P-211 – camada de base com rocha calcárea
- Item P-304 – camada de base de solo-cimento
- Item P306 – camada de sub-base em concreto magro
- Item P-401- pavimento em CBUQ.

O item P-208, usado como camada de base é limitado para pavimentos designados para aeronaves com carga pesadas de 60,000lb (27000kg) ou menos. Quando este material é utilizado como camada de base, a espessura do revestimento deve sofrer um incremento de uma polegada (25 mm) da designada nas curvas de projeto.

Sub-base

A Sub-base é parte integrante do pavimento flexível em todos os pavimentos, exceto naqueles onde o valor do CBR do subleito é 20% ou maior (geralmente solos tipo GW e GP). Especificações sobre a qualidade dos componentes, distribuição dos tamanhos dos grãos, controle de manipulação e preparação de vários tipos de camadas de base para uso em aeroportos para aeronaves com cargas máximas $\geq 30,000$ libras (14000 kg) são as seguintes:

- Item P-154 – camada de sub-base
- Item P-210 – camada de base em solo cal

Item P-212 – camada de base em material de dureza pétrea

Item P-213 – camada de base areno-argilosa

Item P-301 – camada de base de solo-cimento.

Subleito

A habilidade de um solo em particular para resistir ao cisalhamento e as deformações variam com sua densidade e teor de umidade. As condições não usuais dos solos do subleito devem ser investigadas segundo o que especifica o item P-152 da FAA AC150/5320-6D.

Dimensionamento

Para que se possa dimensionar um pavimento flexível, alguns parâmetros devem ser conhecidos, são estes:

- CBR do subleito e da sub-base;
- partidas anuais;
- peso máximo de decolagem;
- tipo de aeronave.

Estimativa da espessura total do pavimento

Com os dados do CBR do subleito e da sub-base, do tipo de aeronave, PMD, e com gráficos específicos para cada tipo de aeronave (Figura 2.26). Lança-se, a partir do valor do CBR do subleito no eixo das abscissas, uma reta vertical até interceptar a curva do peso máximo de decolagem, a partir desta, lança-se uma reta horizontal até interceptar a curva de partidas anuais. Deste ponto lança-se uma reta vertical para descendente, obtendo-se assim o valor da espessura total do pavimento (Figura 2.27).

Estimativa da espessura da sub-base

O procedimento é semelhante ao descrito acima, entrando-se agora com o valor do CBR da sub-base e estimando o valor da combinação entre revestimento e base.

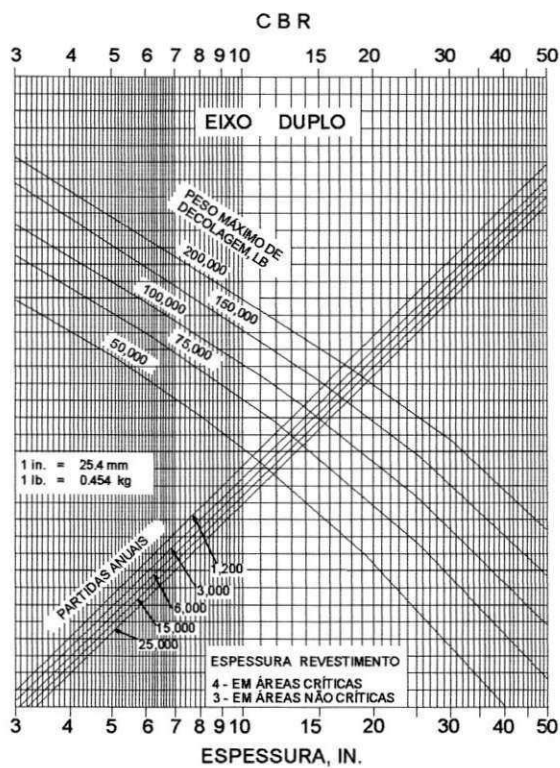
A espessura da sub-base é a diferença entre a espessura total do pavimento e a combinação de base e revestimento.

Estimativa da espessura do revestimento

Na Figura 26 estão inseridos os valores para a espessura do revestimento, que por sua vez, são em função do tipo de área a ser pavimentada, enquadrando-se como área crítica ou como área não crítica. A definição de área crítica está relacionada a um critério subjetivo, no qual o projetista deve levar em consideração o nível de solicitação de cargas das aeronaves sobre as áreas a serem revestidas.

Estimativa da espessura da base

A espessura da base é obtida por diferença da espessura do revestimento e da sub-base.



Figuras 2.26- Curvas para o dimensionamento da estrutura do pavimento flexível (FAA, 1995).

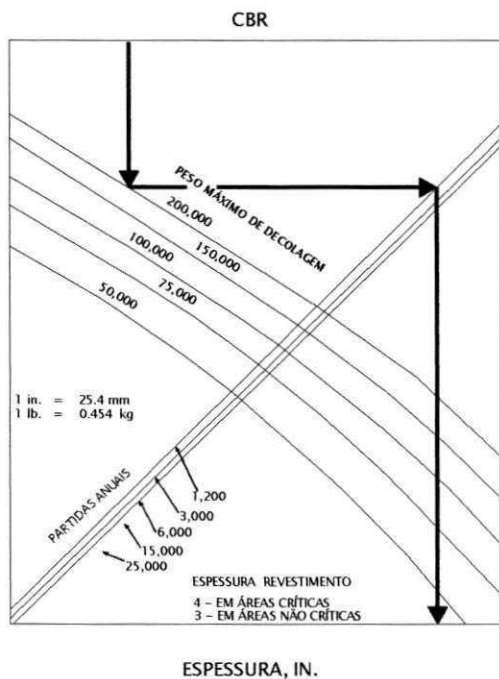


Figura 2.27 – Chave para o nomograma de dimensionamento da estrutura do pavimento flexível (FAA, 1995).

O valor encontrado é comparado com os valores da Tabela 2.3 onde estão sugeridos valores mínimos para espessura da base de acordo com o tipo da aeronave.

Tabela 2.3 - Espessura mínima da camada de base (FAA, 1995).

AERONAVE DE PROJETO	PESO MÁXIMO DE DECOLAGEM		ESPESSURA MÍNIMA DA CAMADA DE BASE	
	lbs.	(kg)	in.	(mm)
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	22.700 - 90.700	8	200
TANDEM DUPLO	100,000 - 250,000	22.700 - 113.400	6	150
	250,000 - 400,000	22.700 - 181.000	8	200
757	200,000 - 400,000	90.700 - 181.000	6	150
767				
DC - 10	400,000 - 600,000	181.000 - 272.000	8	200
L 1011				
B - 747	400,000 - 600,000	181.000 - 272.000	6	150
	600,000 - 850,000	272.000 - 385.700	8	200
C - 130	75,000 - 125,000	34.000 - 56.700	4	100
	125,000 - 175,000	56.7000 - 79.400	6	150

A espessura total do pavimento é designada por T. Para as áreas não críticas utilizam-se fatores para determinação das espessuras do pavimento. O fator 0,9T é utilizado para áreas não críticas e aplicado somente para as espessuras de base e sub-base. O fator 0,7T é utilizado para as bordas e seções variáveis de transição; essa redução é aplicada apenas na espessura da base (Figura 2.22).

Exemplo de dimensionamento de um pavimento flexível

Dados:

Aeronave – eixo duplo;

PMD = 75.000 lb (34000kg);

$R_1 = 6.000$

$CBR_{\text{subleito}} = 20 \%$

$CBR_{\text{sub-base}} = 6 \%$

Para áreas críticas

Estimativa da espessura total do pavimento

Com os dados do CBR do subleito e da sub-base, do tipo de aeronave, PMD, lança-se em gráfico (Figura 2.26) uma reta vertical a partir do valor do CBR do subleito = 6% ,até tocar a reta do peso máximo de 75.000 lb. A partir dessa interseção, traça-se uma reta horizontal até tocar a reta das partidas anuais, que no caso é de 6.000. Deste ponto traça-se uma linha vertical para baixo, obtendo-se assim o valor da espessura total do pavimento.

A espessura total do pavimento encontrada foi o valor de 23 in (584 mm).

Estimativa da espessura da sub-base

O procedimento é semelhante ao descrito anteriormente, entrando-se agora com o valor do CBR da sub-base =20%. Encontra-se então o valor da combinação entre revestimento e base que é igual a 9.5in (241mm).

Sabendo-se que a espessura da sub-base é a diferença entre a espessura total do pavimento e a combinação de base e revestimento, tem-se:

$$23-9.5 = 13.5 \text{ in (343mm)}.$$

Estimativa da espessura do revestimento

Pode-se perceber que no gráfico referido, existem dois valores para a espessura do revestimento.

Para áreas críticas = 4in (100mm)

Para áreas não críticas = 3in (76mm)

Estimativa da espessura da base

A espessura da base é obtida subtraindo-se a espessura do revestimento, da combinação encontrada da base e revestimento.

Assim,

$$9.5 - 4.0 = 5.5 \text{ in (150mm)}$$

O valor encontrado é comparado com os valores da Tabela 2.3, que apresenta valores mínimos para a espessura da base de acordo com o tipo da aeronave, adota-se o maior valor. Assim, as espessuras para áreas críticas são as seguintes:

Revestimento = 4 in (100mm)

Base = 6 in (200mm)

Sub-base = 13.5 in (343 mm)

Para áreas não críticas

A espessura total do pavimento é designada por T. Para as áreas não críticas utilizam-se fatores para determinação das espessuras do pavimento.

- 0,9T - é o fator utilizado para áreas não críticas, aplicado para base e sub-base;

- 0,7T - é utilizado para as bordas e seções variáveis da transição a redução é aplicada apenas na base.

No exemplo anterior temos então:

$$0,9 T = 0,9 \times 23 = 20.7 \text{ in}$$

Para a sub-base + revestimento = 9,5 (encontrado no gráfico) x 0,9 =8.55 in

Logo, com o valor do revestimento dado no gráfico para áreas não críticas de 3in, temos:

$$\text{sub-base} = 8,55 - 3 = 5.55 \text{ in}$$

$$\text{base} = 20.7-8.55= 12.15 \text{ in}$$

2.3.1.9 - Aeronaves leves

O dimensionamento do pavimento de aeroporto para aeronaves leves (peso máximo $< 13000\text{kg}$) é semelhante ao de aeronaves com peso máximo $> 13000\text{ kg}$, ele se baseia no CBR do subleito e da sub-base, utilizando-se de gráficos para o seu dimensionamento. Há, no entanto, algumas diferenças básicas, como é o caso do dimensionamento das seções típicas onde não há distinção entre as áreas críticas e não críticas.

A seguir serão descritas as etapas para o dimensionamento dos pavimentos flexível e rígido para aeronaves leves.

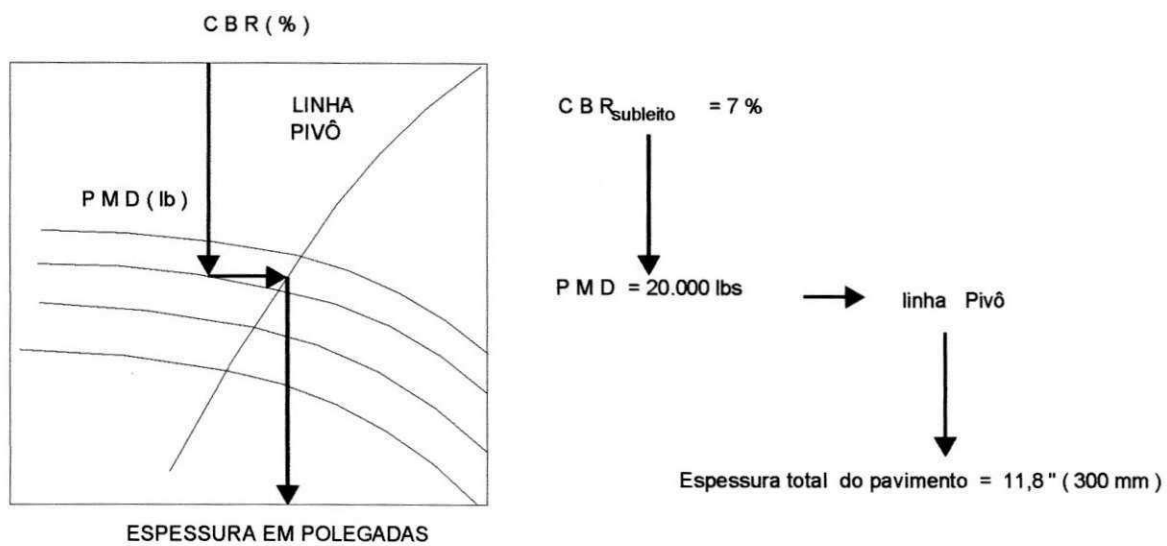
Pavimento rígido

Não são apresentadas curvas para dimensionamento desse tipo de pavimento, são adotadas duas espessuras: Para aeronaves com peso máximo $\leq 57000\text{ kg}$ (12,500 lb) a espessura do pavimento deve ser de 5 polegadas; já para aeronaves com peso máximo entre 57000kg (12,500 lb) e 13000kg (30,000 lb) a espessura recomendada é de 150mm (6 pol).

As juntas para pavimentos com cargas leves devem ter um espaçamento de 3,8 m para as juntas longitudinais e 4,6 m para as transversais.

Pavimento flexível

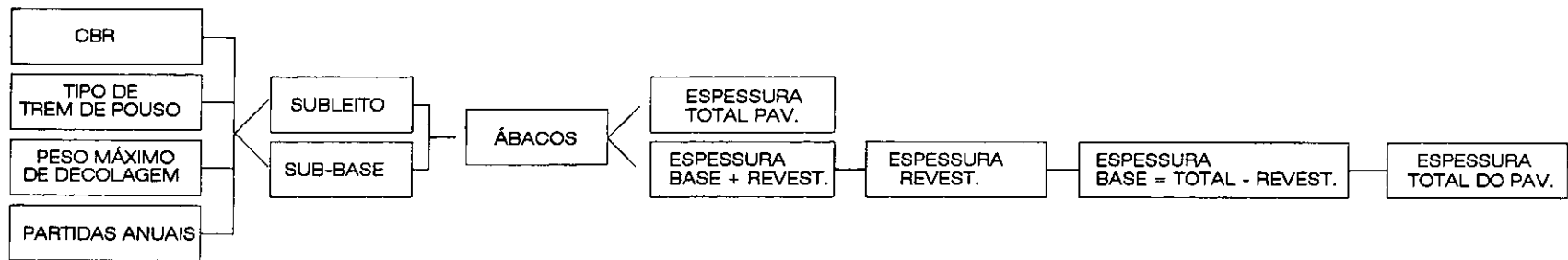
Para o dimensionamento do pavimento flexível, deve-se ter conhecimento do $\text{CBR}_{\text{subleito}}$, do $\text{CBR}_{\text{sub-base}}$, e do peso máximo de decolagem da aeronave. Com o valor do CBR do subleito lança-se em gráfico específico para as aeronaves leves e encontra-se a espessura da estrutura do pavimento. Com o valor do $\text{CBR}_{\text{sub-base}}$, segue-se a mesma seqüência descrita anteriormente encontrando-se o valor da espessura da base + revestimento. Sabendo-se que a espessura mínima para o revestimento $\geq 2''$ determina-se então a espessura da base. Com os valores da espessura da base + revestimento e sabendo-se a espessura total encontra-se a espessura da sub-base. A chave do nomograma respectiva ao gráfico de aeronaves leves está inserida na Figura 2.28.



**Figura 2.28 – Chave para o Nomograma de dimensionamento do pavimento flexível
aeronaves leves (FAA, 1995).**

A Figura 2.29 ilustra a seqüência lógica do método de dimensionamento de pavimentos de aeroportos adotado pela FAA, tanto para pavimentos flexíveis como para pavimentos rígidos.

PAVIMENTO FLEXÍVEL (FAA)



PAVIMENTO RÍGIDO (FAA)

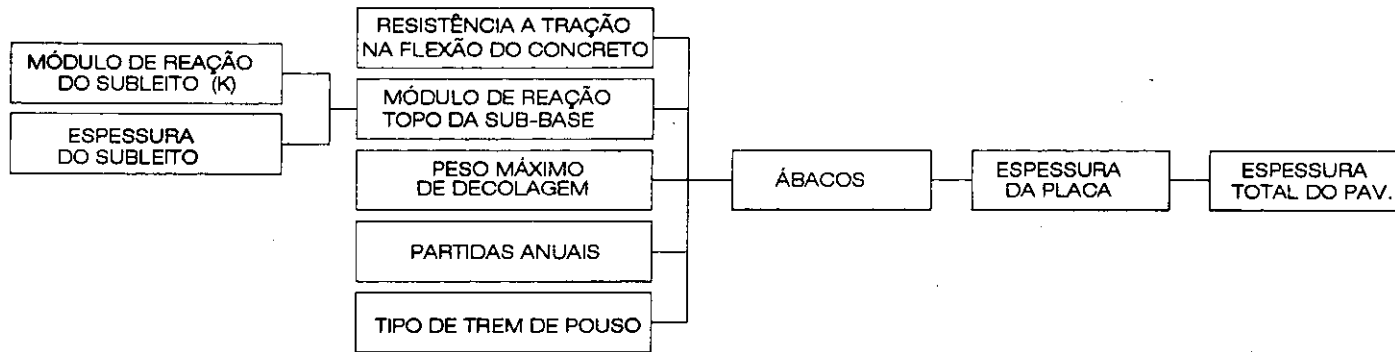


Figura 2.29 – Seqüência lógica para o dimensionamento de pavimentos pelo método da FAA

2.3.2 - Método do Asphalt Institute

O dimensionamento de pavimentos aeroportuários através do método do Asphalt Institute (AI) requer alguns elementos para a sua efetivação, dentre eles podem-se destacar:

- base teórica;
- condições ambientais;
- análise dos materiais;
- localização do projeto;
- análise do tráfego;
- análise da relação entre tensão e deformações no sistema de multicamadas.

2.3.2.1 - Base teórica

O método do instituto do Asfalto é baseado na teoria que um pavimento do tipo sistema elástico de multicamadas em "full-depth asphalt" – estrutura total do pavimento em concreto betuminoso. Com isso, supõe-se que a aplicação da carga no pavimento produz duas deformações "elásticas críticas", sendo elas: a deformação de tração horizontal, E_t , na base da camada de concreto asfáltico e a deformação de compressão vertical, E_c , no topo do subleito. Essas deformações são obtidas separadamente na análise do projeto. A localização e direção dessas deformações estão ilustradas na Figura 2.30.

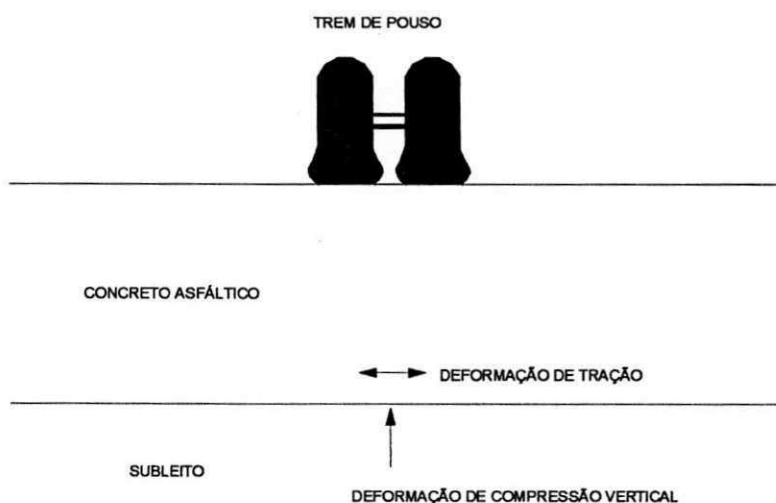


Figura 2.30- Localização e direção das deformações de tração e de compressão num pavimento "Full-Depth Asphalt" (Asphalt Institute, 1987).

O critério de dimensionamento em termos dos valores máximos admissíveis para as duas deformações críticas tem sido estabelecido e usado como a base para a seleção da espessura apropriada, T_A , do pavimento de "full-depth asphalt". O módulo $|E|$ (relação entre a tensão e a deformação elástica) do concreto asfáltico depende da temperatura.

A deformação de compressão vertical do topo do subleito é um indicativo da deformação permanente crítica na fundação do pavimento. Sua grandeza é maior quando o módulo do concreto asfáltico é relativamente baixo e a temperatura do pavimento é alta. Inversamente, quando o concreto asfáltico possui um valor do módulo alto, durante épocas de baixas temperaturas, a deformação de tração horizontal no topo da camada limite de asfalto, é crítica e, sob aplicações repetidas de cargas, trincas por fadiga podem ocorrer.

Para a estimativa da espessura de projeto, cada um dos dois tipos de deformação, E_c e E_t , é avaliado com relação a sua influência dentro dos limites dados, no comportamento do pavimento. São encontradas duas espessuras diferentes, uma para E_c e outra para E_t , portanto, a espessura final de projeto é selecionada como a maior entre as duas espessuras encontradas.

2.3.2.2 - Condições ambientais

A deformação de compressão vertical E_c , avaliada em temperaturas altas (módulo do concreto asfáltico baixo) e a deformação de tração horizontal E_t avaliada em temperaturas baixas (módulo do concreto asfáltico alto), constituem os dois critérios para projeto de pavimentos de "full-depth asphalt".

Uma análise detalhada tem estabelecido relações entre a temperatura anual e a espessura requerida para o pavimento para cada um dos critérios de projeto. Para satisfazer o critério de deformação de compressão do subleito, o valor das espessuras necessárias aumenta de acordo com o incremento da temperatura anual média. Enquanto que para satisfazer o critério deformação de tração do concreto asfáltico, as espessuras são requeridas em condições ambientais mais frias.

O efeito do meio ambiente, a partir da temperatura anual, na espessura de projeto é dada em razão das curvas de projeto no Capítulo V, Projeto estrutural de pavimentos de aeroporto, do manual nº11 do Asphalt Institute (Figura 2.31).

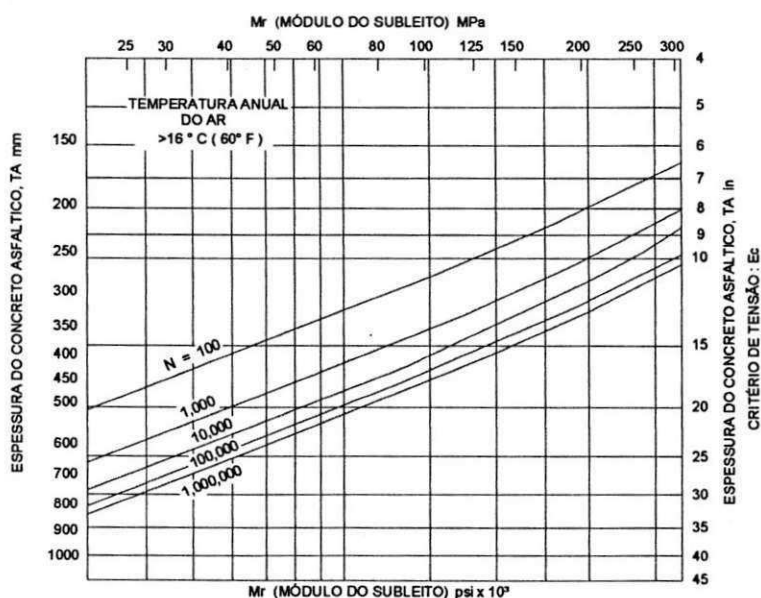


Figura 2.31 – Espessuras do concreto asfáltico em função do módulo de resiliência e tráfego para o critério de deformação E_c (Asphalt Institute, 1987).

2.3.2.3 - Análise dos materiais

O método de dimensionamento é baseado no uso da teoria da elasticidade e as propriedades das camadas do subleito e do concreto asfáltico são descritas através do módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*.

Todos os materiais considerados para uso em um pavimento asfáltico devem ser ensaiados e avaliados para que atendam as especificações exigidas. O método sugere a realização de avaliações do subleito e das misturas asfálticas que serão utilizadas na pavimentação.

Subleito

A relação entre a tensão e deformação no regime "elástico" do subleito é a base para o dimensionamento da espessura da estrutura do pavimento asfáltico. Seu valor, expresso pelo módulo de resiliência, M_r , é estimado a partir de ensaios realizados em amostras de solo coletadas.

O módulo de resiliência pode ser, também, estimado a partir de dados obtidos no ensaio de cargas repetidas ou por aproximação com o valor do CBR ou com o valor R (Hveen), ou ainda, por aproximação através do ensaio de placa. As relações matemáticas utilizadas na determinação aproximada do M_r são:

- M_r aproximado através do CBR:

$$M_r \text{ (MPa)} = 10.3 \times \text{CBR}$$

$$M_r \text{ (psi)} = 1500 \times \text{CBR}$$

- M_r aproximado através do valor R (stabilometer value):

$$M_r \text{ (MPa)} = 8.0 + 3.8 (R)$$

$$M_r \text{ (psi)} = 1155 + 555 (R)$$

- M_r aproximado através do ensaio de placa utiliza-se o gráfico da Figura 2.32.

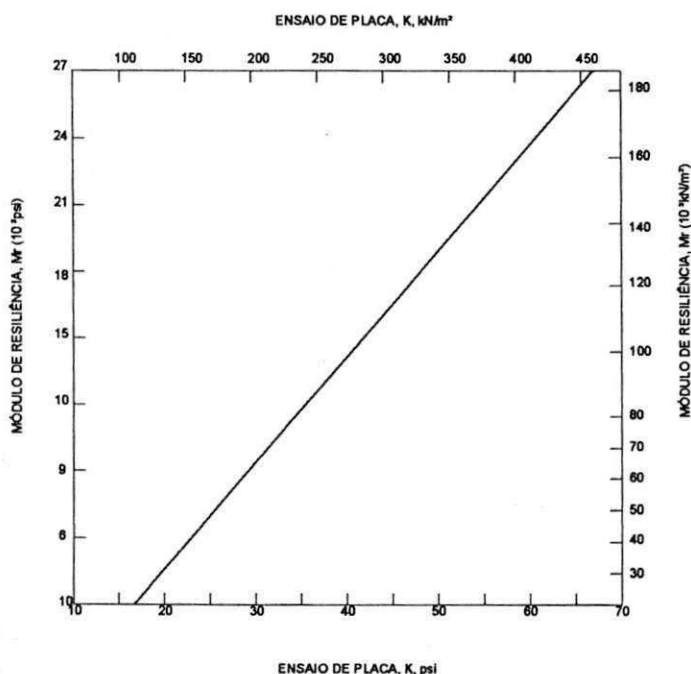


Figura 2.32 - Relação aproximada entre o valor da prova de carga em placas e o módulo de resiliência (M_r) (Asphalt Institute, 1987).

Os procedimentos para os ensaios citados anteriormente são descritos no manual de solos N°10 (MS-10) do Asphalt Institute.

O valor do subleito de projeto é definido como o valor do módulo de resiliência (M_r), o qual adota um valor maior ou igual 85% de todos os valores dos M_r .

Misturas agregado-asfalto

Para as camadas de base e revestimento dos pavimentos de aeroportos o AI sugere alguns tipos de misturas cujas dimensões máximas de agregados estão inseridas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Dimensões máximas de agregados (Asphalt Institute, 1987).

DIMENSÕES MÁXIMAS DO AGREGADO PARA BASE OU REVESTIMENTO			
FAA P 401*		ASTM D 3515 **	
mm	(pol)	mm	(pol)
30.0	(11/4)	37.5	(11/4)
24.0	(1)	25.0	(1)
19.0	(3/4)	19.0	(3/4)
12.5	(1/2)	12.5	(1/2)

Na Tabela 2.5 e na Tabela 2.6 estão inseridos os critérios sugeridos pelo AI para a escolha dos materiais de base e revestimento de acordo com os métodos de ensaios Hveem e Marshall.

Tabela 2.5 – Critérios mecânicos e físicos sugeridos pelo AI para escolha de Misturas asfálticas de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).

MÉTODO MARSHALL CRITÉRIO DE MISTURA	MISTURA DA BASE E REVESTIMENTO	
	MÍN.	MÁX.
COMPACTAÇÃO, NÚMERO DE GOLPES FINAL PARA CADA AMOSTRA		75
ESTABILIDADE N	8000 1800	—
FLUÊNCIA 0,25 mm (0.01 pol)	8	16
PORCENTAGEM DE VAZIOS DO AR	3	5
PORCENTAGEM DE VAZIOS NO AGREGADO MINERAL (VMA)	(ver figura IV-2)	
MÉTODO HVEEM CRITÉRIO DE MISTURA		
VALOR DO ESTABILÔMETRO - R	37	—
INCHAMENTO		MENOR QUE 0.762 mm (0.030 pol)

Tabela 2.6 - Critérios sugeridos pelo AI para a escolha dos materiais de base e revestimento (Asphalt Institute, 1987).

MATERIAL	USO	
	CAMADA DE BASE	CAMADA DE REVESTIMENTO
GRADUAÇÃO DO ASFALTO	AC-40 or AR 16000	AC-40 or AR 16000
GRAU DE VISCOSIDADE	AC-20 or AR 8000 AC-10 or AR 4000	AC-20 or AR 8000 AC-10 or AR 4000
GRAU DE PENETRAÇÃO	40-50 60-70 85-100	40-50 60-70 85-100
AGREGADO GROSSO	TODOS OS AGREGADOS BRITADOS	TODOS OS AGREGADOS BRITADOS
AGREGADO FINO	AGREGADO BRITADO, OU AREIA NATURAL, OU A MISTURA DOS DOIS	AGREGADO BRITADO, OU AREIA NATURAL, OU A MISTURA DOS DOIS
ADIÇÃO MINERAL FILLER	PÓ DE PEDRA, ESCÓRIA, PÓ DE GRANITO, CAL HIDRATADA CIMENTO PORTLAND OU SEMELHANTE	PÓ DE PEDRA, ESCÓRIA, PÓ DE GRANITO, CAL HIDRATADA CIMENTO PORTLAND OU SEMELHANTE
AGREGADO COMBINADO		
VALOR EQUIVALENTE DE AREIA	MÁXIMO DE 40	MÁXIMO DE 50
MISTURA FINAL		
RELAÇÃO FILLER/ASFALTO	MÁXIMO DE 1.2	MÁXIMO DE 1.2

2.3.2.4 - Localização do projeto

Em pátios, acessos e pistas de pouso e decolagem de aeroportos existem áreas mais solicitadas que as outras, são áreas preferenciais com alto grau de canalização de tráfego. Estas áreas estão submetidas a um fluxo maior de aeronaves, com pesos de decolagem relativamente altos e velocidades baixas. Estas áreas devem ser, preferencialmente, selecionadas como um local de projeto para estimativa da espessura máxima da estrutura do pavimento. Em áreas subjacentes, se faz necessário à redução da espessura da estrutura a partir de fatores sugeridos pelo AI.

2.3.2.5 - Análise do tráfego

A espessura ideal ou espessura de projeto é aquela que permite ao pavimento funcionar, sob condições de solicitações impostas pelo tráfego, com deformações que não variem ao longo de sua vida útil.

2.3.2.6 - Análise entre tensão e deformação em um sistema de multicamadas

Um procedimento racional, para calcular tensões e deformações em um sistema elástico de multicamadas e que subsidie a análise e projeto de pavimentos, é muito complexo. Um grande número de soluções de programas de computador é exigido por causa da variedade de aeronaves e dos módulos de elasticidade do concreto asfalto e do solo do subleito. Adicionalmente, a localização das deformações horizontais varia com o tipo de eixo das aeronaves, com a magnitude das cargas e com a razão modular das camadas do pavimento.

O procedimento de projeto de pavimento descrito no manual do AI considera todos os elementos citados anteriormente. Para isso, segundo os autores, foram realizadas análises teóricas com o auxílio de programas de computadores sofisticados no estudo da relação entre tensões e deformações. Portanto, as tensões e deformações não são parâmetros de entrada no método do AI, entretanto, ao utilizá-lo esses parâmetros são indiretamente computados.

2.3.2.7 - Processo de dimensionamento

Para estimar a espessura do pavimento pelo método do Instituto do Asfalto, é necessário estabelecer alguns parâmetros, a saber:

- módulo de resiliência do subleito;
- temperatura média anual;
- previsão do tráfego.

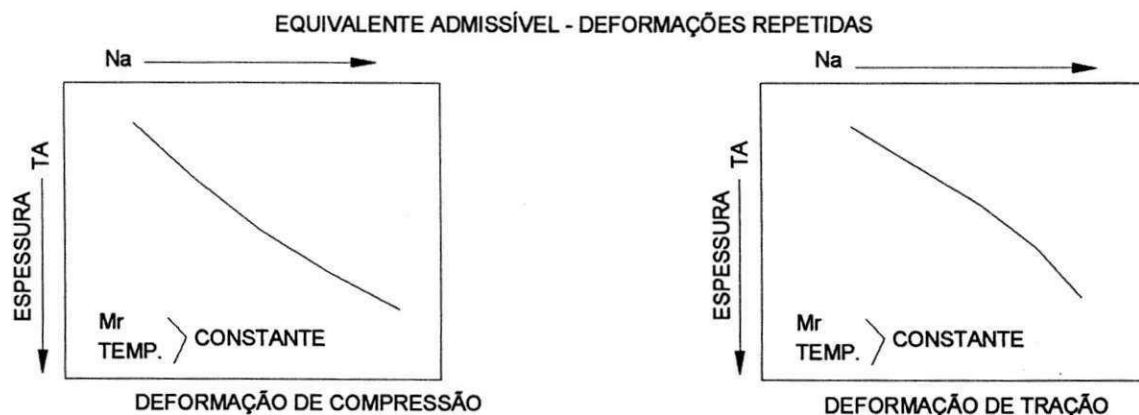
Módulo de resiliência (M_r)

O módulo de resiliência, M_r , é estimado através de ensaios em laboratório, de relações empíricas com o CBR, com o valor R (stabilometer value, Hveem), ou com o coeficiente de recalque, K.

Estimativa do tráfego admissível (N_a)

Com o valor do M_r e da temperatura média anual, e a partir das curvas sugeridas no capítulo V do manual MS-11 do Asphalt Institute (Figura 2.33), estima-se as espessuras, em concreto asfáltico, da estrutura do pavimento e o tráfego equivalente admissível (N_a), relativos às deformações E_c e E_t .

Com o valor dessas espessuras e com os valores dos tráfegos, lança-se em gráfico a curva do N_a (tráfego admissível) relativos às deformações E_c e E_t .



Figuras 2.33 - Curvas do N_a (tráfego admissível), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).

Estimativa do tráfego previsto (N_p)

Para estimativa do tráfego previsto, N_p , é elaborada uma tabela com os valores do tráfego, das áreas críticas de projeto, onde são anotados em colunas os tipos de aeronaves e os valores do tráfego acumulado correspondentes (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Tipos de aeronaves e valores de tráfego acumulado

AERONAVE	0-5		5-10		10-15		15-20	
	COL. A	COL. B	COL. A	COL. B	COL. A	COL. B	COL. A	COL. B
B757	7,300	7,300	21,900	29,200	43,800	73,000	76,000	149,000

Os dados do tráfego acumulado são transferidos para a Tabela 2.8, de acordo com o período solicitado para um período de projeto entre 15 a 20 anos. Anota-se para cada tipo de aeronave, o tráfego equivalente para repetição de deformação da aeronave para várias distâncias da linha central, que é obtida através da curva mostrada na Figura 2.34, para cada espessura T_A e circula-se o valor máximo para cada uma.

Tabela 2.8 – Tráfego de aeronaves e espessuras equivalentes

TIPO DE TENSÃO : E_c PERÍODO DE PROJETO : 20 ANOS

AERONAVE	MOVIMENTOS NO PERÍODO DE PROJETO	DISTÂNCIA DA LINHA CENTRAL , x				
		1.8 m (6ft)	2.7 m (9ft)	3.7 m (12ft)	4.6 m (15ft)	5.5 m (18ft)
ESPESSURA, $T_A= 250$ mm (10 in)						
	149,000	210	330	390	350	250
SOMA		210	330	390	350	250
ESPESSURA, $T_A= 510$ mm (10 in)						
	149,000	160	240	270	250	180
SOMA		160	240	270	250	180
ESPESSURA, $T_A= 760$ mm (10 in)						
	149,000	230	340	390	350	260
SOMA		230	340	390	350	260
ESPESSURA, $T_A= 1020$ mm (10 in)						
	149,000	620	1,100	1,300	1,200	800
SOMA		620	1,100	1,300	1,200	800

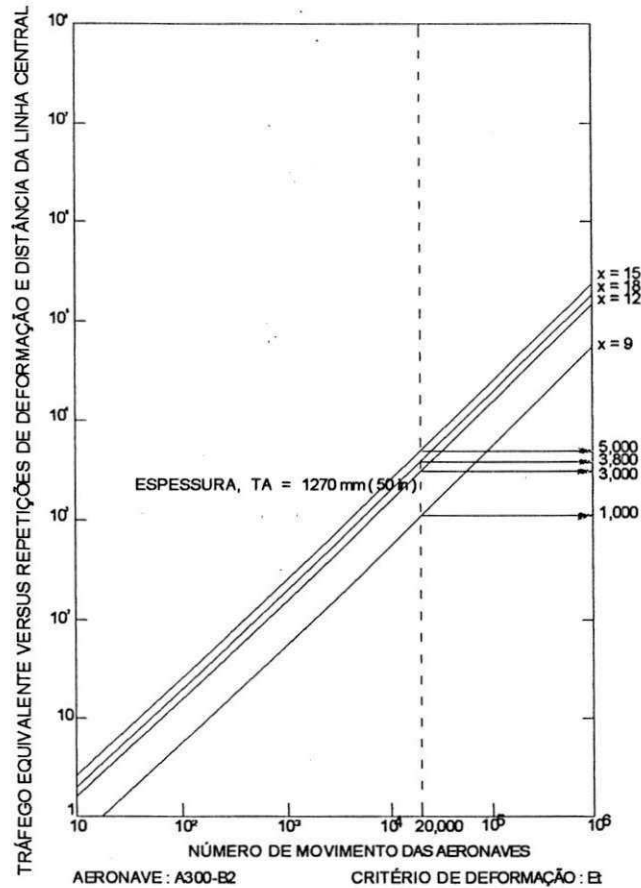
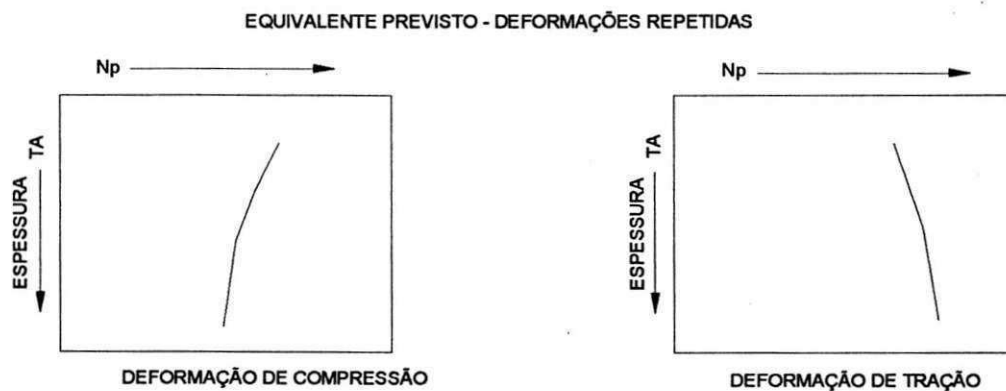


Figura 2.34 – Roteiro para o uso dos diagramas de tráfego equivalentes versus deformações (Asphalt Institute, 1987).

Com o valor das espessuras e com os valores respectivos dos tráfegos, lança-se em gráfico a curva do N_p (tráfego previsto) relativos às deformações de compressão no topo do subleito e de tração na face inferior da camada de concreto asfáltico, E_c e E_t (Figura 2.35).



Figuras 2.35 - Curvas do N_a (tráfego previsto), para E_c e para E_t (Asphalt Institute, 1987).

A união das curvas de tráfego, admissível e previstos, com as espessuras, relativas às deformações de tração e de compressão, constitui a solução gráfica para estimativa da espessura total de projeto T_A . A espessura a ser adotada para o projeto, T_A , será, entre as estimadas para respectivas deformações, a maior. A Figura 2.36 ilustra esse procedimento.

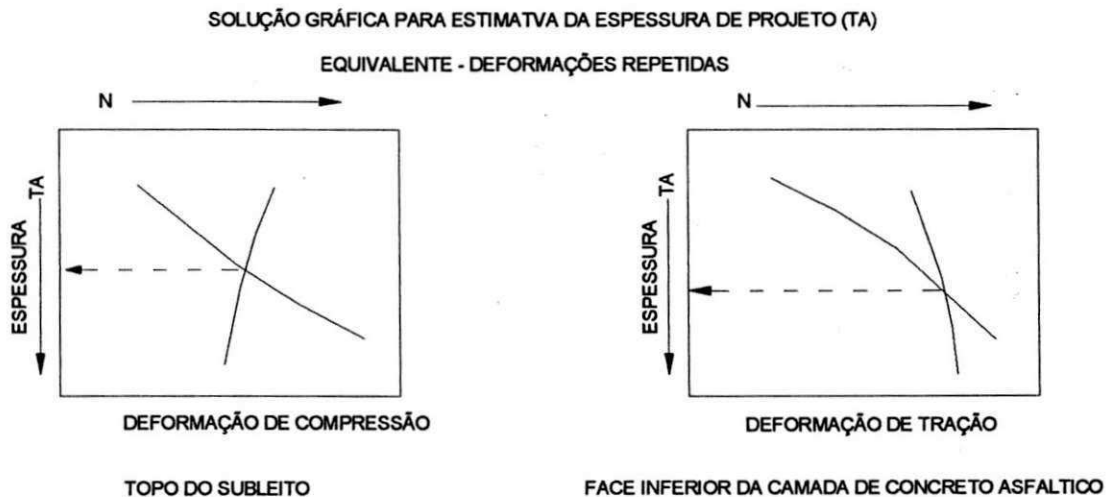


Figura 2.36 – Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A (Asphalt Institute, 1987).

Exemplo de dimensionamento

Dados:

Aeronave: B757-200
 $M_r = 48,3 \text{ MPa}$ (7000 psi)
 $t = 16^\circ \text{ C}$ (60° F)

Estimativa do N_e

Com o valor do M_r e da temperatura média anual, através da curva da Figura 2.31 encontram-se os seguintes valores de T_A para N diferentes:

Para o critério E_c

N	100	1000	10000	100000	1000000
T_A	14,8	18,5	21,6	23,0	24,0

Para o critério E_i

N	100	1000	10000	100000	1000000
T_A	6,6	9,8	14,6	22,0	33,5

Estimativa do N_p

Uma tabela com os valores do tráfego acumulado, das áreas críticas de projeto, é construída (Tabela 2.7). Através da curva mostrada na Figura 2.34, para o tipo de aeronave solicitada encontram-se os valores do tráfego equivalente para repetição de deformação da aeronave para várias distâncias da linha central, para cada espessura T_A e circula-se o valor máximo para cada uma (Tabela 2.8).

Estimativa de T_A final

Lança-se em um mesmo gráfico as curvas do tráfego admissível (N_a) e tráfego previsto (N_p) para os dois critérios de deformação E_c e E_t (Figura 2.37 e Figura 2.38), e obtém-se o valor estimado para T_A . Assim, o valor de T_A é o maior entre os dois valores encontrados para espessura total do pavimento, da intersecção das curvas de N_a e N_p . T_A estimado é igual a 16.5 in.

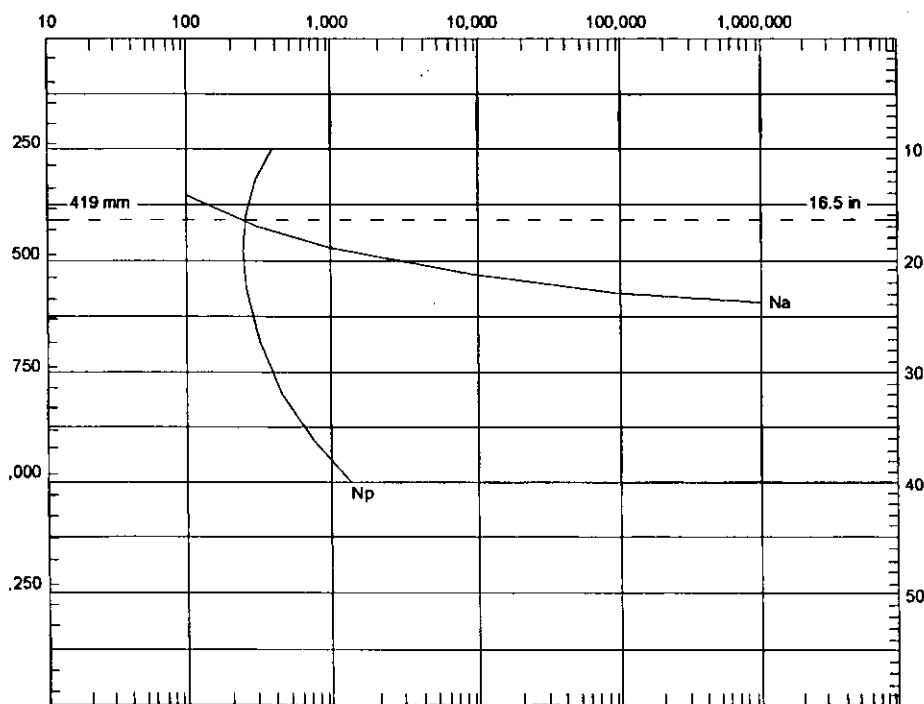


Figura 2.37 – Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_c .

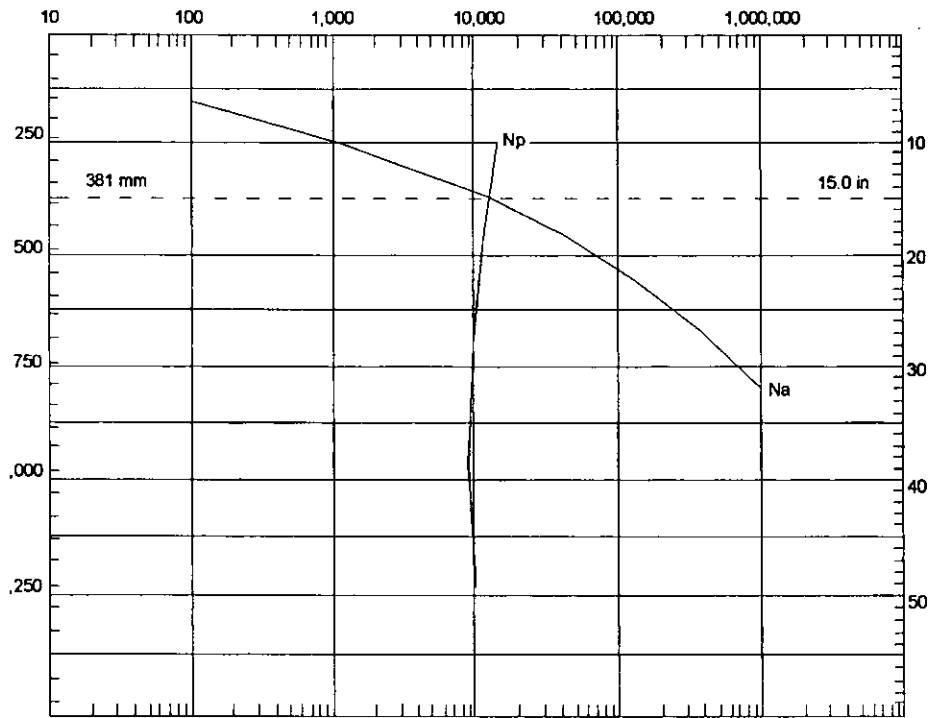


Figura 2.38 – Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A critério E_1

A Figura 2.39 ilustra, de forma resumida, o processo de dimensionamento de um pavimento aeroportuário pelo método do Asphalt Institute.

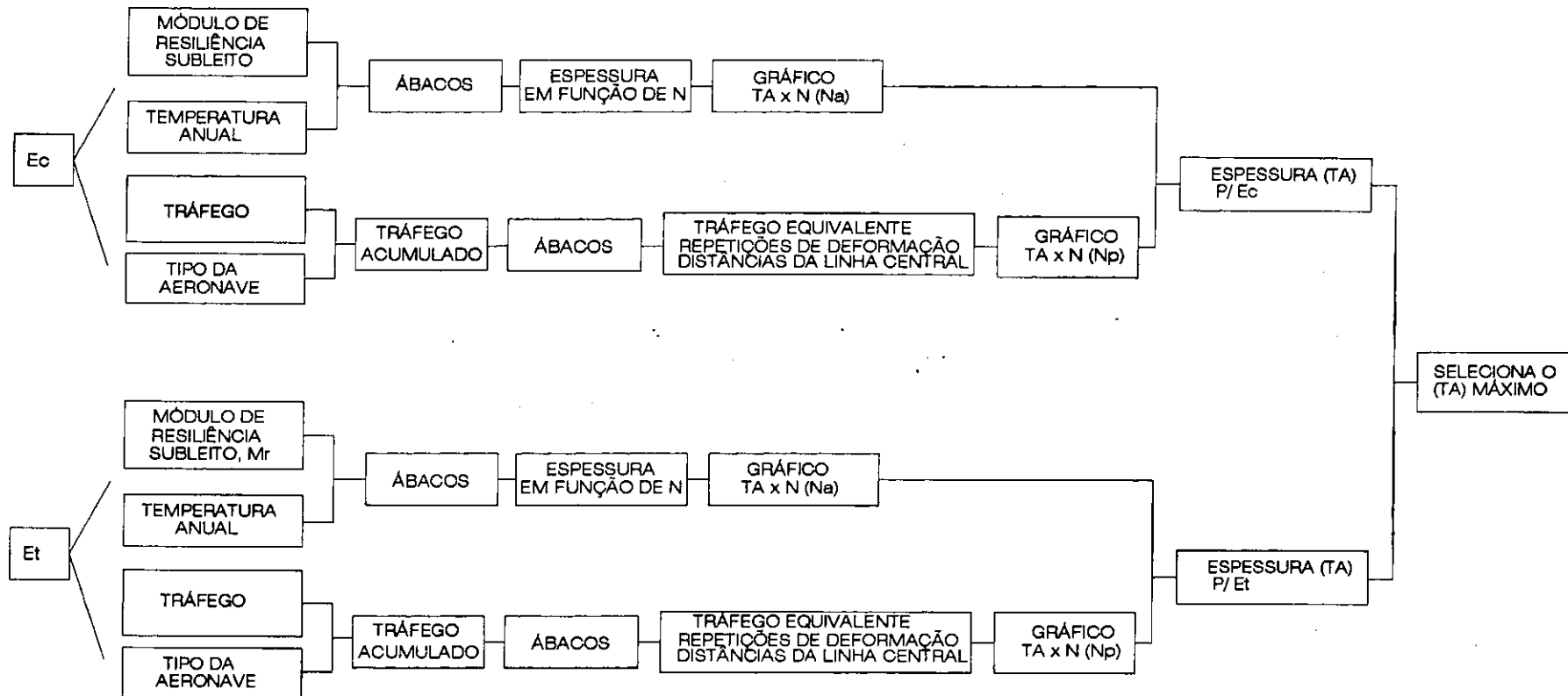


Figura 2.39 - Dimensionamento de um pavimento pelo método do Asphalt Institute.

2.4 - AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Os pavimentos não são concebidos para durarem eternamente, mas apenas para um determinado período. Durante cada um destes períodos ou "ciclos de vida", o pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim.

Para atingir uma capacidade satisfatória de desempenho e um prolongamento de sua vida útil, os pavimentos exigem intervenções freqüentes, passando por processos de restauração simples, reforço de sua estrutura, ou, ainda, a combinação destas ações com melhoramentos referentes à drenagem e ao traçado geométrico, conforme as deficiências observadas.

A falta de conservação e manutenção preventiva anual dos pavimentos, em tempo hábil, acarreta um aumento considerável nos recursos a serem aplicados para que suas estruturas apresentem as condições de serventia e os padrões mínimos de conforto e segurança adequados em um determinado período de sua vida útil.

SHAHIN *et al.* (apud CARDOSO, 1994) ressalta, "... caso as recuperações sejam feitas no início do processo de deterioração, e não em estágios mais avançados, poder-se-ia chegar a uma economia de até 80% nos investimentos...".

A intervenção adequada da conservação dos pavimentos, na hora oportuna, os quais, começam a se deteriorar a partir do primeiro dia de vida útil, faz com que a sua estrutura não atinja a serventia limite antes do final do período previsto em projeto. Com isso, torna-se primordial uma administração dos recursos disponíveis, para tais fins, baseada em critérios racionais, oriundos de experiência e monitoramento constante dos pavimentos.

Portanto, uma avaliação das condições de pavimentos, ou seja, do seu nível de degradação resultante do processo de deterioração natural ou devido às solicitações impostas pelo tráfego é essencial para um bom desempenho da estrutura durante a sua vida útil.

Para avaliarmos a condição do pavimento é possível, por meio do conhecimento de parâmetros objetivos e subjetivos, estabelecer critérios de manutenção, restauração e reconstrução, entre eles podemos destacar:

- defeitos de superfície;
- deformações permanentes;
- irregularidade longitudinal;
- deflexão recuperável;
- capacidade estrutural do pavimento;
- solicitação do tráfego;
- aderência entre pneu e pavimento;
- ensaios em laboratório;
- ensaios in situ.

É através da avaliação que se pode chegar a um veredicto sobre as reais condições do pavimento e só assim sugerir uma solução ou soluções adequadas para cada caso em específico.

2.5 - REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

Ao conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia do pavimento, prolongando o seu período de vida podemos denominar reabilitação (RODRIGUES, 1998).

Para que se possam tomar essas medidas se faz necessário uma definição do problema, ou seja, se estabelece e define-se a condição do pavimento baseado em informações obtidas nas seguintes etapas:

- coleta de dados;
- avaliação de dados;
- identificação de restrições;
- desenvolvimento de soluções.

O reforço por meio de camada asfáltica adicional ou recapeamento é o processo mais utilizado na reabilitação de pavimentos, este tipo de intervenção pode ser utilizado tanto para corrigir defeitos estruturais e de desempenho.

Em geral, para pavimentos de aeroportos, o projeto de dimensionamento do reforço é similar ao de um novo pavimento, onde é considerada a condição ou a vida remanescente do pavimento existente. Para isso, dispõe-se de vários métodos para este fim.

A seguir, serão descritos dois métodos de recapeamento de pavimentos baseados no que sugere a FAA e o Asphalt Institute.

2.5.1 - Método de Recapeamento da FAA

O recapeamento e a reconstrução podem ser necessários devido a vários fatores, entre eles podemos destacar:

- o pavimento original não apresenta serventia adequada, ou seja, chegou ao final da vida útil estimada em projeto;
- o pavimento será solicitado por cargas maiores que as que foram projetadas.

Em um projeto de recapeamento e de reconstrução o revestimento pode ser de concreto de cimento portland, ou de concreto asfáltico. Em pavimentos de aeroportos, o tipo de revestimento pode está relacionado com a localização da estrutura. Em pátios, por exemplo, os pavimentos deverão ser obrigatoriamente de concreto em cimento Portland.

Segundo procedimentos sugeridos pela FAA, podemos classificar cinco formas de recapeamento de aeroportos:

- flexível sobre flexível;
- flexível sobre rígido;
- rígido sobre rígido;
- rígido sobre flexível;
- rígido sobre rígido com camada de nivelamento.

A Figura 2.40 ilustra as estruturas de recapeamentos citadas anteriormente e sugeridas pela FAA.

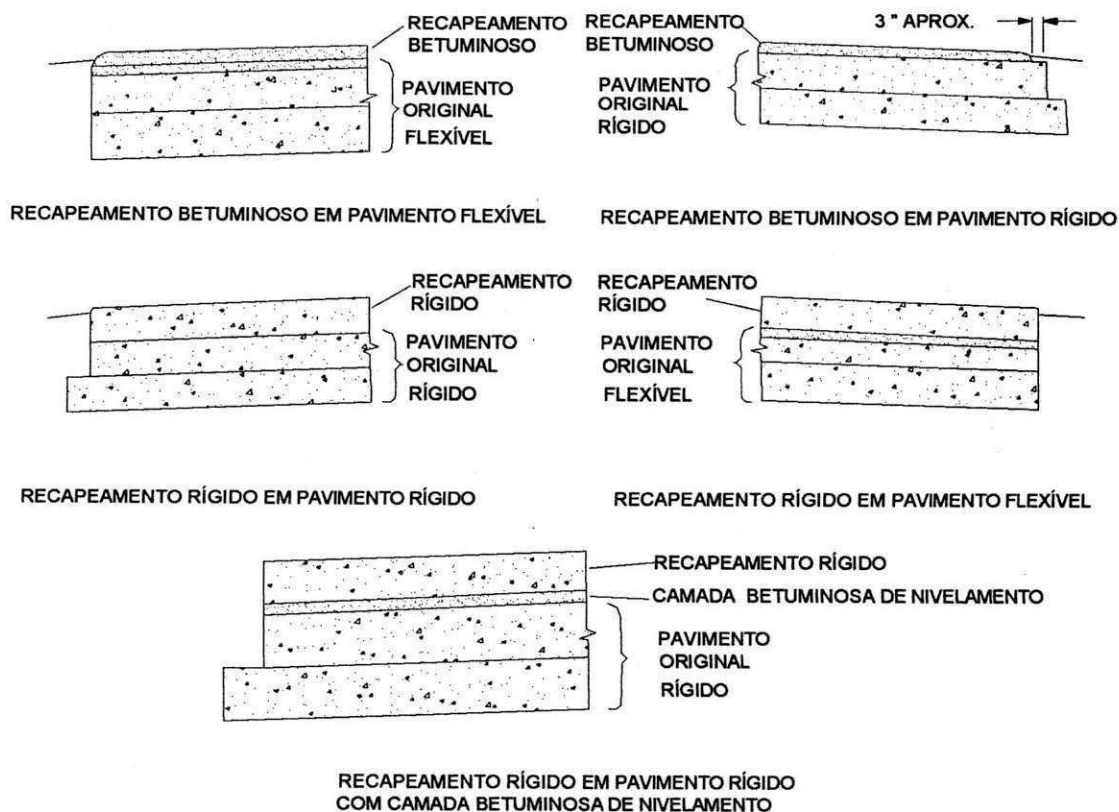


Figura 2.40 - Estrutura de recapeamento de pavimentos de aeroportos (FAA, 1995).

2.5.1.1 - Recapeamento Flexível sobre Flexível

Neste tipo de recape, primeiramente calcula-se a espessura requerida para um novo pavimento. Depois se compara a espessura encontrada com estrutura do pavimento existente. Alguns ajustes, para as várias camadas, torna possível adotar que parte ou todo o revestimento antigo poderá funcionar como base (granular, cimentada) a partir de fatores de conversão sugeridos pela FAA. É imperativo, no método, que essas transformações sempre se darão de materiais de melhor qualidade para o de qualidade inferior e nunca ao contrário.

Em síntese, de maneira análoga ao dimensionamento de pavimentos flexíveis sugerido pela FAA, verifica-se se a espessura do pavimento existente é menor que a espessura requerida. A diferença será a espessura do recape.

2.5.1.2 - Recapeamento Flexível sobre Rígido

Para esse tipo de recapeamento compara-se a espessura requerida para o novo pavimento com o existente, calculando-se a espessura do novo pavimento pela fórmula:

$$t = 2,5(Fh_d - C_b h_e) \quad (2.15)$$

Sendo:

t – espessura do recapeamento betuminoso, polegadas (mm);

F – fator que controla o grau das fendas na base do pavimento rígido (Figura 2.41);

h_d – espessura do pavimento rígido novo requerido pelas condições de projeto;

C_b – fator de condição que indica a integridade estrutural do pavimento rígido existente. Seu valor varia de 1,0 até 0,75;

h_e – espessura do pavimento rígido existente.

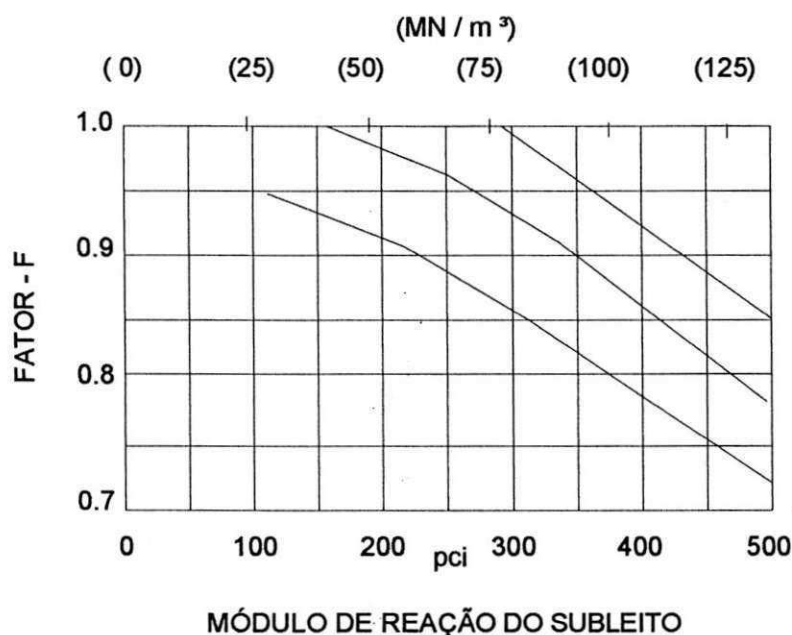


Figura 2.41- Fator F versus módulo de reação do subleito (K) para diferentes níveis de tráfego (FAA, 1995).

Exemplo de dimensionamento

Dados:

Espessura do pavimento rígido = 12 polegadas (305 mm)

Partidas anuais = 3000

Aeronave – eixo duplo, peso máximo de decolagem = 180.000 lb (81800 kg)

Tensão de flexão do pavimento rígido existente = 725 psi (5,00 MN/m^2)

$C_b = 0,95$

Módulo de reação do subleito $K = 300pci$ (81,6 MN/m^3)

Utilizando a curva para dimensionamento de pavimentos rígidos Figura 2.23 encontra-se a espessura estimada da placa:

13,9 polegadas (353 mm)

O fator F é encontrado no gráfico da Figura 2.41, e é dado em função do K e do nível de tráfego. O valor encontrado é $F = 0,93$.

Aplicam-se esses valores encontrados na fórmula a seguir:

$$t = 2,5(Fh_d - C_b h_e)$$

$$t = 2,5 (0,93 \times 13,9 - 0,95 \times 12)$$

$$t = 3,82 \text{ polegadas (97 mm)}$$

Assim, a espessura para o recapeamento será de aproximadamente 4 polegadas (100mm).

2.5.1.3 - Recapeamento Rígido sobre Rígido

A espessura mínima admissível para o recape rígido é de 5 polegadas (127mm). Seu projeto é baseado na deficiência das espessuras das camadas do pavimento.

Nesse caso, o recape é aplicado diretamente sobre o pavimento rígido existente, a espessura da placa é estimada através de gráficos específicos pela seguinte fórmula:

$$h_c = \sqrt[1.4]{h^{1.4} - C_r h_e^{1.4}} \quad (2.16)$$

Sendo:

h_c – espessura requerida do recapeamento de concreto.

h – espessura requerida para placa de concreto simples determinada pelas curvas.

h_e – espessura do pavimento existente.

C_r – fator de condição do pavimento existente.

2.5.1.4 - Recapeamento Rígido sobre Flexível

Nesse caso, assume-se que o pavimento flexível existente é a fundação para nova camada de recape em concreto de cimento Portland. A espessura desta, é baseada nas curvas de projeto de pavimento rígido. O pavimento flexível existente pode assumir um valor do coeficiente de recalque através do gráfico mostrado na Figura 2.42, não excedendo o valor de 500.

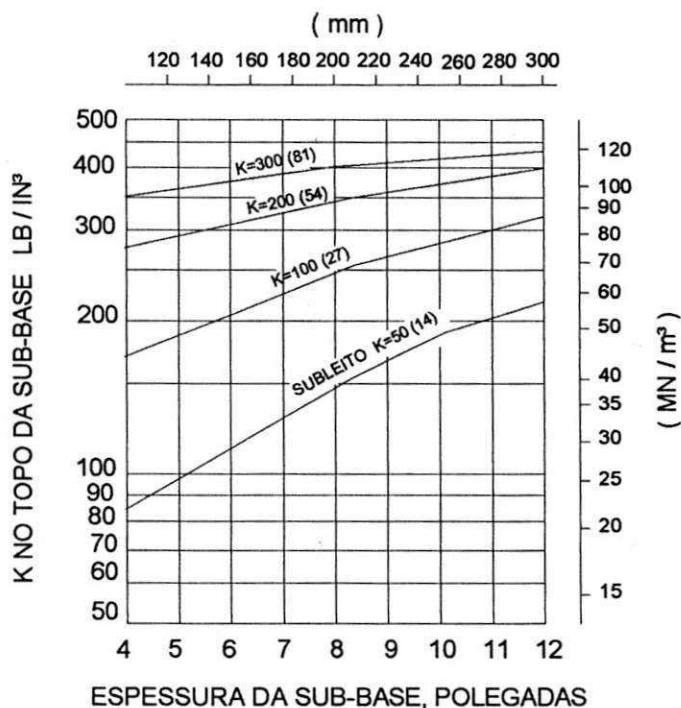


Figura 2.42 - Valor de K para revestimentos existentes de pavimentos flexíveis em CBUQ (FAA, 1995).

2.5.1.5 - Recapeamento Rígido sobre Rígido com camada de nivelamento

Muitas vezes é necessário aplicar uma camada, em concreto betuminoso, de nivelamento entre o pavimento de concreto existente e o recapeamento rígido. Essa solução se dá quando a camada inferior existente não constitui uma estrutura ideal de suporte plano para o recape rígido. A espessura mínima admissível para o recape rígido é de 5 polegadas (127mm). Seu projeto é baseado na deficiência das espessuras das camadas do pavimento. Neste caso utiliza-se a formula seguinte para o dimensionamento do recape:

$$h_c = \sqrt{h^2 - C_r h_e^2} \quad (2.17)$$

Sendo:

- h_c – espessura requerida para o recapeamento de concreto;
- h – espessura requerida para placa de concreto simples determinada pelas curvas;
- h_e – espessura do pavimento existente;
- C_r – fator de condição do pavimento.

2.5.2 - Método de recapeamento do Asphalt Institute

O dimensionamento do recape de um pavimento "Full Depth Asphalt" é realizado a partir do cálculo da espessura de uma nova estrutura do pavimento por diferença da existente.

Nesse método, são adotados fatores para conversão das espessuras das camadas do pavimento existente em espessuras efetivas sugerida na Tabela VII-1, página 54 do MS 11 - Asphalt Institute Manual.

Faz-se então, a diferença entre o valor da espessura requerida para o pavimento novo, T_A , e a espessura efetiva total T_e , encontrando-se, dessa forma, o valor da espessura para o recape.

Em casos de recapes de pavimento rígidos, o AI sugere alguns cuidados na escolha de camadas sobre o pavimento existente, como forma de evitar trincas de reflexão. Para a seleção da espessura adequada, deve-se ter em mãos o valor da diferença de temperatura média diária, das máximas e das mínimas, (em trinta anos, épocas mais quentes e mais frias) e o valor do comprimento da placa.

A partir da Figura 40 e com as informações citadas acima, se estima uma nova espessura que é comparada com a espessura de recape. Adota-se, sempre, a maior entre as duas espessuras encontradas.

LARGURA DA PLACA (m)	DIFERENÇA DE TEMPERATURA (°C)						LARGURA DA PLACA (Ft)
	17	22	28	33	39	44	
3	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	10 ou menos
4.5	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	15
6	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	125mm (5pol)	140mm (5.5pol)	20
7.5	100mm (4pol)	100mm (4pol)	100mm (4pol)	125mm (5pol)	150mm (6pol)	175mm (7pol)	25
9	100mm (4pol)	100mm (4pol)	125mm (5pol)	150mm (6pol)	175mm (7pol)	200mm (8pol)	30
10.5	100mm (4pol)	115mm (4.5pol)	150mm (6pol)	175mm (7pol)	215mm (8.5 pol)	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	35
12	100mm (4pol)	140mm (5.5pol)	175mm (7pol)	200mm (8pol)	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	40
13.5	115mm (4.5pol)	150mm (6pol)	190mm (7.5pol)	225mm (9 pol)	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	45
15	125mm (5pol)	175mm (7pol)	215mm (8.5 pol)	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	50
18	150mm (6pol)	200mm (8pol)	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	USE ALTERNATIVA 2 OU 3	60
	30	40	50	60	70	80	
	DIFERENÇA DE TEMPERATURA (°F)						

Figura 2.43 – Quadro para seleção da espessura de recape em CBUQ sobre pavimentos rígidos (Asphalt Institute, 1987).

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO

3.1 - GENERALIDADES

No presente capítulo estão inseridas informações quanto à localização e características do aeroporto em estudo. E os resultados da análise comparativa dos dois métodos de dimensionamento estudados.

3.1.1 – Localização do Aeroporto

O aeroporto estudado foi o Presidente Castro Pinto (Figura 3.1) que está situado no município de Santa Rita e dista de 8km do centro da cidade de João Pessoa. Fisiograficamente situa-se na zona litorânea e geologicamente em terrenos do período Terciário – Grupo Barreiras.



Figura 3.1 - Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto (INFRAERO, 2004).

3.1.2 - Caracterização

O aeroporto dispõe de excelentes condições de operações aeronáuticas, pois o clima local não afeta significativamente o total de pousos e de decolagens. Além disso, no raio de aproximação do aeroporto não se dispõe de nenhum obstáculo que possa dificultar ou pôr em risco o tráfego aéreo local.

Clima

A zona aeroportuária se enquadra entre as áreas intertropicais quente e úmida, que apresentam chuvas abundantes no inverno e escassas no verão.

A temperatura média das mínimas é da ordem de 22°C; a média das máximas é de 30°C e média de 26°C.

Hidrografia

A rede hidrográfica da área é muito desenvolvida e apresenta diferentes formas de drenagem, cuja variação é devido à topografia e à rocha sobre a qual é formado o modelo.

Vegetação

A vegetação nativa da área apresenta-se quase que totalmente substituída por espécimes típicos da agricultura local. A vegetação é constituída por espécimes arbóreas que vegetam por sobre uma cobertura de gramíneas e espécimes herbáceos.

Aspectos geomorfológicos

Na área circunvizinha ao Aeroporto Castro Pinto, três unidades geomorfológicas são distinguíveis: Planícies Costeiras, Tabuleiros e Chapadas.

Geologia

Geologicamente a área onde está inserido o aeroporto e suas adjacências, situa-se em terrenos do Período Terciário – Série Barreiras. De um modo geral, este grupo é constituído de sedimentos, pouco consolidado, de estratificações predominantemente horizontais, apresentando sedimentos areno-argilosos, argilo-arenosos, arenosos e argilas de coloração variada.

3.2 - PAVIMENTOS EXISTENTES, PROJETO DE REFORÇO E AMPLIAÇÃO

3.2.1 - Pavimentos existentes

O Aeroporto Castro Pinto foi construído na década de 50, quando, de um modo geral, as companhias de aviação utilizavam em suas linhas comerciais regulares as aeronaves do tipo Douglas DC-3. Inicialmente a pista tinha um comprimento de 1.495 metros. Em 1980, após a ampliação a pista de pouso e de decolagem passou a ter 2.515 m de comprimento. Foram construídos um terminal de passageiros, dois pátios para aeronaves e pistas de táxi de acesso aos pátios (Figura 3.2).

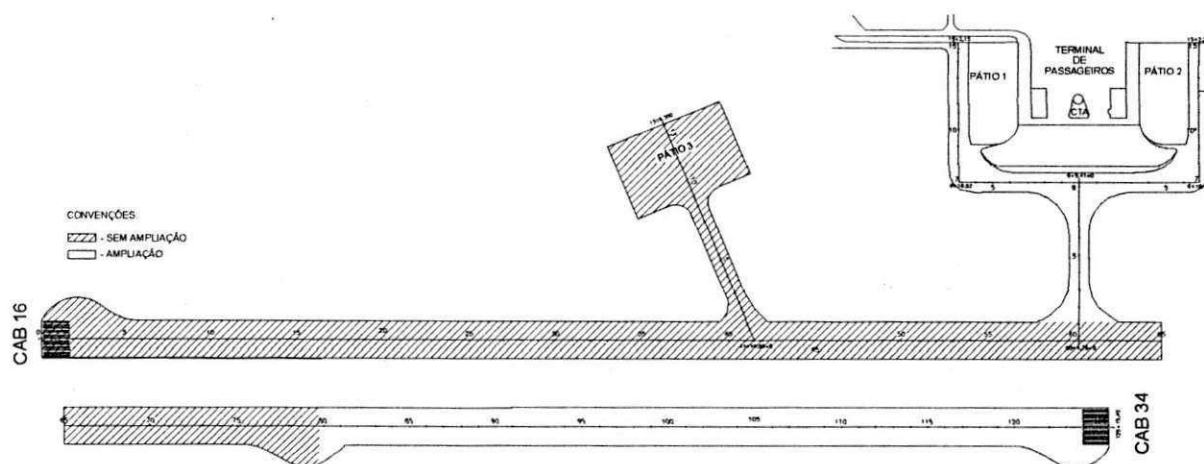


Figura 3.2 – Pavimento existente e pavimento ampliado -Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto

3.2.1.1 - Pista de Pouso e Decolagem

Inicialmente a pista tinha um comprimento de 1.495 metros e 42 metros de largura, pavimentada em placas de concreto de cimento Portland de dimensões 7,0 metros x 3,5 metros x 0,17 metros, assentes sobre uma sub-base granular de 30 centímetros.

Após a ampliação a pista de pouso e de decolagem ficou com 45 m de largura e com um incremento de 1020 metros de comprimento. A estrutura ampliada tem uma seção transversal de 15 cm de sub-base, 15 cm de base, 6 cm de "binder" e 4 cm CBUQ.

3.2.1.2 - Pistas de Táxi

A pista de táxi, acesso ao Pátio 3, possuía, um comprimento de 154 metros e 21 metros de largura., após ampliação, sofreu um alargamento de 3 metros. A seção transversal dessa pista é composta de 20 cm de sub-base 20 cm em placa de Concreto.

Com a ampliação foi construída uma nova pista de táxi para dar acesso aos Pátios 1 e 2. A seção transversal dessa pista é composta de 15 cm de sub-base de solo brita, 15cm de base em solo brita, e o revestimento composto de 6 cm de "binder" e 4 cm de CBUQ.

3.2.1.3 - Pátios e estacionamento

O Pátio 3 Possui 140 metros de comprimento e 91 m de largura. Sua seção transversal é composta de base em macadame de 20 cm e de placa de concreto com 20 cm de espessura.

Foram construídos o Pátio 1 e o Pátio 2 cada um com aproximadamente 57 metros de largura e 120 metros de comprimento. Suas seções transversais apresentam 30 cm em placa de concreto, base de 20 cm em solo granular e sub-base de 20 cm em solo granular.

3.2.2 - Projeto de Reforço e ampliação

No final dos anos 80, segundo o Relatório Técnico da INFRAERO (volume II, 1980), ficaram evidenciadas as necessidades de obras de ampliação e reforço da pista de pouso e decolagem, pista de ligação e reforço do pátio de manobras do Aeroporto Presidente Castro Pinto, em João Pessoa, Estado da Paraíba.

As obras previstas visavam permitir a operação de aeronaves de maior capacidade de passageiros. No relatório, inferiu-se que a infra-estrutura existente encontrava-se aquém das exigências mínimas para operação, com segurança, das aeronaves de grande porte do tipo (Boeing 727/200) para um horizonte de 10 anos.

Os estudos, na época, para subsidiar as obras de ampliação e reforço consistiram em:

- estudos operacionais;
- Aeronave tipo;
- estudos topográficos;
- estudos geotécnicos;
- projeto de reforço e ampliação.

3.2.2.1 - Estudos operacionais

Segundo o Relatório da INFRAERO (1980), o tráfego aéreo anual foi estimado, para o ano de 1990, no valor de 3300 Partidas anuais. A fórmula utilizada foi:

$$NPD = \frac{NED}{NAT * FAG} \quad (3.1)$$

Sendo:

NPD – número de pousos + decolagem;

NED – número de passageiros embarcados e desembarcados;

NAT – número médio de assentos do avião;

FAG – fator de assentos global.

3.2.2.2 - Aeronave tipo

Para a Aeronave tipo de projeto foi selecionado o Boeing 727/200 com capacidade para 152 assentos. Com isso, chegou-se a conclusão, que seria necessário um comprimento de pista de 2500 metros. Este comprimento permitiria que a aeronave pousasse e decolasse sem restrições de capacidade, devendo a largura da pista passar para 45 metros de forma a enquadrar-se na **Categoria "A"**.

3.2.2.3 - Estudos topográficos

Os estudos topográficos consistiram nos levantamentos e cadastramentos de toda a área existente envolvendo principalmente a área pavimentada e aquela a ser ampliada.

A pista de pouso, táxi e pátios foram locados, nivelados e contra-nivelados com estaqueamento espaçado de 20m e seccionadas transversalmente, de modo a abranger acostamentos e faixa de terreno adjacente.

Toda a locação e o cadastramento foram devidamente amarrados a uma poligonal de apoio.

As cotas utilizadas no nivelamento e seccionamento foram obtidas do marco do IBGE, situado no lado externo da estação de passageiros.

Os estudos topográficos obedeceram às normas e especificações do Ministério da Aeronáutica.

3.2.2.4 - Estudos geotécnicos

Os elementos provenientes do estudo geotécnico constaram, essencialmente, de perfis de sondagem, resultados de provas de carga sobre placa, de densidades e umidades "in situ" e de relatórios dos ensaios realizados em laboratório.

Na avaliação do pavimento levada a efeito da DIRENG, foi feito um estudo geotécnico do subleito e pavimento existente. Chegou-se aos seguintes resultados:

$K = 340$ pci (Coeficiente de recalque);

$\sigma_{ff} = 52$ kg/cm² ou 738 pci (Resistência a tração do concreto).

3.2.2.5 - Projeto de Reforço e ampliação

O Projeto de reforço e ampliação foi baseado nas seguintes informações:

Características de projeto

- Aeronave tipo –Boeing 727-200;
- PMD =170.000lb;
- Pressão de pneus = 166 psi;
- Peso por montante = 76.900 lb;
- Peso por roda = 38.450 lb;
- Configuração do trem de pouso principal = rodas duplas;
- Frequências de operações (partidas anuais) = 3300 pousos por ano;
- Comprimento da pista = 2.495 m;
- Largura da pista = 45 m;
- Dimensões do táxi = 154m x 23m e 527m x 23 m;
- Dimensões do pátio = pátio 3 –140m x 91m e pátio 1 e 2- 120m x 57 m;
- Declividade longitudinal máxima –i =0,27%;
- Declividade efetiva –i = 0,04%;
- Coordenadas geográficas;
 - Latitude sul: 007° 09'00";
 - Longitude oeste: 030° 57'00";
- Altitude – 60 metros;
- Resistência do piso;
 - AUW/1 = 75.0000lb;
 - AUW/2 = 173.0000lb;

- $AUW/4 = 210.0000lb$;
- "STOP WAY"(ambas as cabeceiras) – 60,00 m;
- "TURN AROUND" (ambas as cabeceiras) –R = 30,00 m;
- Categoria do aeroporto: A

Projeto estrutural

O projeto estrutural foi elaborado a partir da divisão do plano geral do aeroporto em 4 (quatro) áreas denominadas de I a IV, fazendo-se em seguida o dimensionamento para cada uma delas.

- Área I – Pista de Pouso e Decolagem;
- Área II –Pista de Pouso e Decolagem ampliação;
- Área III –Táxi;
- Área IV –Pátios 1, e 2.

3.2.3 - Dimensionamento

3.2.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)

O CBR encontrado para o subleito na avaliação feita pela DIRENG foi de 18% o qual sofreu redução por causa das baixas densidades encontradas adotando-se um CBR de 11%. Há uma camada de 30 cm de sub-base e 17 cm de concreto-cimento.

Baseado no método da FAA (AC 150/5320-6c), e a partir das informações citadas acima, espessura total do pavimento foi estimada em 27,3"ou 69,3 cm.

Como já existia uma camada de 30 cm como sub-base e 17 cm de concreto cimento, utilizou-se como camada de recape, em revestimento asfáltico, para pista de pouso e decolagem da Área I a diferença (22,5 cm) entre o que existia o requerido pela nova estrutura. O revestimento consistiu em uma camada de "binder" de 15 cm (concreto asfáltico pré-misturado a frio) e de 7,5 cm em concreto betuminoso. Na Figura 3.3 estão inseridos o perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho.



Figura 3.3 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho recapeado

3.2.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (ampliação)

Baseado no método da FAA (AC 150/5320-6c), em um CBR de 14 % para o subleito, e a partir das informações sobre tráfego citadas anteriormente a espessura total do pavimento foi estimada em 20,86" ou 53 cm.

Como foi um trecho a ser construído, foi adotada, para estrutura do pavimento, a seguinte seção: 15 cm como sub-base em solo brita, 15 cm de base em solo brita, 6 cm de "binder" e 4 cm de concreto asfáltico. Na Figura 3.4 estão inseridos o perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho.



Perfil



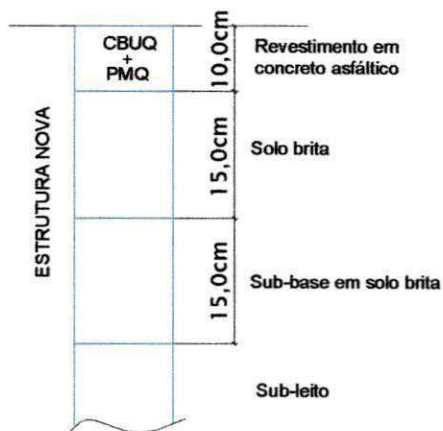
Foto 1

Figura 3.4 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado

3.2.3.3 - Área III - Pista de Táxi (ampliação)

Baseado no método da FAA (AC 150/5320-6c), em um CBR de 14 % para o subleito, e a partir das informações sobre tráfego citadas anteriormente a espessura total do pavimento foi estimada em 20,86" ou 53 cm.

Como foi um trecho a ser construído, foi adotada, para estrutura do pavimento da pista de táxi, a seguinte seção: 15 cm como sub-base em solo brita, 15 cm de base em solo brita, 6 cm de "binder" e 4 cm de concreto asfáltico. Na Figura 3.5 estão inseridos o perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho.



Perfil



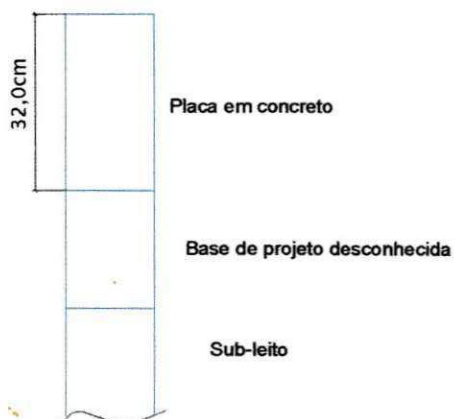
Foto 1

Figura 3.5 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado da pista de táxi

3.2.3.4 - Área IV - Pátios 1 e Pátio 2

Baseado no método da FAA (AC 150/5320-6c), em dados de resistência a tração, no coeficiente de recalque do subleito, e a partir das informações sobre tráfego citadas anteriormente a espessura total da placa do pavimento foi estimada em 12,5" ou 32 cm.

Na Figura 3.6 estão inseridos o perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado para os Pátios 1 e 2.



Perfil



Foto 1

Figura 3.6 - Perfil da estrutura do pavimento atual e a foto ilustrativa do trecho ampliado do Pátio 1

3.3 - LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS, AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DESEMPENHO, REGISTROS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS.

As investigações em campo com coleta de dados foram realizadas segundo os critérios e normas estabelecidos pela a INFRAERO. Os trabalhos foram desenvolvidos, em sua maior parte, em horário conveniente à gerência do aeroporto devido às condições de operação de tráfego.

3.3.1 - Levantamentos topográficos

Os estudos topográficos consistiram nos levantamentos e cadastramentos de toda a área existente envolvendo principalmente a área pavimentada e aquela a ser ampliada.

A pista de pouso, taxi e pátios foram locados, nivelados e contra-nivelados com estaqueamento espaçado de 20m e seccionadas transversalmente, de modo a abranger acostamentos e faixa de terreno adjacente.

Toda a locação e o cadastramento foram devidamente amarrados a uma poligonal de apoio.

As cotas utilizadas no nivelamento e seccionamento foram obtidas do marco do IBGE, situado no lado externo da estação de passageiros.

Os estudos topográficos obedeceram às normas e especificações do Ministério da Aeronáutica. A Figura 55 ilustra, em planta de CAD, coleta de informações de cadastro da Cabeceira 34 do Aeroporto Castro Pinto.

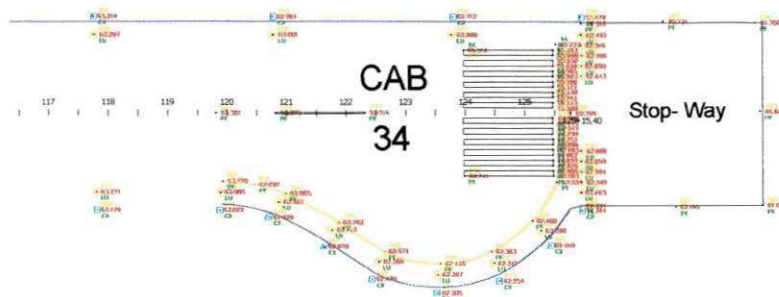


Figura 3.7 - Cadastro da Cabeceira 34 do Aeroporto Castro Pinto (ATECEL/INFRAERO, 2002).

3.3.2 - Avaliação das condições de superfície dos pavimentos

Precedendo a coleta de dados foi realizada a locação de pontos nas cabeceiras, na pista de pouso, pátios e em áreas de giro. Para isso, foram adotados critérios estabelecidos em normas de avaliação, de condições de superfície e de condição estrutural, de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNER 128/83, DNER PRO 007/94).

As seções para avaliação foram constituídas de 20 m por 45 m e 6 m por 6 m para pavimentos flexíveis e pistas de acessos respectivamente. As seções foram localizadas a cada 20 metros alternadas em relação ao eixo da pista. No caso específico dos pátios a avaliação foi realizada por placa.

Após a locação dos pontos foi feito o sorteio de 30 seções para garantir que a amostra fosse aleatória e representativa do universo de seções materializadas.

Através dos índices de Serventia Atual (VSA), de Gravidade Global (IGG) e do Pavement Condition Index (PCI) foi realizada a avaliação das condições de superfície da pista de pouso e decolagem (DNER – ME 266/94, DNER – TER 001/94, DNER – PRO 007/94 e DNER – ME 054/94). A Figura 3.8 e Figura 3.9 ilustram seções de pavimentos flexíveis e rígidos avaliadas com um registro de defeito observado.



Figura 3.8 – Superfície avaliada – Pavimento flexível – Cabeceira 16 – Pista de Pouso e Decolagem.

Os procedimentos básicos empregados na avaliação das condições de superfície do revestimento asfáltico podem ser descritos sucintamente a partir das seguintes etapas: vistoria com observação "in loco" e verificação dos tipos de defeitos registrados manualmente em planilhas apropriadas.

Para o critério do PCI anotou-se também a severidade, extensão e quantidade de ocorrência de cada defeito e avaliação realizada por amostragem aleatória (seções).

Os resultados em campo foram transferidos para a planilha de cálculo, e os valores finais classificados de acordo com a escala oferecida por cada método.

Para avaliação dos pátios foram realizadas avaliações a partir do Valor de Serventia Atual (VSA) placa por placa.

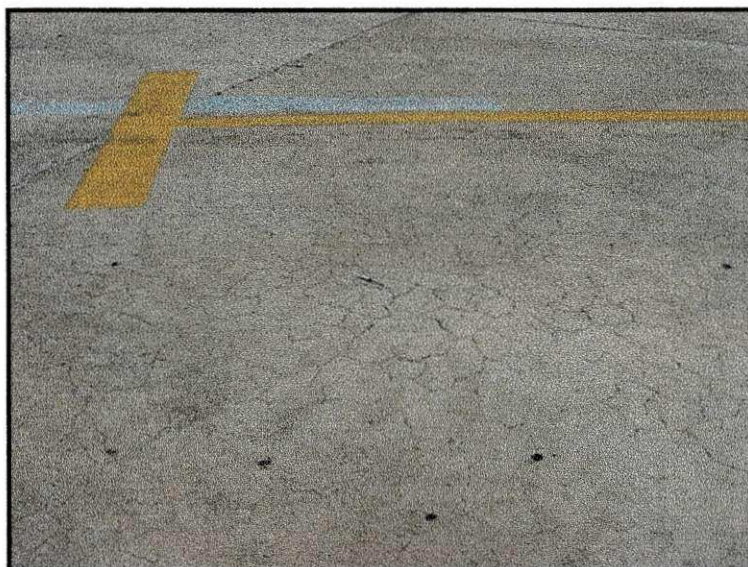


Figura 3.9 – Superfície avaliada – Pavimento rígido - Pátio 1.

No Quadro 3.1 e no Quadro 3.2 estão inseridos os resumos dos resultados obtidos nas avaliações das condições de superfície do revestimento asfáltico da pista de pouso e decolagem e dos pátios do Aeroporto.

Os defeitos observados, com pouca frequência, foram: remendos existentes, desgaste na superfície do revestimento, afundamentos de consolidação plástica e de consolidação locais (IGG), corrugações, depressão, agregados polidos, desagregação e desintegração, remendos (PCI).

Quadro 3.1- Seções avaliadas- Pista de pouso e decolagem - Valor de Serventia Atual, Índice de Gravidade Global e Present Condition Index.

SEÇÕES	VSA	IGG	CONCEITO	PCI	CONCEITO
1	ÓTIMO	10	BOM	90	EXCELENTE
2	ÓTIMO	14	BOM	95	EXCELENTE
3	ÓTIMO	12	BOM	89	EXCELENTE
4	ÓTIMO	5	BOM	80	MUITO BOM
5	BOM	18	BOM	58	BOM
6	BOM	16	BOM	63	BOM
7	BOM	11	BOM	69	BOM
8	ÓTIMO	28	REGULAR	59	BOM
9	REGULAR	25	REGULAR	52	REGULAR
10	BOM	30	REGULAR	85	MUITO BOM
11	ÓTIMO	9	BOM	68	BOM
12	BOM	12	BOM	64	BOM
13	ÓTIMO	15	BOM	85	MUITO BOM
14	ÓTIMO	14	BOM	86	EXCELENTE
15	BOM	19	BOM	65	BOM

Quadro 3.2- Seções avaliadas Pátios 1 e 2 - Serventia Atual.

SEÇÕES	VSA
1	BOM
2	BOM
3	BOM
4	REGULAR
5	REGULAR
6	REGULAR
7	REGULAR
8	BOM
9	REGULAR
10	BOM
11	BOM
12	REGULAR
13	BOM
14	BOM
15	BOM

3.3.2.1 - Registros

Para o registro com documentação fotográfica foram utilizadas câmeras fotográfica convencional e digital. A Figura 3.10 apresenta, com detalhes, um exemplo deste item.



Figura 3.10 – Registro fotográfico digital de uma seção do pavimento para a avaliação das condições de superfície – Pátio.

3.3.2.2 - Estudos geotécnicos

Nos estudos geotécnicos foram realizados os seguintes ensaios: sondagem com rotativa em pavimento flexível e rígido, sondagem a trado em pavimento flexível, aberturas de poços de inspeção para coleta de amostras de solos e realização de ensaios de densidade "in situ".

Os ensaios em laboratório foram realizados segundo normalização da ABNT, DNER e INFRAERO, com amostras dos revestimentos e dos solos coletadas "in situ".

Os ensaios realizados foram:

- Para os corpos de prova dos pavimentos flexíveis e rígidos: estabilidade Marshall, extração do teor de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), distribuição dos tamanhos dos grãos (granulometria) e resistência a compressão simples.

- Para materiais das camadas de base e sub-base e o subleito: granulometria, densidade "in situ", compactação e CBR. No Anexo C estão inseridos os resultados referentes aos ensaios citados acima.

Os corpos de prova foram retirados "in situ" com a extratora rotativa diamantada (DNER – ME 77/80), em locais previamente escolhidos, a partir de sorteio estocástico. A Figura 3.11 ilustra o momento de extração de um corpo do revestimento asfáltico.

**Corpo de prova****Sonda rotativa**

Figura 3.11 – Extração de corpo de prova do revestimento asfáltico com extratora rotativa diamantada – Pista de pouso e decolagem.

A Figura 3.12 e a Figura 3.13 ilustram momentos de extração de material com trado - Pista de pouso e decolagem - e aberturas de poços de inspeção para verificação de espessuras de placas e realização de ensaios de densidade "in situ". No Anexo B está inserida a planta baixa com localização dos furos de sondagens, com rotativa, RCA, RCP, a trado, TR, e dos poços de inspeção, PI.

**Furo em pavimento****Coleta de material a trado**

Figura 3.12 – Extração de material a trado - Pista de pouso e decolagem.



**Poço de inspeção pavimento rígido -
inspeção de placa**

**Poço de inspeção em pavimento
flexível-densidade "in situ"**

Figura 3.13 – Verificação de espessuras de placas e realização de ensaios de densidade "in situ".

3.4 - METODOLOGIA

Para o dimensionamento da estrutura dos pavimentos da pista de pouso e decolagem, pátios e acessos, do aeroporto em estudo adotou-se a seguinte metodologia:

- divisão das áreas de projeto;
- hipóteses de trabalho;
- dimensionamento com a utilização dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

3.4.1 - Divisão das áreas

A divisão das áreas foi realizada de maneira análoga ao que foi adotado no projeto de 1980 (Relatório da INFRAERO, Volume II, 1980):

- Área I – Pista de Pouso e Decolagem;
- Área II –Pista de Pouso e Decolagem ampliação;
- Área III –Táxi;
- Área IV –Pátios 1, e 2.

3.4.2 - Hipóteses de trabalho

Como hipóteses de trabalho, adotamos:

- utilizar informações contidas no relatório da INFRAERO de 1980 e dimensionar a estrutura do pavimento através dos métodos da FAA e do AI,
- utilizar dados coletados pela ATECEL em 2002 e dimensionar a estrutura do pavimento através dos métodos da FAA e do AI;
- analisar de forma comparativa os resultados inseridos no relatório da INFRAERO com os resultados obtidos a partir da utilização dos métodos da FAA e do Asphalt Institute.

As informações que constam nos relatórios da INFRAERO e ATECEL são:

- granulometria das camadas dos pavimentos;
- perfis dos pavimentos;
- seções transversais dos pavimentos;
- CBR;
- coeficiente de recalque, K;
- resistência à tração na flexão;
- classificação dos solos;
- Tráfego;
- Tipo de aeronave;
- condições de superfícies;
- cadastro do aeroporto;
- resistência à compressão simples;
- estabilidade Marshall;
- densidade "in situ";
- etc.

Todas essas informações estão contidas nos Anexos B e C.

3.5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item estão apresentadas os resultados e análises obtidas nas etapas de revisão da literatura, de coleta de dados e a partir dos cálculos realizados para o dimensionamento das estruturas dos pavimentos da pista de pouso e decolagem, pistas de táxi e pátios.

3.5.1 - Sobre a Revisão da Literatura

Os procedimentos empíricos de dimensionamento de pavimentos são baseados em correlações entre observações do comportamento em campo e medidas das características dos materiais da fundação e de suas estruturas.

O método racional baseia-se em formulações teóricas, as quais relaciona a carga da superfície com a reação do pavimento e sua fundação em termos de tensão, deformação e deslocamentos.

Os pavimentos de aeroportos e os pavimentos rodoviários diferem entre si pelas características físicas e geométricas das solicitações dos veículos, cargas e número de solicitações que ocorrem nas pistas dos aeródromos. Entretanto, a seqüência lógica de dimensionamento de suas estruturas é análoga aos métodos de dimensionamentos de pavimentos rodoviários, sejam empíricos ou racionais.

As experiências realizadas entre 1928 e 1942 pelo Departamento de Estradas e Rodagem da Califórnia, em pavimentos, forneceram os primeiros elementos para o estabelecimento da relação empírica entre os valores do CBR e espessuras de pavimentos do tipo flexíveis de aeroportos.

A evolução do método de dimensionamento do CBR para pavimentos aeroportuários corroborou em indicar a necessidade do conhecimento das características das aeronaves, como: seu tipo de trem de pouso, peso máximo de decolagem, pressão dos pneus, estudos sobre materiais, definição de áreas críticas, entre outras.

O método de dimensionamento, contido na Advisory Circular 150/5320-6D da FAA, consiste essencialmente em considerar fatores, tais como: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc. e dimensionar a estrutura dos pavimentos baseada em nomogramas empíricos desenvolvidos ao longo dos anos pela a FAA.

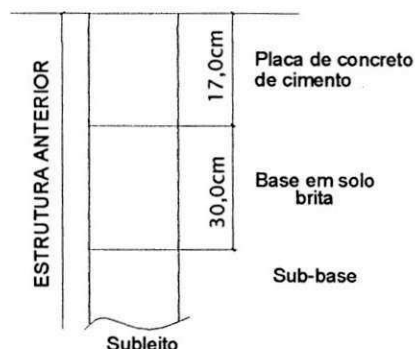
O método do Asphalt Institute é baseado na hipótese que, um pavimento do tipo sistema elástico de multicamadas em "full-depth asphalt" sujeito à aplicação da carga produz duas deformações "elásticas críticas", sendo elas: a deformação de tração horizontal, E_t , na base da camada de concreto asfáltico e a deformação de compressão vertical, E_c , no topo do subleito. Essas deformações são estimadas separadamente na análise do projeto. Entretanto, as tensões e deformações, citadas anteriormente, não são parâmetros de entrada no método do AI, porém, segundo o Instituto, ao utilizá-lo esses parâmetros são indiretamente computados.

Pode-se inferir que o método da FAA é empírico enquanto que o método do Asphalt Institute é empírico-racional.

3.5.2 - Dimensionamento a partir do método da FAA

3.5.2.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)

Estrutura existente (Antes do Recape)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 11,0\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Espessura da placa = 17 cm

Coefficiente de recalque INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque ATECEL = 214 pci
(em função do CBR, 12,6%)

Tensão de tração na flexão INFRAERO = 738 psi (5 MPa)

Tensão de tração na flexão da ATECEL = 680 psi

Estrutura existente (Depois do recape)



(4,6 MPa, em função do RCP = 29,72 MPa)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave = B 727-200 -Eixo duplo

Espessuras de recape estimadas

$t_{(cbr1)} = 35,5$ cm

$t_{(cbr2)} = 46,8$ cm

A estrutura da pista de pouso e decolagem, trecho recapeado, foi dimensionada em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura do pavimento estimada na época foi de 69,3 cm, e após análise, o projetista optou por uma espessura de recape de 22,5 cm, transformando a placa de pavimento rígido existente em camada granular (17,0 cm). O autor do projeto, em função do que foi descrito em relatório (INFRAERO, 1980) não justificou, em memória de cálculo, essa conversão e quais fatores e/ou equações foram utilizadas para a estimativa da espessura de recape.

Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para o recape foi de 35,5 cm para dados de projeto da INFRAERO e 46,5 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL. Esta Circular da FAA sugere a equação,

abaixo descrita, para o cálculo da espessura de recape de concreto asfáltico, t , considerando a estrutura futura como sendo, uma estrutura flexível sobre uma rígida. A espessura de recape, a partir dessa equação, é estimada em função da estrutura existente, h_e , fatores da condição do pavimento, C_b , fatores de conversão de estrutura rígida em flexível, 2,5, e espessura total da estrutura do pavimento estimada a partir de nomogramas de dimensionamento de pavimentos rígidos, h_d .

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de recape estimada pela nova circular sofreu um incremento de 13,0 cm, que faz indicar, que a estrutura anterior está subdimensionada. Entretanto, ao observarmos os dados contidos nos Quadros 3.1 e 3.2, onde estão inseridos informações sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem, podemos inferir que a estrutura atual não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado (Tabela 3.1).

É importante frisar que, ao avaliar a condição de superfície desse trecho não foram observadas trincas de reflexão no revestimento flexível. As trincas de reflexão são, neste de tipo de recape, fatores decisivos na escolha da estratificação do recape. Tal atitude foi contemplada e parece ter funcionado, quando o autor do projeto de recape sugeriu a utilização de um "binder" de 15,0 cm de espessura sobre as placas de concreto.

$$t = 2,5 (F h_d - C_b h_e) \quad (3.2)$$

3.5.2.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)

Novo dimensionamento



CBR_{subleito} = 14,0% (INFRAERO)

CBR_{subleito} = 12,6% (ATECEL)

Tráfego = 3300 (R₁)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave = B 727 200 - Eixo duplo

Espessuras da Estrutura

T_(cbr1) = 48,26 cm

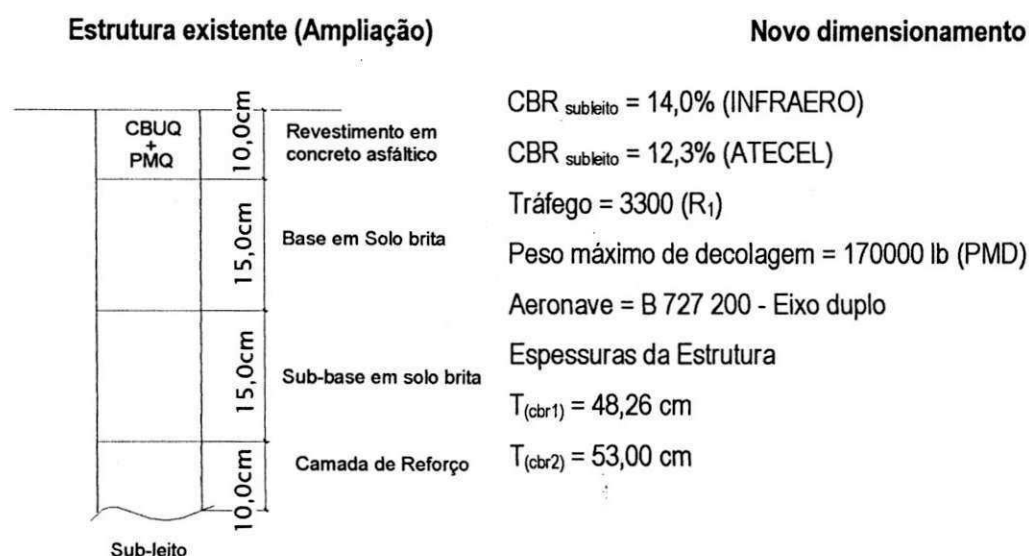
T_(cbr2) = 53,00 cm

A estrutura da pista de pouso e decolagem, trecho ampliado, foi dimensionada em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura do pavimento estimada na época foi de 53,0 cm.

Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura foi de 48,26 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 53,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de da estrutura estimada pela Circular da FAA, não sofreu variações significativas. Estes resultados indicam que não houve modificações significativas nas Circulares Advisory Circular 150/5320- 6C e Advisory Circular 150/5320-6D, em se tratando de cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos flexíveis (Tabela 3.1).

3.5.2.3 - Área I - Pista de táxi – acessos (Ampliação)



As estruturas das pistas de taxi, trecho ampliado, foram dimensionadas em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura do pavimento estimada na época foi de 53,0 cm.

Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada estrutura foi de 48,26 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 53,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

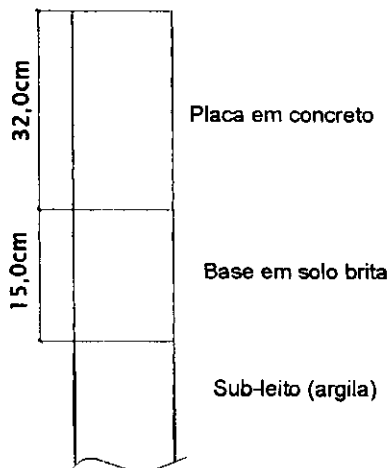
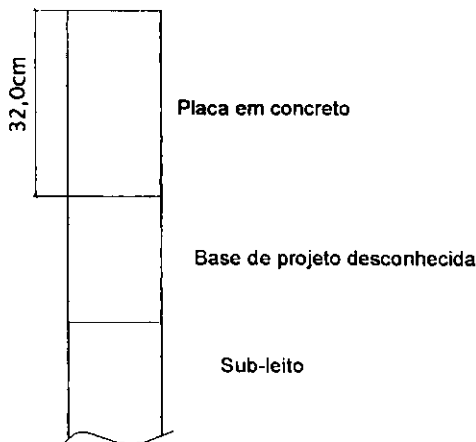
Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de da estrutura estimada pela Circular da FAA, não sofreu variações significativas. Estes resultados, mais uma vez, indicam que não houve modificações significativas nas Circulares (Advisory Circular 150/5320- 6C Advisory Circular 150/5320-6D), no que se refere a estimativa das espessuras de estruturas de pavimentos flexíveis (Tabela 3.1).

3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação)

Estrutura existente

Novo dimensionamento

Pátio 1 e Pátio 2 (Ampliação)



$CBR_{\text{subleito}} = 18,6\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 15,5\%$ (ATECEL) – Pátio 1

$CBR_{\text{subleito}} = 19,5\%$ (ATECEL) – Pátio 2

Coefficiente de recalque (K) INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque (K) ATECEL = 228 pci
(em função do CBR de 15,5%)

Tensão de tração na flexão INFRAERO = 738 psi (5 MPa)

Tensão de tração na flexão da ATECEL = 681 psi
(4,7 MPa, em função do RCP = 30,9 (MPa))

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave = B 727-200 -Eixo duplo

Espessuras estimadas

Pátio 1

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,8$ cm

Pátio 2

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,6$ cm

As estruturas dos pátios, trecho ampliado, foram dimensionadas em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura da placa estimada na época foi de 32,0 cm.

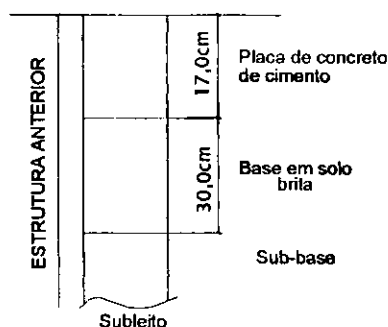
Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura foi de 32,5 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 36,6 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras da placa estimadas pela Circular da FAA, não sofreram variações significativas. Estes resultados indicam que não houve modificações significativas nas Circulares Advisory Circular 150/5320-6C e Advisory Circular 150/5320-6D, em se tratando de cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos (Tabela 3.1).

3.5.3 - Dimensionamento a partir do método do Asphalt Institute

3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)

Estrutura existente (Antes do Recape)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 11\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Espessura da placa = 17,0 cm

Coefficiente de recalque INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque ATECEL = 214 pci
(em função do CBR, 12,6%)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave b 727 200 - Eixo duplo

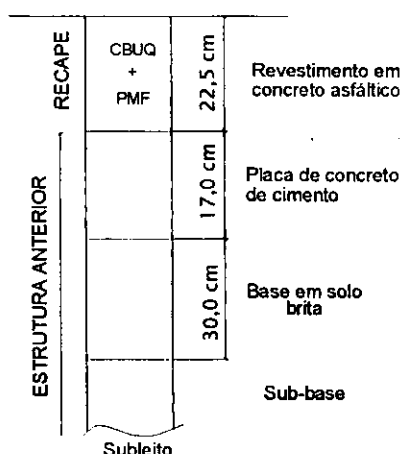
Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C

Espessuras de recape estimadas

$T_{(cbr1)} = 14,0$ cm

$T_{(cbr2)} = 14,0$ cm

Estrutura existente (Depois do recape)



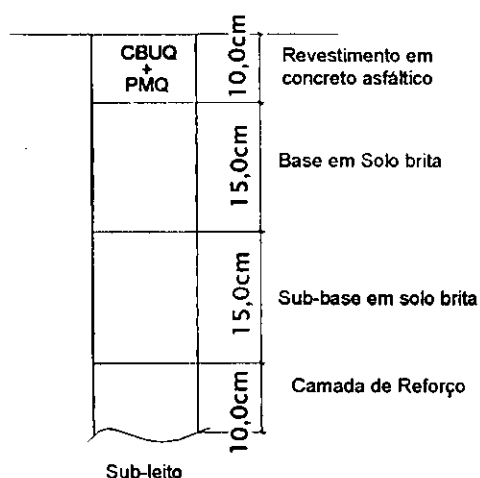
Ao dimensionarmos pelo Método do AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para o recape foi de 14,0 cm para dados de projeto da INFRAERO e 14,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL. Este Manual sugere para o cálculo da espessura de recape de concreto asfáltico, T, considerando a estrutura futura como sendo, uma estrutura flexível sobre uma rígida. A espessura de recape, a partir deste método, é estimada em função do módulo de resiliência, temperatura média anual, tráfego, coeficiente recalque, tipo de aeronaves, etc.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de recape estimada pela Manual do AI, sofreu uma redução de 8,50 cm, que faz indicar, que a estrutura anterior está superdimensionada. Estes resultados, corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado (Tabela 3.1).

Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semidestrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção.

3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 14\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo

Temperatura média anual 26°C

Espessuras da Estrutura

$T_{A(\text{cbr1})} = 35,6$ cm

$T_{A(\text{cbr2})} = 38,1$ cm

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 38,1 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 14,9 cm respectivamente. Como não foram observadas perdas significativas de serventia e/ou desgastes acentuados da superfície do pavimento (trecho ampliado), os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – acessos (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)

Novo dimensionamento

CBUQ + PMQ	10,0cm	Revestimento em concreto asfáltico	CBR _{subleito} = 14% (INFRAERO) CBR _{subleito} = 12,3% (ATECEL)
	15,0cm	Base em Solo brita	Tráfego = 3300 (R ₁) Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)
	15,0cm	Sub-base em solo brita	Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C
	10,0cm	Camada de Reforço	Espessuras da Estrutura T _{A(cbr1)} = 35,6 cm T _{A(cbr2)} = 38,0 cm
Sub-leito			

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e 38,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 15,0 cm respectivamente. Os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa

PAVIMENTO	DIMENSIONAMENTO									
	RECAPE					NOVO				
	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM	22,50 cm	35,50 cm	46,80 cm	14,00 cm	14,00 cm	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,10 cm
PISTA DE TÁXI	—	—	—	—	—	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,00 cm
PÁTIOS 1	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,80 cm	—	—
PÁTIO 2	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,60 cm	—	—

FAA(PROJETO) = Espessura estimada no projeto original da INFRAERO (Relat. Vol. II, 1980);

FAA (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

FAA (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

AI (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

AI (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 – CONCLUSÕES

O método de dimensionamento, contido na Advisory Circular 150/5320-6D da FAA, consiste essencialmente em considerar fatores, tais como: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc. e dimensionar a estrutura dos pavimentos baseada em nomogramas empíricos desenvolvidos ao longo dos anos pela a FAA. Pode-se inferir que o método da FAA é empírico.

Apesar do método do Instituto do Asfalto ser baseado na hipótese de um pavimento do tipo sistema elástico de multicamadas, as tensões e deformações não são parâmetros de entrada no processo de dimensionamento. Segundo o Instituto, ao utilizá-lo, as deformações e tensões são indiretamente computadas. Entretanto, este mesmo método sugere equações empíricas para estimativas do Módulo de Resiliência. Com isso, todo esforço teórico para torná-lo racional foi comprometido, o que indica que o método do Asphalt Institute é semi-empírico.

Os dados coletados pela ATECEL em 2002, quando comparados com os obtidos a partir do Relatório da INFRAERO de 1980, apresentaram algumas incoerências. Boa parte dessas incoerências se deve ao fato da incapacidade de realização de ensaios destrutivos em pistas e pátios do aeroporto. Constata-se dessa forma, que a guarda da memória das construções, das avaliações, e das restaurações é de grande importância para um efetivo Sistema de Gerência de Aeroportos como preconiza HASS E HUDSON (1994).

Ao avaliar a condição de superfície da pista de pouso e decolagem, não foram observadas trincas de reflexão. Quando o autor do projeto de recape (1980) sugeriu a utilização de um "binder" de 15,0 cm de espessura sobre as placas de concreto, conseguiu evitar o surgimento de trincas de reflexão sobre a superfície do pavimento.

Os resultados obtidos pelo Manual do AI corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas com dados da INFRAERO e da ATECEL.

O autor do projeto (1980) objetivando dispor de adequadas margens de performances resolveu selecionar como aeronave tipo do projeto estrutural o Boeing 727-200, quando a demanda para o horizonte de 1990 seria atendida pelo Boeing 737. Com isso, ele conseguiu evitar que houvesse um desgaste acentuado nas estruturas dos pavimentos por um período maior do que o previsto em projeto. A Tabela 4.1 apresenta a relação das aeronaves

que operam atualmente no aeroporto Castro Pinto e suas características quanto ao peso máximo de decolagem (PMD).

Tabela 4.1 – Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto (INFRAERO, 2004).

AERONAVE	PESO MÁXIMO		PESOS DE REFERÊNCIA	
	COMBUSTÍVEL (kg)	CARGA (kg)	MÍNIMO (kg)	MÁXIMO (kg)
A310-200	42.63	31.884	91.327	141.558
A310-300	47.344	36.286	125.514	164.309
A318	19.143	14.100		
A319	18.849	16.836	21.053	88.421
A320-200	18.511	20.672	51.591	79.107
A321-100	18.723	23.000	22.068	97.099
ATR-42-500	4.500	5.620		
B737-200	14.520	15.970	27.215	52.616
B737-300	19.150	15.400	31.751	58.967
B737-400	18.600	19.900	36.287	68.039
B737-500	19.150	15.200	31.751	58.967
B737-700	20.888		37.648	69.626
B737-800	20.888		41.413	78.471
ERJ135		4.770		
ERJ145	4.210	4.580		
ERJ170		9.000		
FOKKER-100	10.294	12.365		

Não houve modificações significativas nas Circulares 150/5320-6C e 150/5320-6D para o cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos. Entretanto, a espessura de recape de CBUQ, dimensionada sobre pavimentos rígidos, apontam para um superdimensionamento.

4.2 – SUGESTÕES

Após análise sobre o que foi relatado nesta dissertação, considera-se conveniente sugerir alguns estudos relacionados a pavimentos de aeroportos:

- estudos sobre a sistematização da coleta de dados ou de informações;
- estudos sobre métodos ou técnicas de manutenção;
- estudos sobre avaliação das condições de superfície e desempenho;
- estudos sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos aplicados às necessidades regionais e locais;
- estudos sobre custos de manutenção, restaurações e construções de pavimentos de aeroportos a partir de resultados obtidos pelo Método da FAA e pelo Método do Asphalt Institute.

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS

ABNT– NBR 8197. Associação Brasileira de Normas Técnicas.– “Instrumentos de Medição de Força, de Uso Geral” – Aferição, 3P, 1984.

ABNT– NBR 7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Análise Granulométrica” – Aferição, 13P, 1984.

ABNT– NBR 12891. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall” – Aferição, 12P, 1984.

ASPHALT INSTITUTE –Thickness Design – Asphalt Pavements for Air Carrier Airports.3. ed. College Park, Maryland, 1987.(Asphalt Institute. Manual Series, 11).

BURMISTER, D. M.- "The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems", Journal of Applied Physics No. 16, USA, 1945.

BURMISTER, D. M. - "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways", Proceedings, Highway Research Board, Volume 23, Washington, D.C., USA, 1943.

CARDOSO, S.H. – Gerência de Pavimentos em Vias Urbanas In: Reunião Anual de Pavimentação, 5; Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, Natal, 1994.

COST 333 - "Development of New Bituminous Pavement Design Method", Final Report of the Action, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities,Luxembourg, 1999.

DIRENG – 01-87 –Método de Ensaio - Índice de Suporte Califórnia de Solos Utilizando Amostras não Trabalhadas, 1987.

DNER – PRO 011/79 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B. Rio de Janeiro, 1979.

DNER – ES 128/83 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-rígido para Gerência de Pavimentos em Nível de Rede – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

DNER – ME 010/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Cimentos Asfálticos de Petróleo – Determinação do teor de Betume. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 043/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 054/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Equivalente de Areia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 083/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 084/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado miúdo - Determinação de Densidade Real. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 266/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 007/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Avaliação Subjetiva da superfície de Pavimentos – Procedimentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 008/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Objetiva da superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – TER 001/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 053/95 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume. Rio de Janeiro, 1995.

DNER– Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1996.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 1998.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Manual de Reabilitação de Pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro, 1998.

FAA –Federal Aviation Administration –Advisory Circular 150/5320-6D – Airport Pavement Design and Evaluation –U.S. Department of Transportation, July of 1995.

FERREIRA, A. B. H – Novo Dicionário Aurélio Eletrônico – Século XXI, versão 3.0. ed. Nova Fronteira, 1999.

HAAS, R., HUDSON, W. R., ZANIEWSKI, J. – Modern Pavement Management. Malabar / Flórida, Krieger Publishing Company, 1994.

HORONJEFF, ROBERT –Aeroportos Planejamento s Projeto. Trad. Por Heitor Lisboa de Araújo. Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro 1966.

HILDEBRAND, G – Verification of Flexive Pavement Response From a Field Test Part 1, Road Directorate, Danish Road Institute, 2002.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista 16/34, Pista de ligação, Pátios de Manobras e obras complementares, Relatório Técnico, Vol. 2. João Pessoa, 1980.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista de Pouso e Decolagens 16/34, Pista de táxi, Estacionamentos e obras complementares do Aeroporto "Presidente Castro Pinto", Relatório de Acompanhamento, Vol. 1. João Pessoa, 1981.

MEDINA, JAQUES DE – Mecânica dos Pavimentos. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

NILSSON, T. ULF e MONTANHINI, LÚCIA R. A. – Ensaio para Obtenção de "Módulos de Elasticidade" In: Reunião Anual de Pavimentação, 32ª, Anais. Associação brasileira de Pavimentação, Brasília, 2000.

NCHRP - "Measuring In Situ Mechanical Properties of Pavement Subgrade Soils", Synthesis of Highway Practice 278, National Cooperative Highway Research Program, TRB, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999.

ODEMARK, N. – "Undersökning av elasticitetegenskaperna hos olika joadarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin", Statens Vägintstitut, Meddelande 77, Sweden, 1949 (in Swedish).

PAIVA, C. E. L. e PEIXOTO, C. F. – Iteração Aeronave-Pavimento In: 2003 Internacional Conference –Airports: Planing, Infrastructure & Enviroment. Rio de Janeiro, june 8-11, 2003.

PITA, M. R. – Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84. 3 ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. 91p. (ET-97).

RODRIGUES, J.K.G – Pressiômetros, Tensões e Deformações em Sub-bases de Pavimentos Flexíveis, Tese de Doutorado, Vol.1, Escola de Engenharia de São Carlos ,Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SENÇO, WLASTERMILER de –Manual de Técnicas de Pavimentação. 1. ed. PINI. São Paulo, 1997.

SEVERI, A.A., BALBO, J.T., RODOLFO, M.P. – Conceitos Mecanicistas Básicos Sobre Pavimentos Asfálticos, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, USP, São Paulo, 1998.

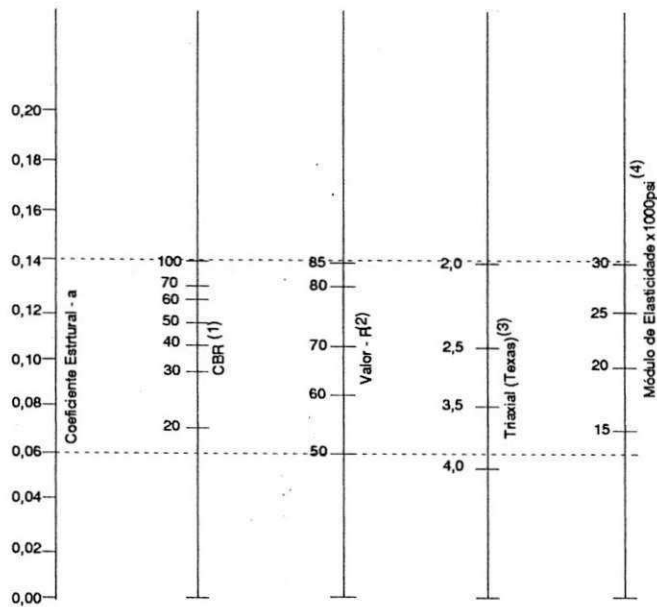
YANG, W.-s -"Mechanistic Analysis of Nondestructive Pavement Deflection Data", Ph. D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York, USA, 1988.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. –Principles of Pavement Design – Second Edition – Jonh Wiley & Sons, Inc. – New York, 1975.

ANEXOS

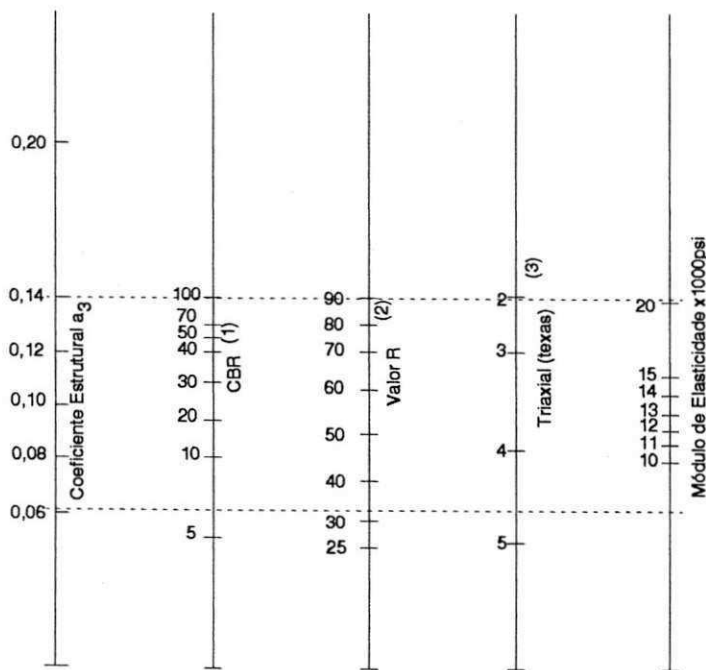
ANEXO A

ÁBACOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS



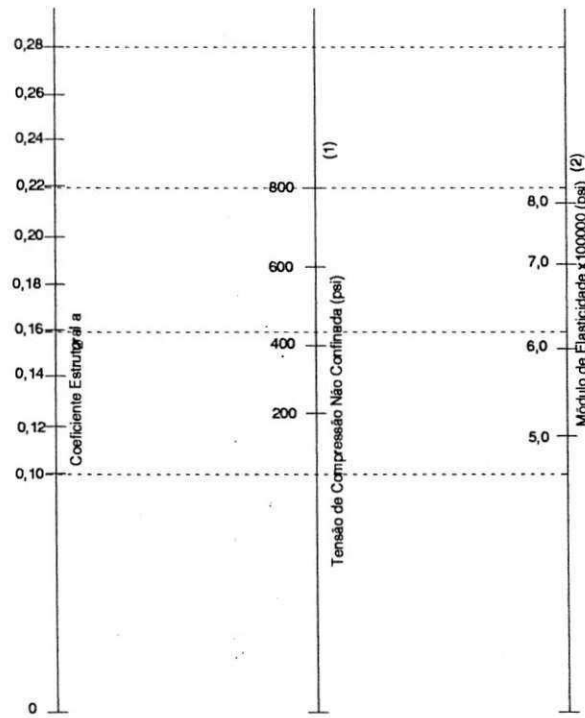
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 1- Estimativa do coeficiente estrutural da base granular (AASHO,1993)



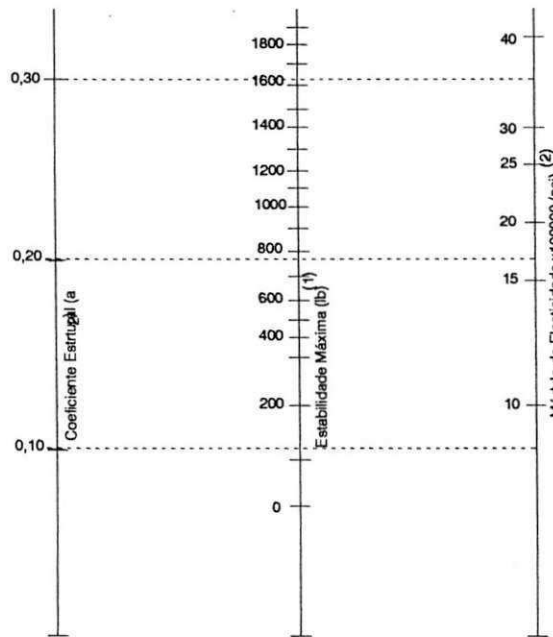
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 2- Estimativa do coeficiente estrutural da camada de sub-base (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 3 – Estimativa do coeficiente estrutural para base tratada com cimento (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 4 – Estimativa do coeficiente estrutural da camada de base tratada com betume (AASHO, 1993).

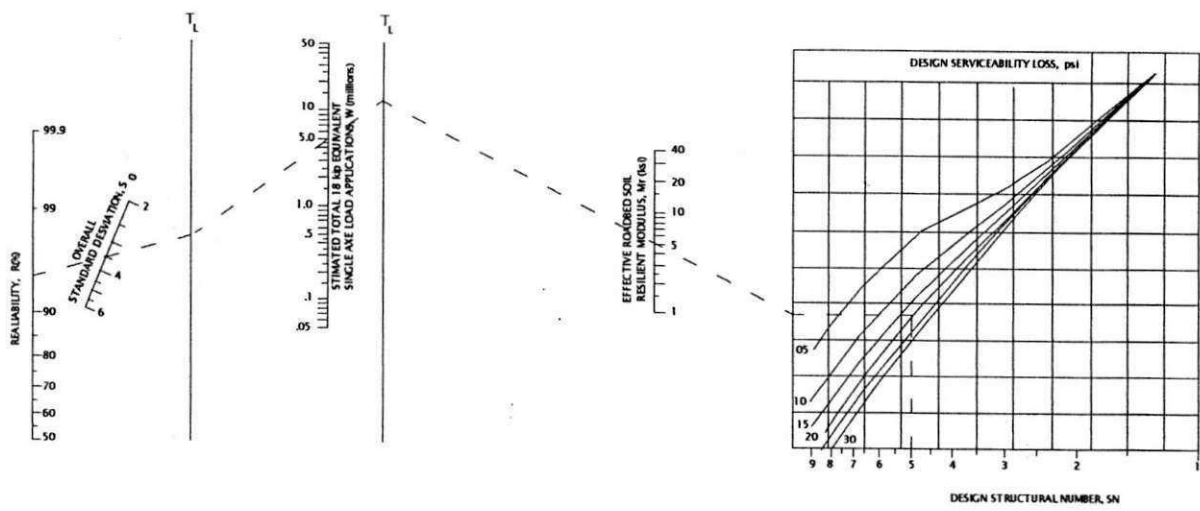


Figura 5 – Gráfico para determinação do número estrutural do pavimento (SN) (AASHO, 1993).

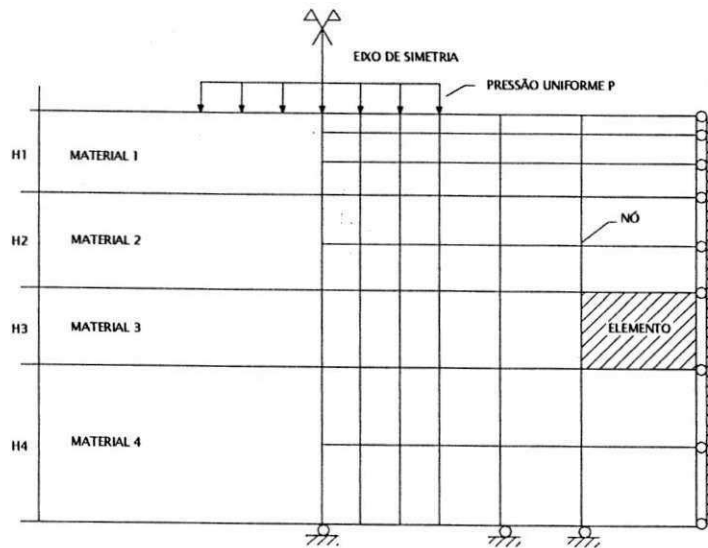


Figura 6 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (Medina, 1997).

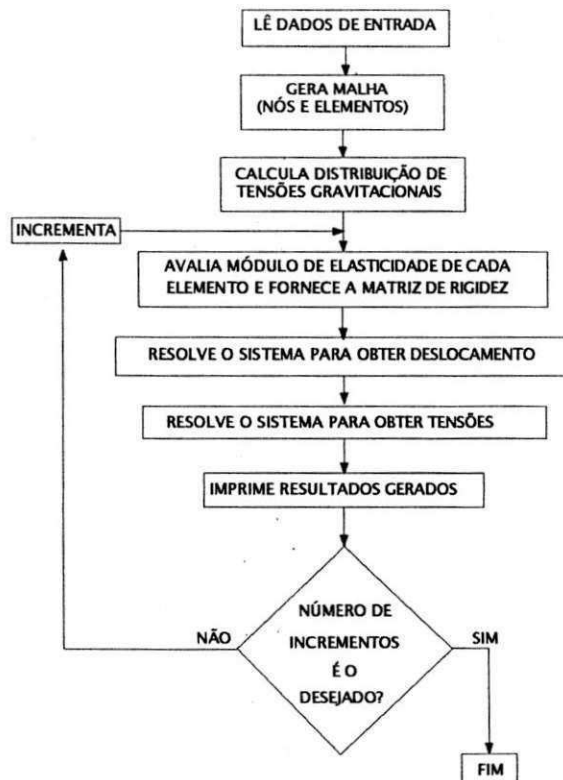


Figura 7 – Fluxograma do Programa FEPAVE (Medina, 1997).

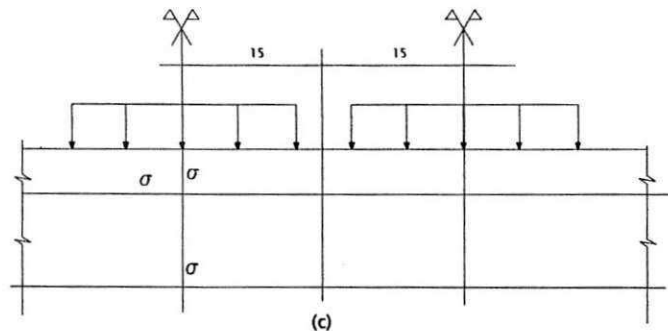
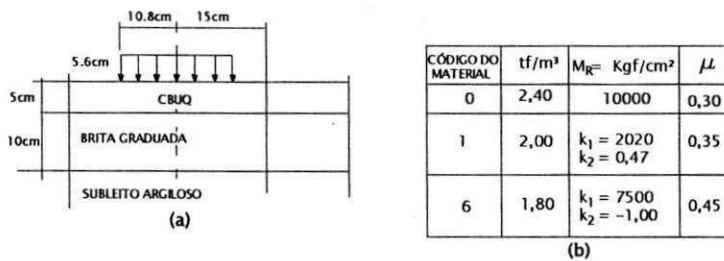


Figura 8 – Parâmetros de desempenho estrutural de um pavimento obtido pelo Programa FEPAVE: (a) Perfil do pavimento; (b) parâmetros físicos e de deformabilidade; (c) parâmetros obtidos (Medina, 1997).

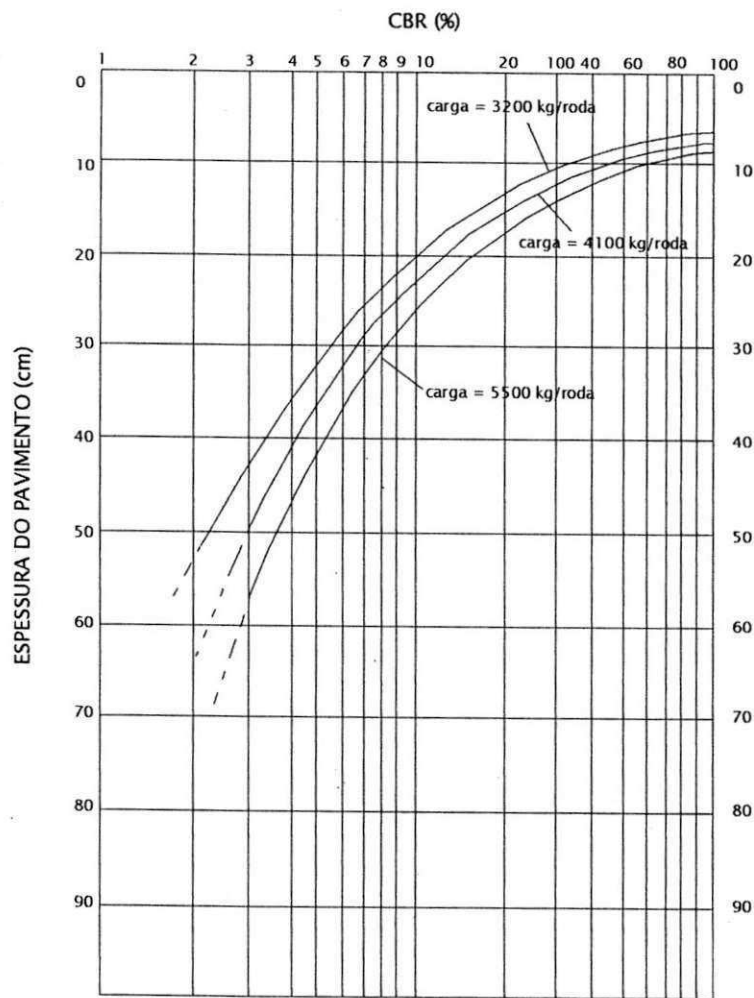


Figura 9 – Curvas para dimensionamento (SENÇO, 1997).

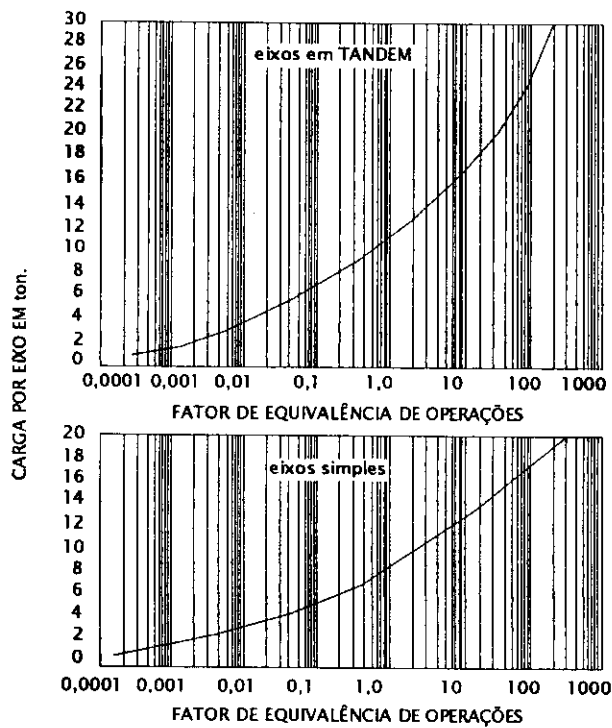


Figura 10 – fatores de equivalência de operações (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

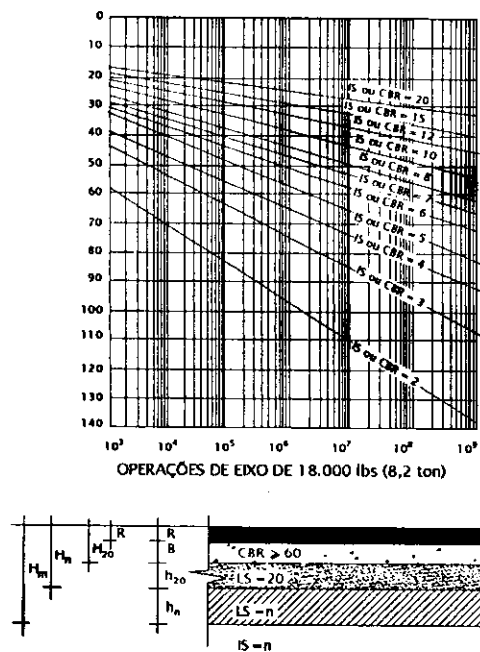


Figura 11 – Gráfico de operações de eixo de 8,2 t e simbologia (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

Figura 13 – Abaco para estimativa do valor do suporte do solo (SENÇO, 1997).

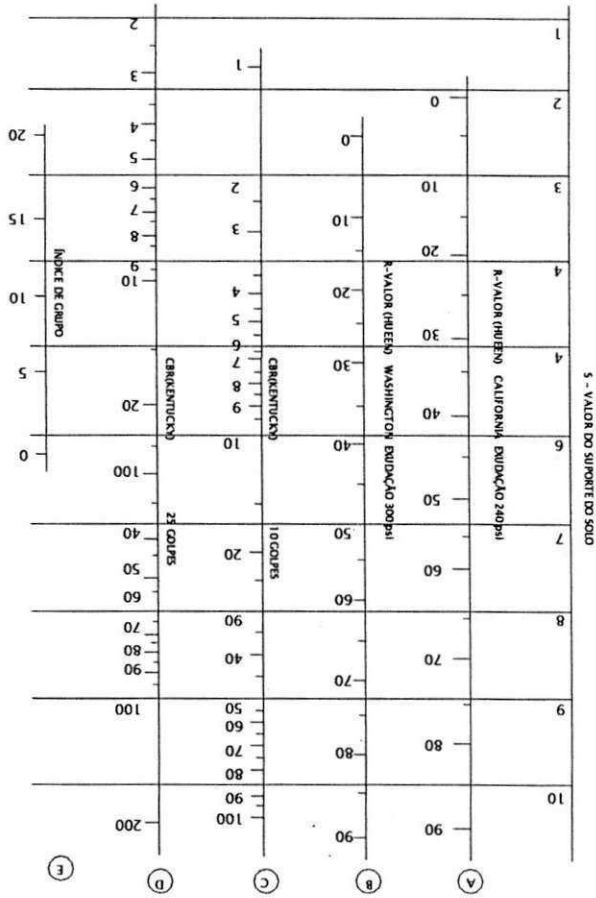
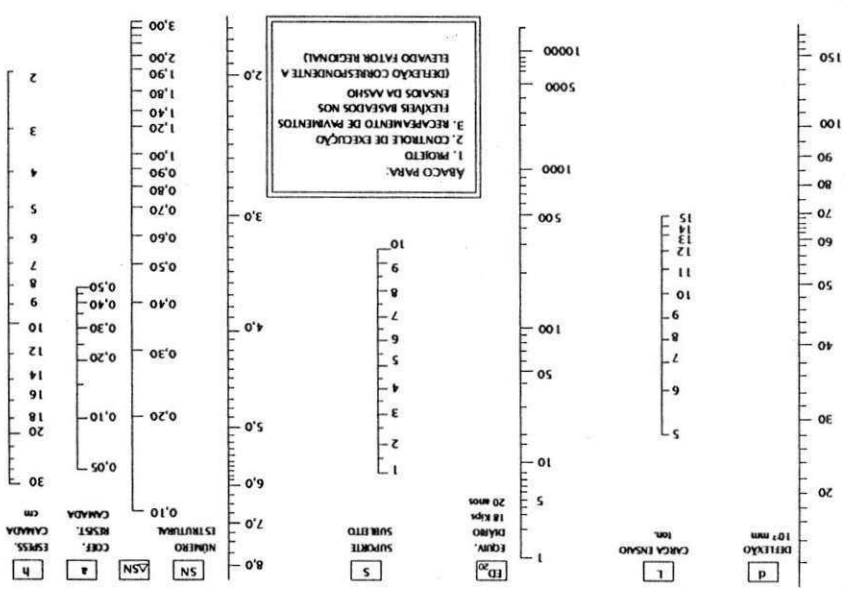


Figura 12 – Abacos para dimensionamento A.A.S.H.O (SENÇO, 1997).



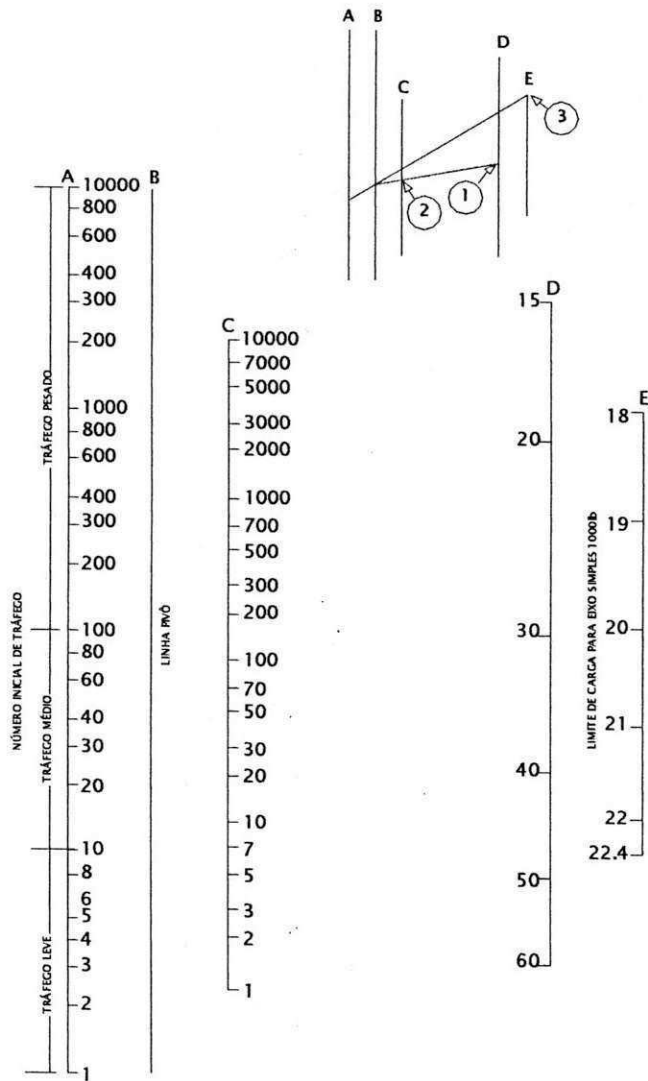


Figura 14 – Nomograma do carregamento do eixo equivalente a 18 kip (80 KN)

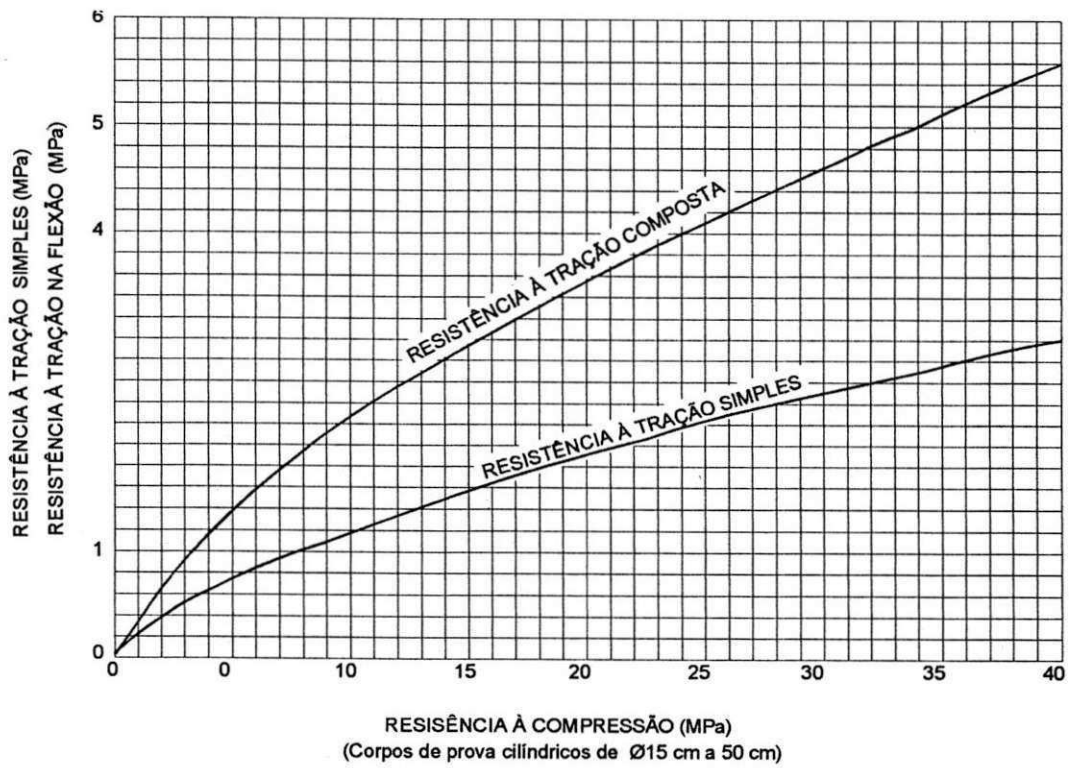


Figura 15 – Resistência à tração simples e na flexão versus resistência à compressão.

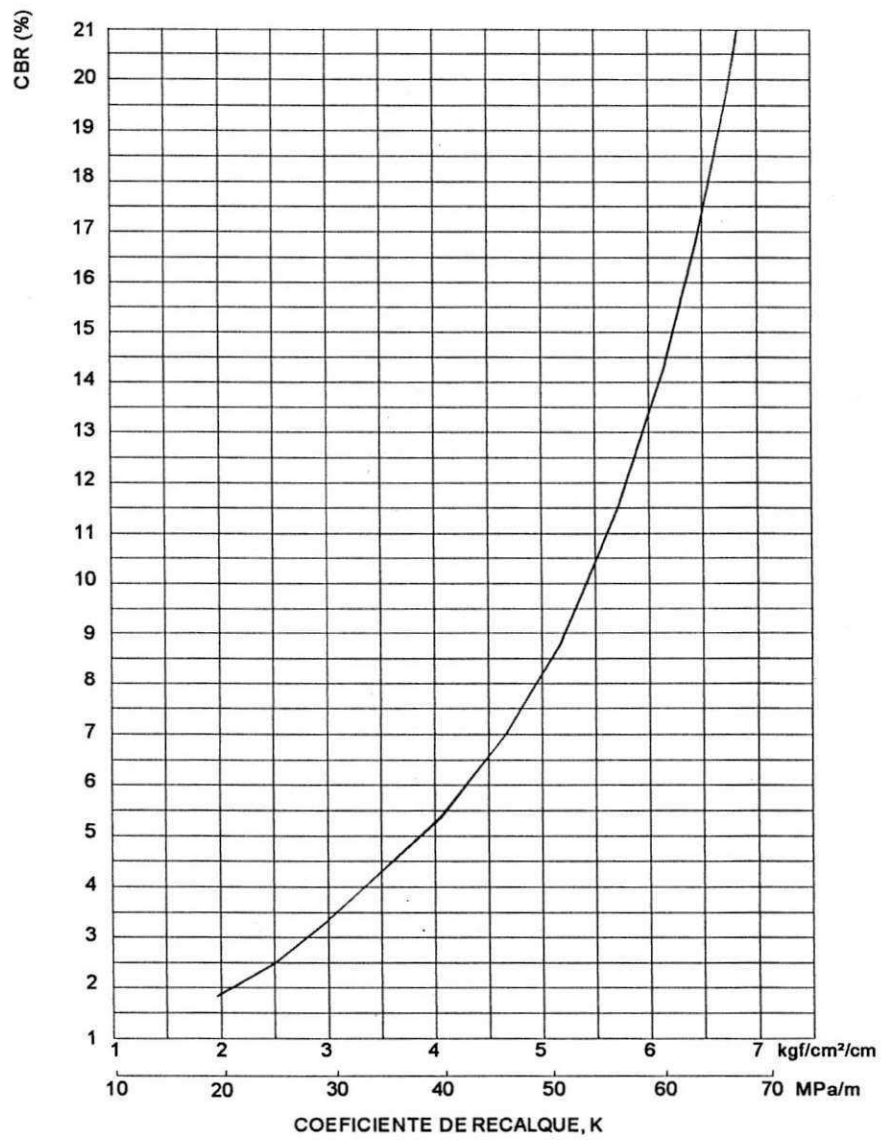
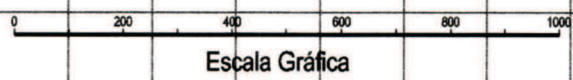
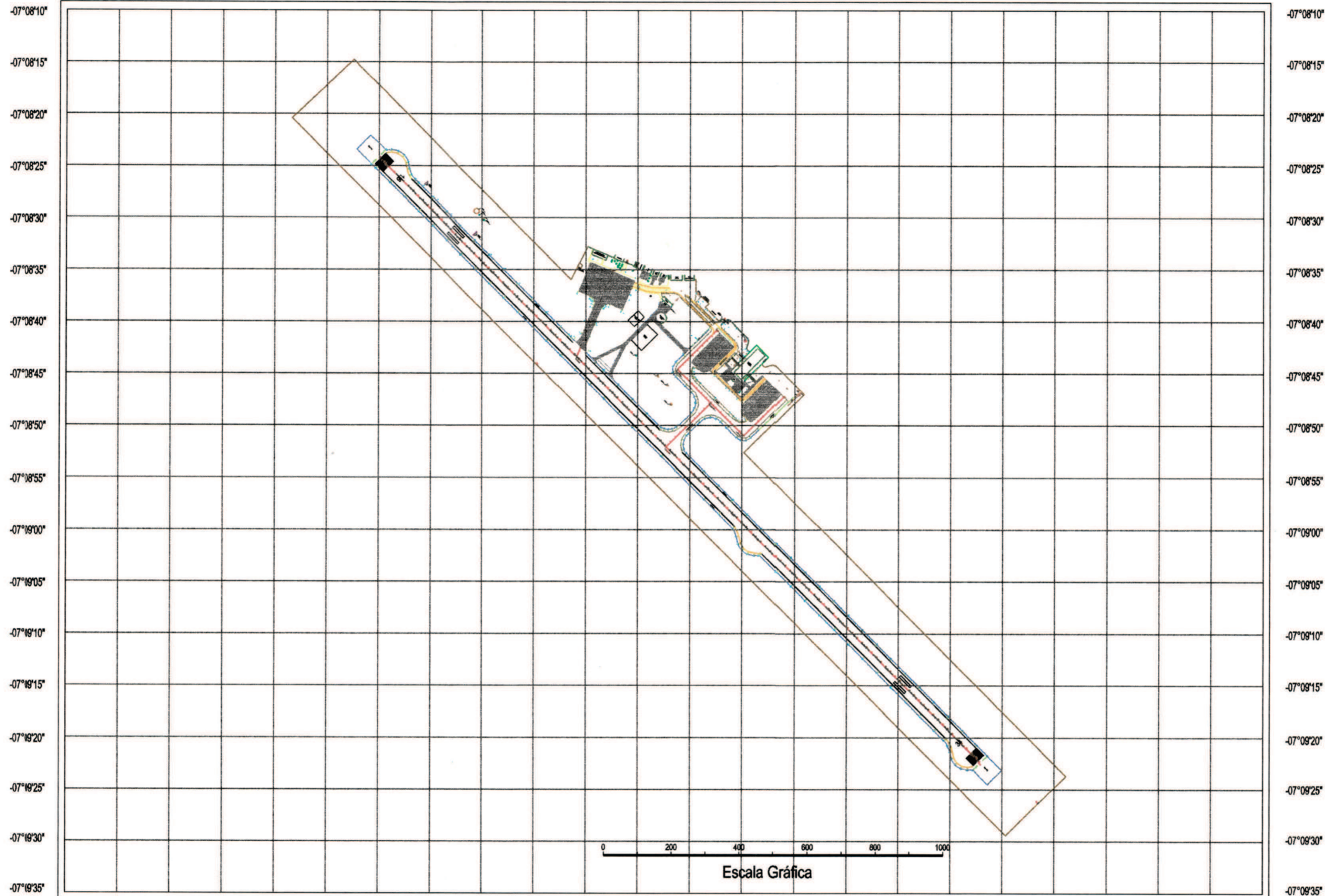


Figura 16 - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o Coeficiente de Recalque (K) do subleito (válida somente para camadas de espessura semi-infinita)

ANEXO B

PRANCHAS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

-34°58'00" -34°57'55" -34°57'50" -34°57'45" -34°57'40" -34°57'35" -34°57'30" -34°57'25" -34°57'20" -34°57'15" -34°57'10" -34°57'05" -34°57'00" -34°56'55" -34°56'50" -34°56'45" -34°56'40" -34°56'35" -34°56'30" -34°56'25" -34°56'20" -34°56'15" -34°56'10" -34°56'05"



-34°58'00" -34°57'55" -34°57'50" -34°57'45" -34°57'40" -34°57'35" -34°57'30" -34°57'25" -34°57'20" -34°57'15" -34°57'10" -34°57'05" -34°57'00" -34°56'55" -34°56'50" -34°56'45" -34°56'40" -34°56'35" -34°56'30" -34°56'25" -34°56'20" -34°56'15" -34°56'10" -34°56'05"

LEGENDA			
	Acostamento		Muro/Casa
	Pista		Luminárias
	Acesso de Equip.		Terreno Natural
	Pátio		Cerca
	Drenagem		Rio
	Refletores		Árvore
	Bloco de Concreto		Estacas
	Caixa Boca de Lobo		Jardim
	Caixa de Eletricidade		

Obs.: O sistema está em coordenadas geográficas SAD 69 zona 25s



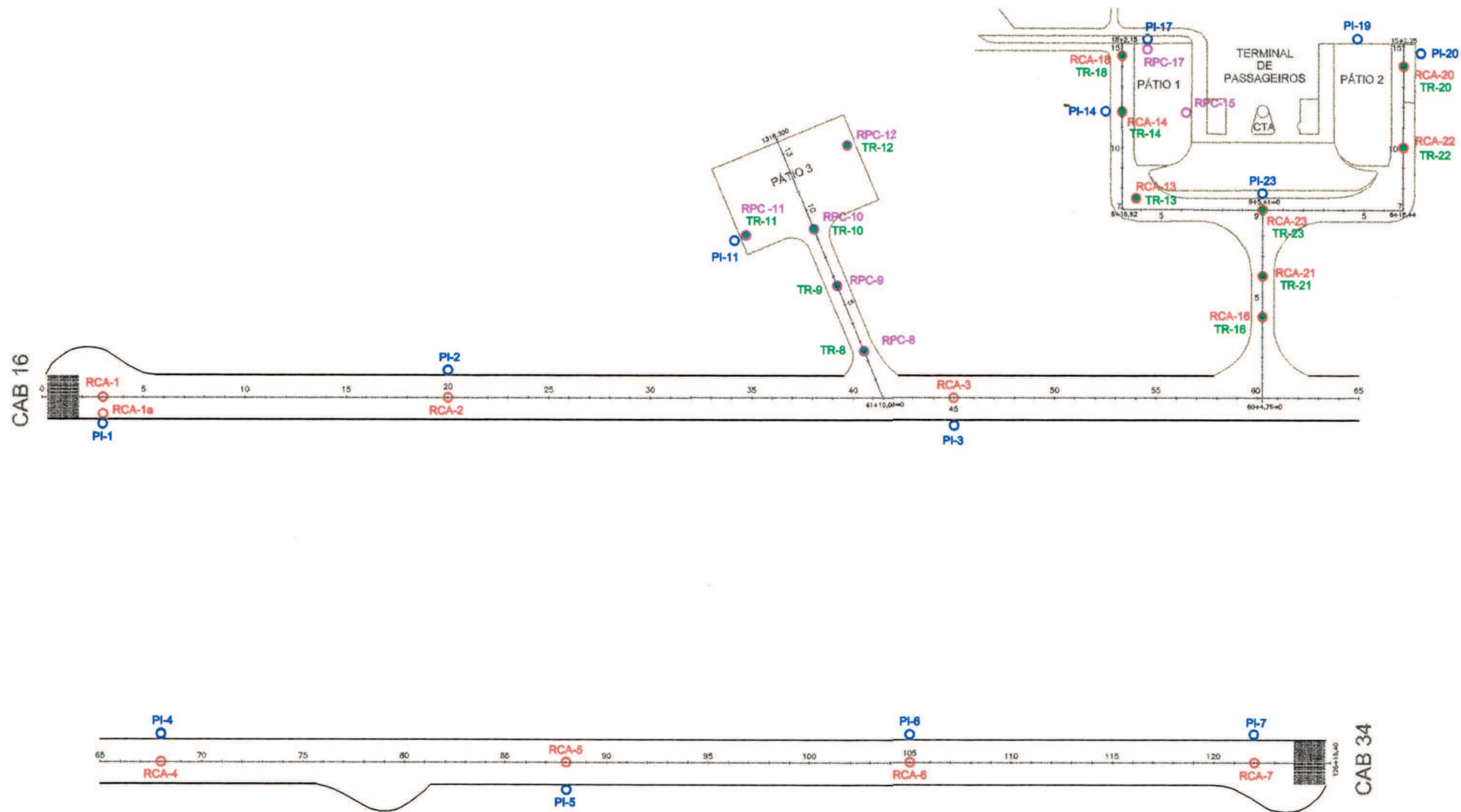
EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA
Superintendência Regional do Nordeste

Escala: Escala Gráfica
Data: Fev/2002

Título: Planta Baixa Georeferenciada do Aeroporto de João Pessoa - PB

Associação Técnico-Científica
Ernesto Luiz de Oliveira Júnior

Prancha
01/01



CONVENÇÕES:

- PI - Poços de Inspeção (trincheira)
- TR - Trado
- RPC - Rotativa em placa de concreto
- RCA - Rotativa em concreto asfáltico



EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA
Superintendência Regional do Nordeste

Escala:

Data:

Aeroporto Presidente Castro Pinto
João Pessoa - PB

S/ Escala

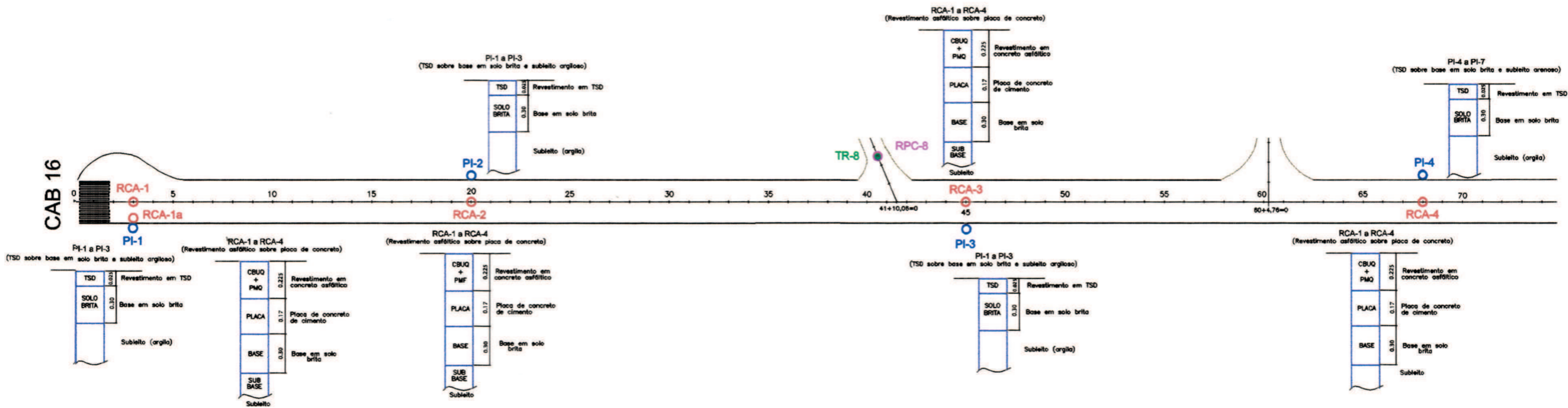
Março/2002

Distribuição dos Furos de Sondagem

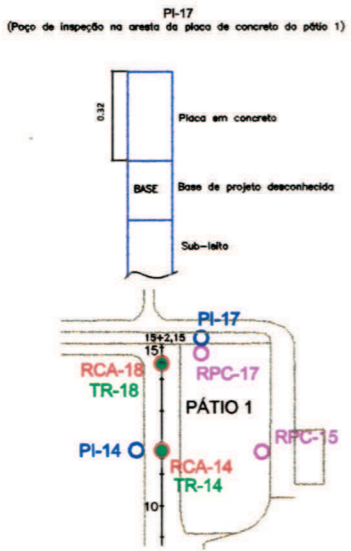
ATECEL® Associação Técnico-Científica
Ernesto Luiz de Oliveira Júnior

Prancha
01/01

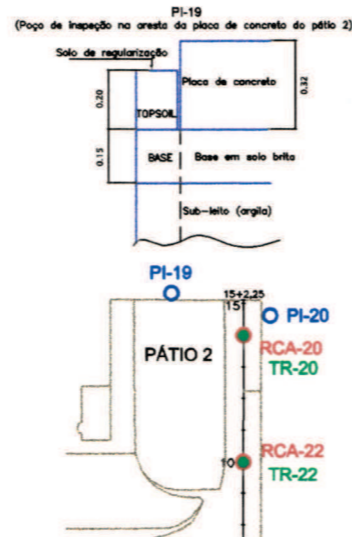
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM



PÁTIO 1

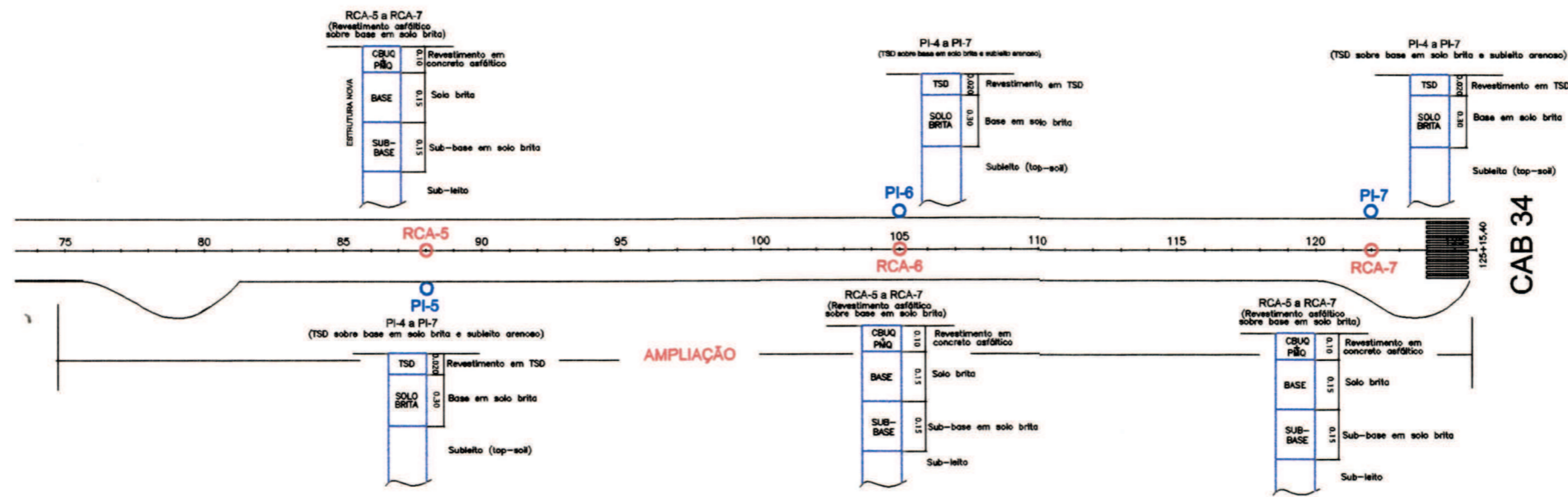


PÁTIO 2

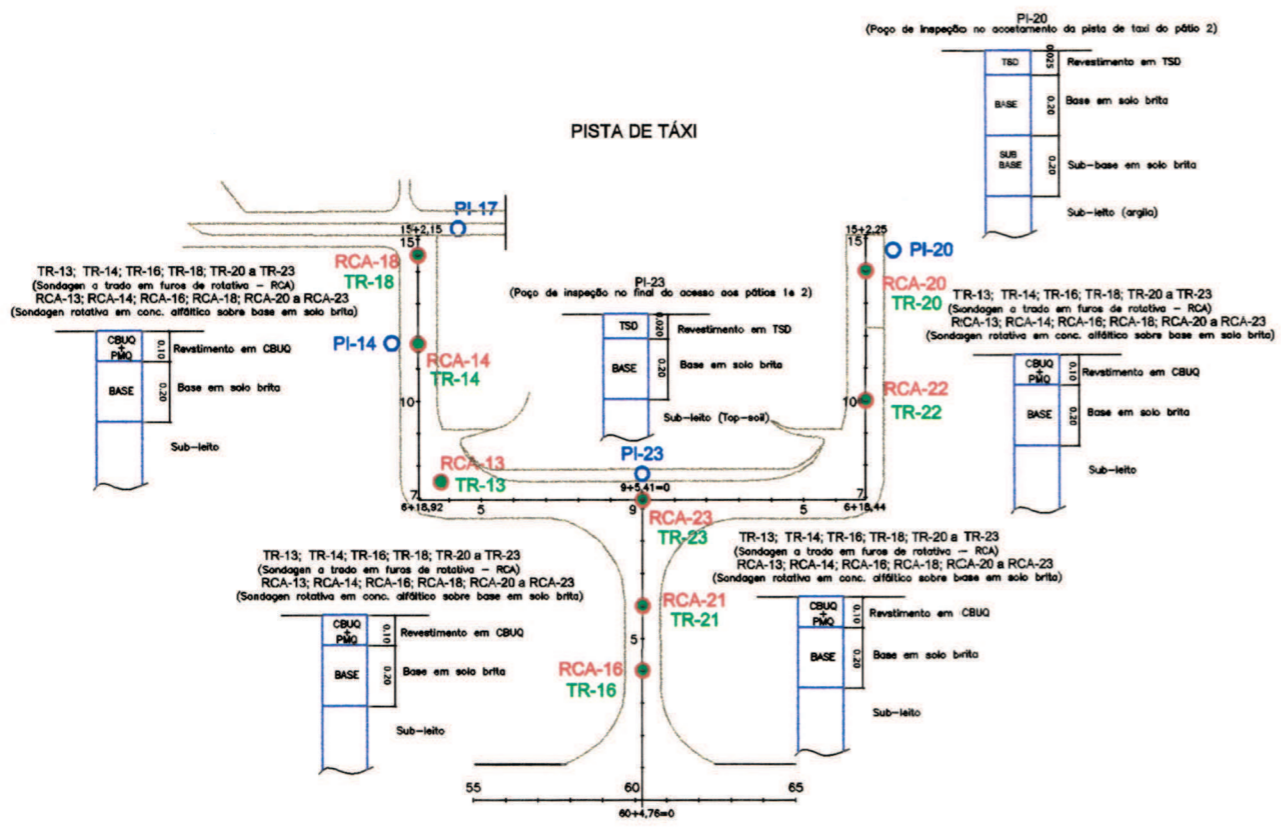


		EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA Superintendência Regional do Nordeste
Escala: s/escala	Data: Março/2002	Aeroporto Presidente Castro Pinto João Pessoa - PB Distribuição dos Perfis de Sondagem
Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior		Prancha 01/02

PISTA DE POUSO E DECOLAGEM AMPLIAÇÃO

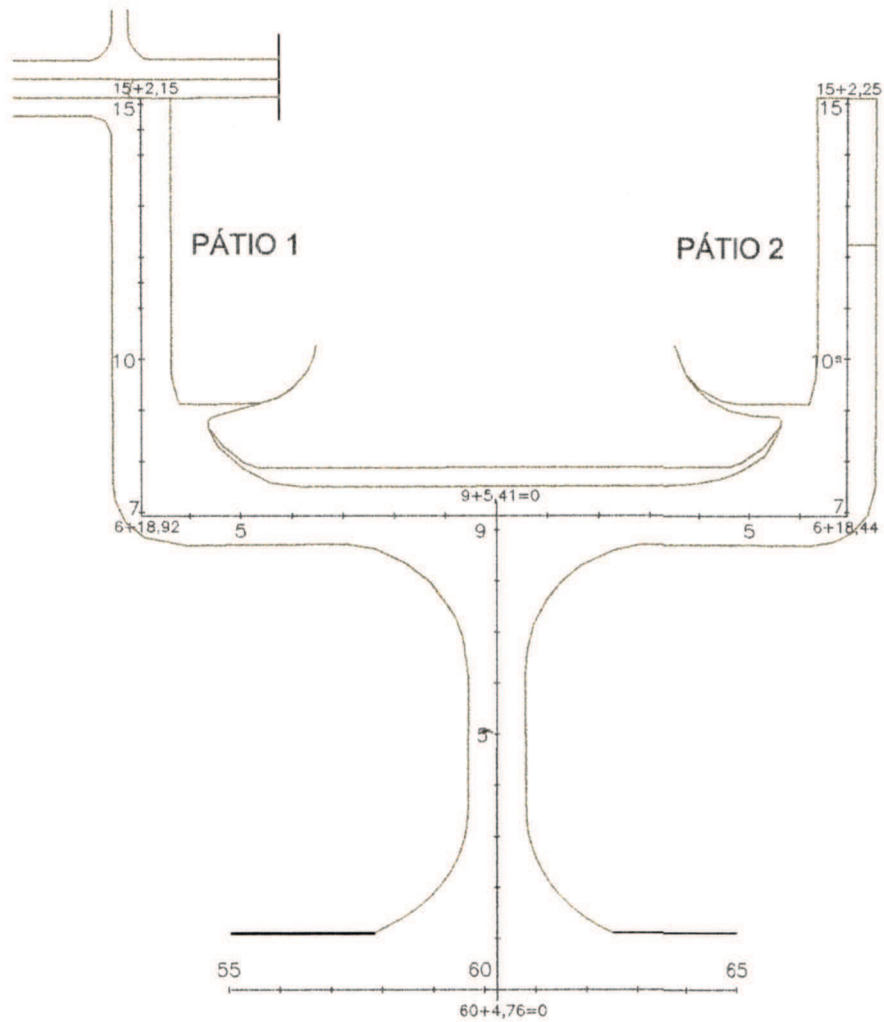


PISTA DE TAXI

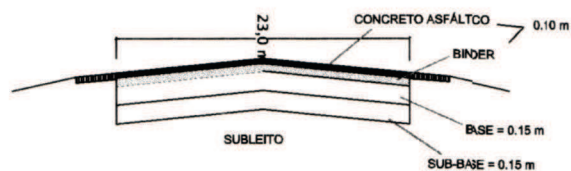


	EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA Superintendência Regional do Nordeste	
	Escala: s/escala	Data: Março/2002
Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior		Prancha 02/02

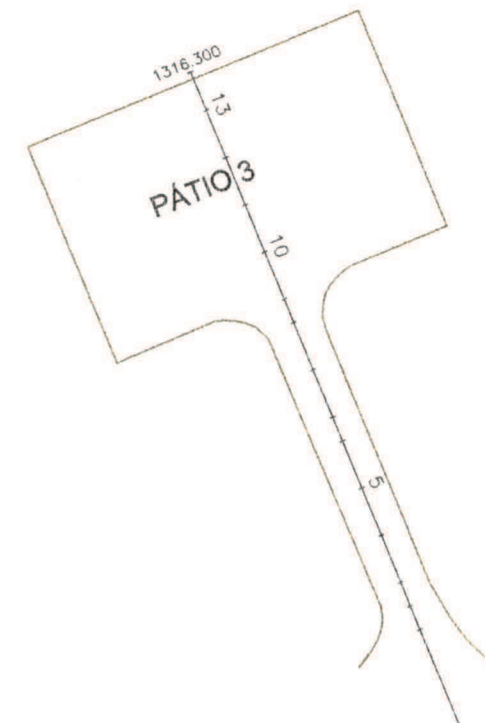
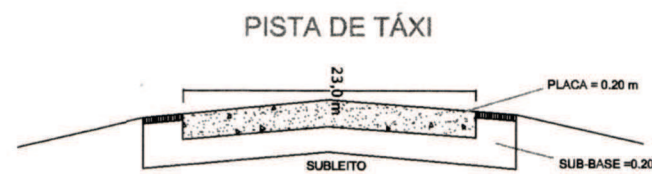
PISTA DE TÁXI (AMPLIAÇÃO)



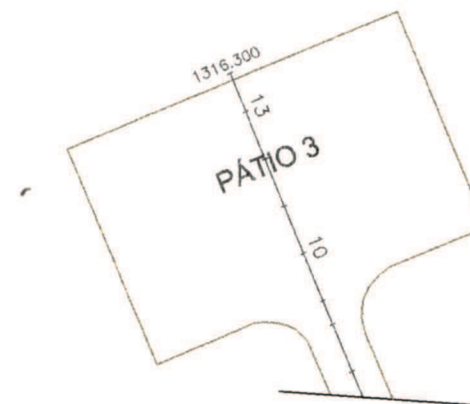
PISTA DE TÁXI (AMPLIAÇÃO)



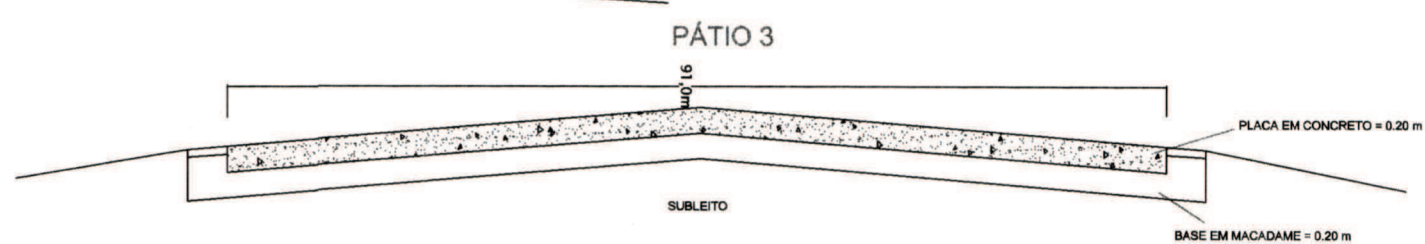
PISTA DE TÁXI



PÁTIO 3



PÁTIO 3



EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA
Superintendência Regional do Nordeste

Escala:

Data:

Aeroporto Presidente Castro Pinto
João Pessoa - PB

S/Escala

Março/2002

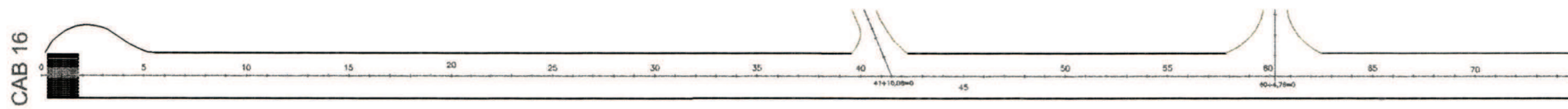
Distribuição das Seções Transversais



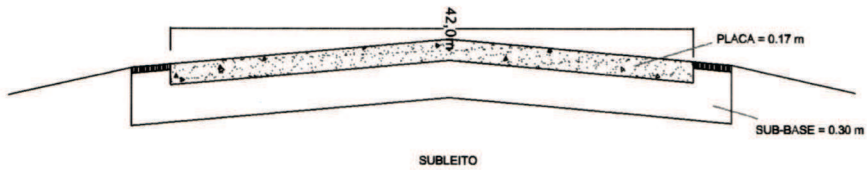
Associação Técnico-Científica
Ernesto Luiz de Oliveira Júnior

Prancha
01/02

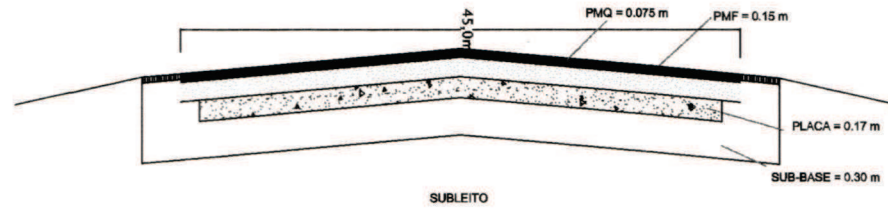
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM



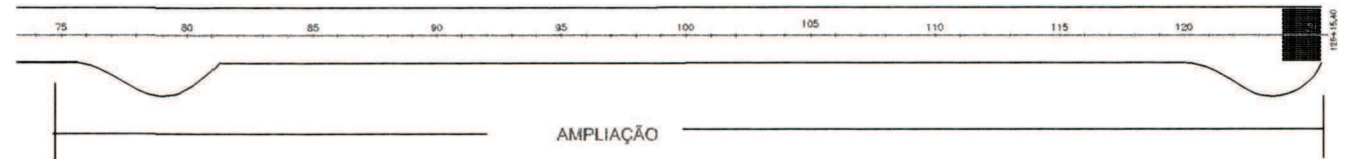
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM SEM RECAPE



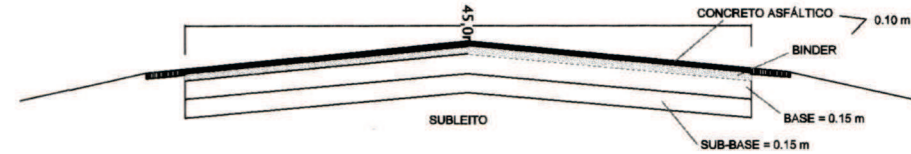
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM RECAPE



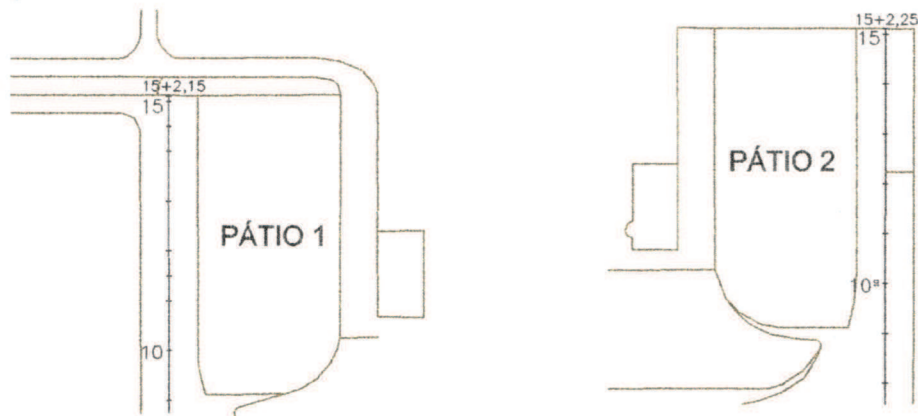
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM AMPLIAÇÃO



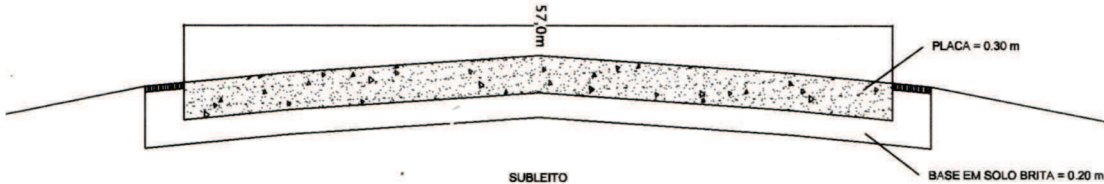
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM



PÁTIOS 1 E 2



PÁTIO 1 E PÁTIO 2



		EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA Superintendência Regional do Nordeste
Escala: S/Escala	Data: Março/2002	Aeroporto Presidente Castro Pinto João Pessoa - PB Distribuição das Seções Transversais
Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior		Prancha 02/02

ANEXO C
RESULTADOS DOS ENSAIOS

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Serviço: Ensaios de Massa Específica Aparente Seca "In situ" nas Camadas Granulares da Pista de Pouso e Decolagem, Pista de Taxi e Pátios

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		Massa Específica Aparente Seca "In situ" kg/cm³	PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO				CLASSIFICAÇÃO		OBSERVAÇÕES
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO		Camada	Espessura	Classificação Visual do Solo	Umidade %	UCS	HRB			
11+18,50	Pátio 1	PI	14	2,24	0	cm	Base	22 cm	Solo brita	6,4			Acostamentos em TSD
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,11	22	cm	Sub-base	21 cm	Solo brita	8,1			
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,04	43	cm	Subleito	-	Top soil	5,8			
-	Pátio 2	PI	19	1,83	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	16,3			
-	Pátio 2	PI	19	1,96	35	cm	Base	15 cm	Solo brita	11,1			
-	Pátio 2	PI	19	1,57	55	cm	Subleito	-	Argila	14,0			
-	Pátio 3	PI	11	1,66	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	8,7			
-	Pátio 3	PI	11	-	20	cm	Base	20 cm	Macadame	-			
-	Pátio 3	PI	11	1,74	40	cm	Sub-base	20 cm	Top soil	8,1			
-	Acesso	PI	23	2,16	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,4			
-	Acesso	PI	23	1,96	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,9			
-	Pátio 1	PI	17	1,60	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	6,2			
-	Pátio 1	PI	17	1,45	20	cm	Base	20 cm	Solo brita	4,1			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,90	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,7			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,98	20	cm	Sub-base	20 cm	Solo brita	13,0			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	1,92	20	cm	Subleito	-	"Argila"	14,3			
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			Infiltração de água na base
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	1,72	20	cm	Subleito	-	"Argila"	13,6			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	1,95	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,1			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	-	20	cm	Subleito	-	Argila	-			Água abaixo do pavimento
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,98	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,70			
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	16,30			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	2,11	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,10			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	1,89	20	cm	Subleito	-	Top soil	8,10			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,90			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	1,97	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,40			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,50			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	7,50			

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Resistência a Compressão Simples

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES		ESPESSURA DA PLACA	
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO				
2 + 10	Patio 3	RPC	8	30,50	MPa	15,00	cm
6	Patio 3	RPC	9	30,30	MPa	15,00	cm
9	Patio 3	RPC	10	28,80	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	11	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	12	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 1	RPC	15	32,70	MPa	30,00	cm
-	Patio 1	RPC	17	29,10	MPa	30,00	cm

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PISTA DE POUSO			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-1	PI-1	PI-2	PI-2	PI-3	PI-3	PI-4	PI-4	
FURO	-	07	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100	100	100	
	1"	100	100	100	100	100	100	100	
	3/8"	82	94	71	95	81	98	75	100
	N ^o 4	72	91	64	93	72	92	66	99
	N ^o 10	68	90	59	90	67	91	61	95
	N ^o 40	42	67	37	69	43	67	39	61
	N ^o 200	10	44	11	45	10	42	12	25
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-	-	
LL	NL	25	NL	23	NL	25	NL	NL	
LP	NP	8	NP	9	NP	9	NP	NP	
EA	-	-	-	-	-	-	-	-	
IG	0	1	0	1	0	1	0	0	
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-2-4	
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.855	1.840	1.865	1.875	1.850	1.855	1.890
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	14,5	7,5	13,0	7,1	14,0	7,5	7,5
	CBR	28	2	19	4	35	3	28	17
	EXPANSÃO	0,01	0,284	0,03	0,214	0,03	0,220	0,02	0,261
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.975	1.870	1.895	1.900	1.960	1.875	1.895	1.895
	UMIDADE ÓTIMA	7,6	13,6	7,3	11,5	6,9	13,0	7,4	7,0
	CBR	46	6	35	8	45	6	41	25
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,021	0,03	0,21
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.165	1.910	2.120	1.910	2.200	1.900	2.170	1.950
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	11,5	7,2	11,2	6,8	11,5	7,2	6,5
	CBR	100	15	95	12	103	10	95	30
	EXPANSÃO	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,05
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PISTA DE POUSO				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-5	PI-5	PI-6	PI-6	PI-7	PI-7			
FURO	-	-	-	-	-	-			
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-			
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100			
	1"	100	100	100	100	100			
	3/8"	80	100	82	100	91	89		
	Nº 4	67	100	75	100	70	82		
	Nº 10	60	98	69	95	62	79		
	Nº 40	38	61	39	55	40	50		
	Nº 200	10	8	12	7	10	13		
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-			
LL	NL	NL	NL	NL	NL	NL			
LP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			
EA	-	-	-	-	-	-			
IG	0	0	0	0	0	0			
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4			
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.900	2.050	1.910	1.850	1.845	1.910		
	UMIDADE ÓTIMA	7,8	7,3	7,5	7,0	8,0	6,3		
	CBR	35	27	35	13	29	15		
	EXPANSÃO	0,05	0,271	0,0	0,150	0,02	0,130		
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.955	2.050	2.010	1.900	1.950	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	6,9	7,5	6,8	7,6	6,1		
	CBR	45	35	53	20	41	25		
	EXPANSÃO	0,02	0,25	0,02	0,13	0,02	0,10		
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.190	2.060	2.185	1.910	2.200	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,5	6,9	6,8	7,5	6,0		
	CBR	98	42	101	35	98	32		
	EXPANSÃO	0,05	0,20	0,03	0,10	0,04	0,10		
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL			

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: ACESSO PATIOS 1 e 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: EIXO E ACOST.			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-23	PI-23	TR-16	TR-16	TR-21	TR-21	TR-23	TR-23	
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100				
	3/8"	75	100	80	100				
	N ^o 4	62	100	69	100	SOLO BRITA	TOP SOIL	SOLO BRITA	TOP SOIL
	N ^o 10	60	95	58	98				
	N ^o 40	45	90	41	94				
	N ^o 200	10	15	8	16				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	NL					
LP	NP	NP	NP	NP					
EA	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.835	1.915	1.860	1.935				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,9	7,5	7,2				
	CBR	28	11	32	16				
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,0	0,02				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.945	1.915	1.960	1.960				
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,5	7,2	7,2				
	CBR	38	21	40	28				
	EXPANSÃO	0,01	0,02	0,01	0,01				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.170	1.935	2.125	1.985				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,3	7,0	7,0				
	CBR	92	31	98	40				
	EXPANSÃO	0,03	0,02	0,01	0,01				
Observações:	BASE	SL	BASE	SL					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 1			SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:			
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:			
REGISTRO Nº	PI-14	PI-14	PI-14	PI-17	PI-17	TR-13	TR-13	TR-14	TR-14	
FURO	-	-	04	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-22	22-33	33-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100	100				
	3/8"	85	91	85	98	80				
	Nº 4	73	85	82	96	73				
	Nº 10	64	65	79	90	65				
	Nº 40	39	45	53	61	44				
	Nº 200	8	12	16	24	8				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	19	NL					
LP	NP	NP	NP	4	NP					
EA	-	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-2-4	A-2-4	A-1-B					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.870	1.865	2.060	1.890	1.895				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,5	8,1	11,5	7,3				
	CBR	21	25	31	20	32				
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,076	0,215	0,0				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.950	2.100	1.995	1.905	1.990				
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	7,5	11,1	7,5				
	CBR	39	52	42	30	55				
	EXPANSÃO	0,0	0,0	0,08	0,20	0,02				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.995	2.195	2.000	1.970	2.150				
	UMIDADE ÓTIMA	7,2	6,8	7,1	10,0	7,1				
	CBR	94	95	55	40	100				
	EXPANSÃO	0,03	0,01	0,05	0,20	0,02				
Observações:	BASE	BASE	SL	SL	BASE					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO		TRECHO: PÁTIO 1		SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO		LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO		CALCULISTA:			
OPERADOR:		VISTO:		LABORATÓRIO:			
REGISTRO N ^o	TR-18	TR-18					
FURO	-	-					
PROFUNDIDADE	0-20	20-					
GRANULOMETRIA	2"	100	100				
	1"	100	100				
	3/8"	83	100				
	N ^o 4	75	99				
	N ^o 10	67	95				
	N ^o 40	41	66				
	N ^o 200	10	18				
FAIXA ASSHO	-	-					
LL	NL	NL					
LP	NP	NP					
EA	-	-					
IG	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.905	1.910				
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	7,1				
	CBR	31	16				
	EXPANSÃO	0,01	0,310				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.010	1.915				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,0				
	CBR	58	22				
	EXPANSÃO	0,0	0,30				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.180	1.950				
	UMIDADE ÓTIMA	6,9	6,8				
	CBR	106	35				
	EXPANSÃO	0,01	0,20				
Observações:	BASE	SL					

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-19	PI-19	PI-19	PI-20	PI-20	TR-20	TR-20	TR-22	TR-22
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROFUNDIDADE	0-22	22-43	43-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	-	-	-	-	-	-	-	-
	1"	100	100	100	100	100	100		100
	3/8"	70	81	95	80	74	95		95
	Nº 4	62	70	90	65	60	92		89
	Nº 10	58	60	85	60	58	89		85
	Nº 40	35	41	71	35	42	75		79
	Nº 200	10	12	46	10	8	43		47
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	SOLO BRITA	-	SOLO BRITA	-
LL	NL	NL	22	NL	NL		20		25
LP	NP	NP	7	NP	NP		6		7
EA	-	-	-	-	-		-		-
IG	0	0	1	0	0		-		-
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-4	A-1-B	A-1-B		A-4		A-4
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.850	1.768	1.835	1.890		1.685	1.810
	UMIDADE ÓTIMA	7,4	7,0	15,6	7,3	7,7		16,0	15,3
	CBR	30	35	3	21	27		4	4
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,410	0,03	0,04		0,500	0,380
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.995	1.810	1.980	1.970		1.710	1.880
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	15,0	7,3	7,4		15,0	14,8
	CBR	51	41	6	39	44		8	6
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,40	0,02	0,03		0,50	0,40
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.210	2.195	1.900	1.995	2.150		1.850	1.975
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,8	14,8	7,0	7,2		13,5	14,0
	CBR	102	94	12	90	98		13	14
	EXPANSÃO	0,02	0,01	0,38	0,03	0,04		0,05	0,40
Observações:	BASE	BASE	SL	BASE	BASE		SL		SL

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PÁTIO 3				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: EIXO/ LATERAIS				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-11	PI-11	TR-8	TR-9	TR-10	TR-11	TR-12		
FURO	01	01	-	-	-	-	-		
PROFUNDIDADE	0-75	75-100	-	-	-	-	-		
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	-	-	-	-	-	-		
	1"	100	100	100	100	100	100		
	3/8"	99	100	98	100	99	97	100	
	N ^o 4	98	100	97	96	97	96	99	
	N ^o 10	96	99	94	95	94	92	98	
	N ^o 40	63	60	65	64	66	63	61	
	N ^o 200	26	11	12	20	15	25	12	
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-		
LL	21	NL	NL	NL	NL	NL	NL		
LP	5	NP	NP	NP	NP	NP	NP		
EA	-	-	-	-	-	-	-		
IG	0	0	-	-	-	-	-		
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4		
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.905	1.970	1.910	1.890	1.950	1.910	
	UMIDADE ÓTIMA	9.8	7.2	7.5	7.3	8.9	9.0	7.5	
	CBR	23	19	18	21	16	20.0	25	
	EXPANSÃO	0.207	0.193	0.210	0.310	0.240	0.223	0.220	
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.945	1.990	1.935	1.925	1.965	1.925	
	UMIDADE ÓTIMA	8,5	7,0	7,5	7,0	7,5	8,0	7,5	
	CBR	29	30	21	29	26	31	32	
	EXPANSÃO	0,28	0,20	0,30	0,28	0,20	0,21	0,18	
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.990	1.980	1.980	1.955	1.935	1.975	1.975	
	UMIDADE ÓTIMA	8,3	6,5	7,0	6,9	7,2	8,1	7,3	
	CBR	35	40	29	35	34	44	52	
	EXPANSÃO	0,22	0,20	0,20	0,25	0,25	0,28	0,20	
Observações:	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL		
Observações: PI-11 (0-75) – SOLO DE REGULARIZAÇÃO (Aterro), PI-11 (75-100) – SUB-BASE									

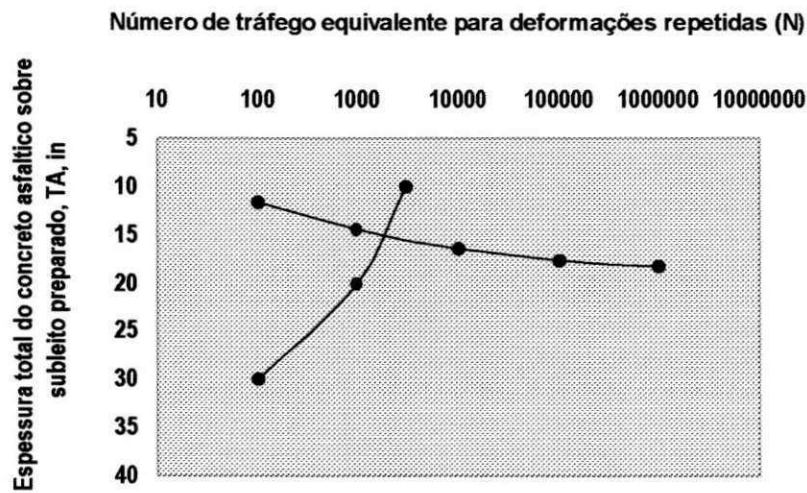


Figura 01 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

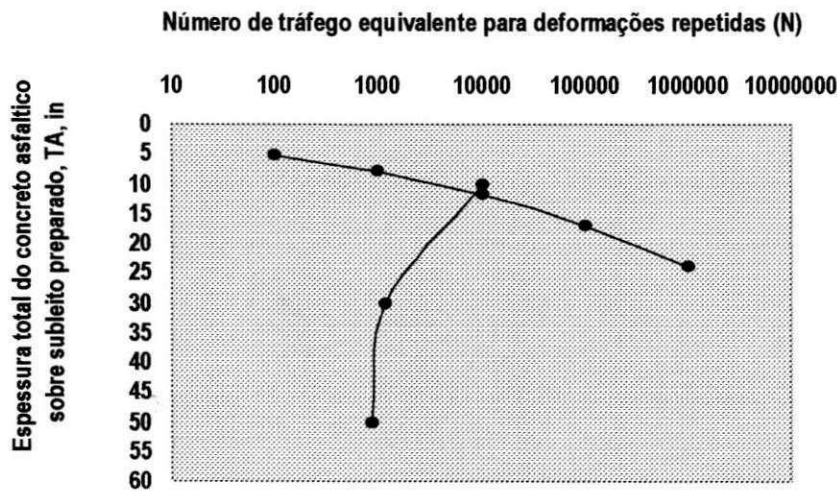


Figura 02 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

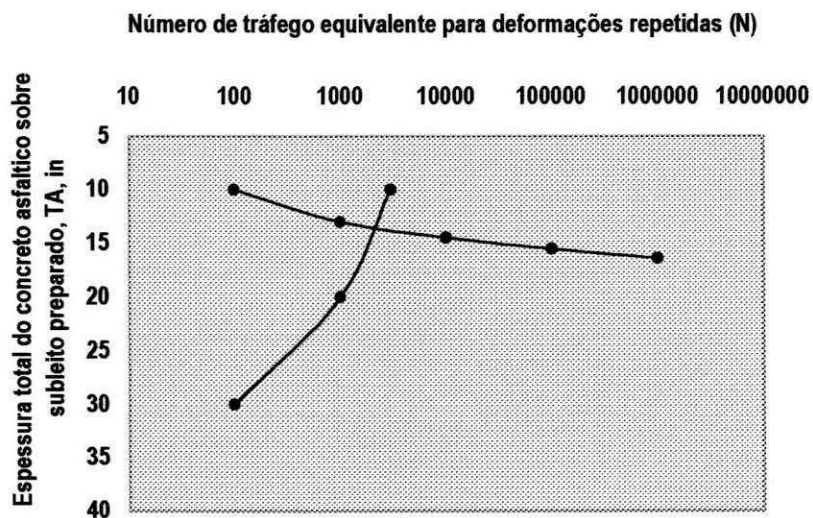


Figura 03 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

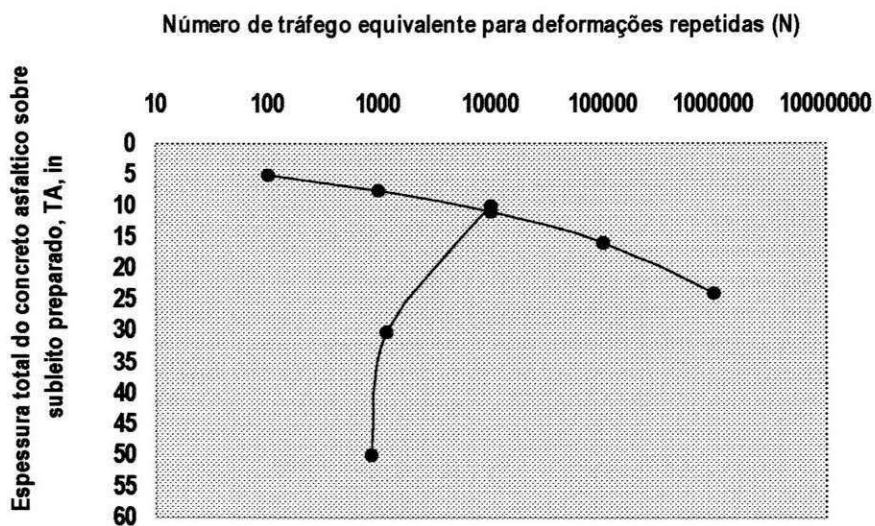


Figura 04 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

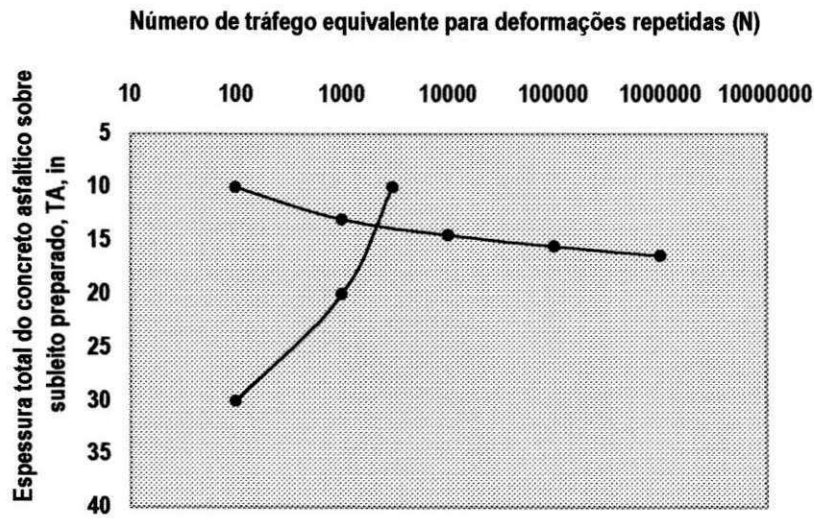


Figura 05 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

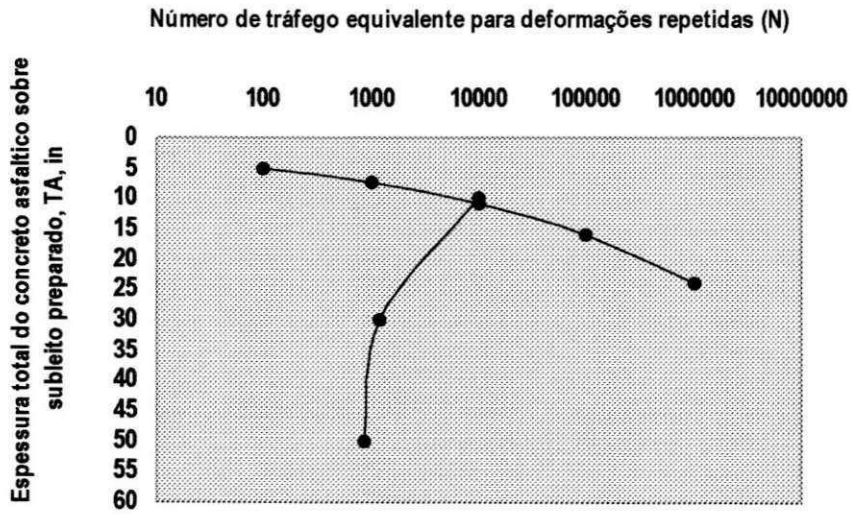


Figura 06 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_i

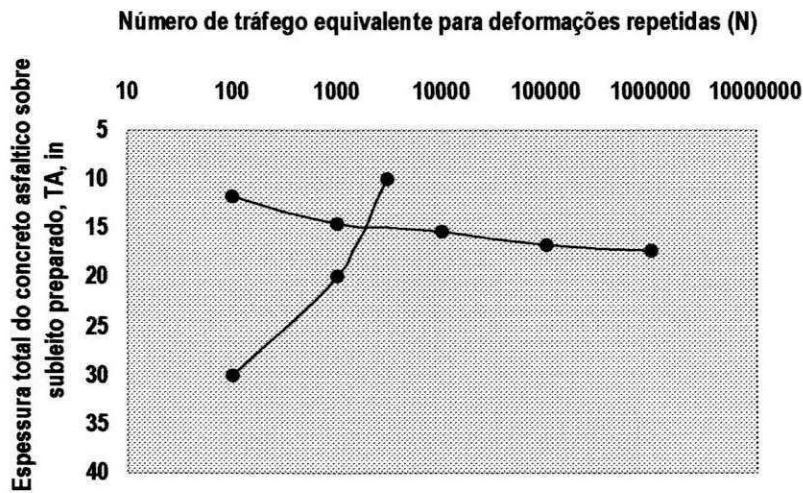


Figura 07 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

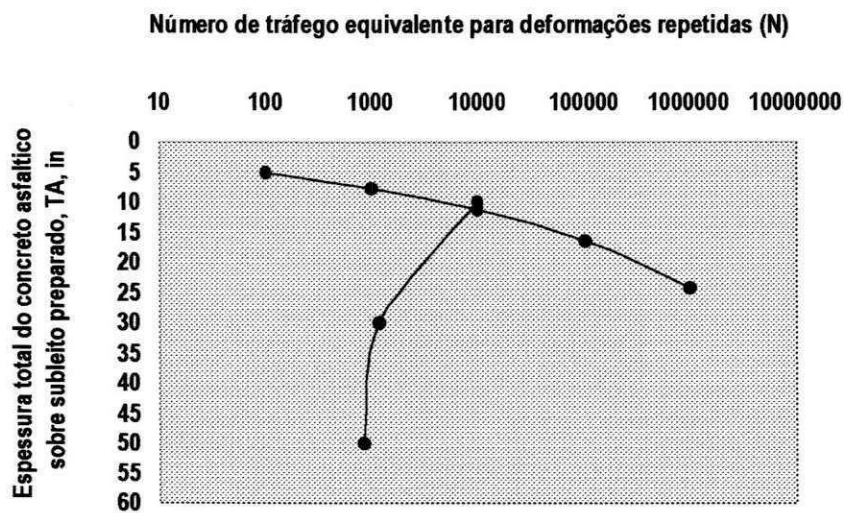


Figura 08 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

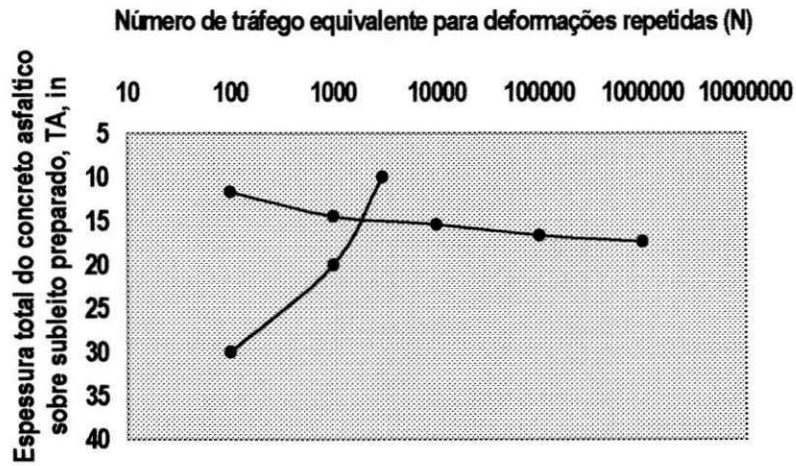


Figura 09 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

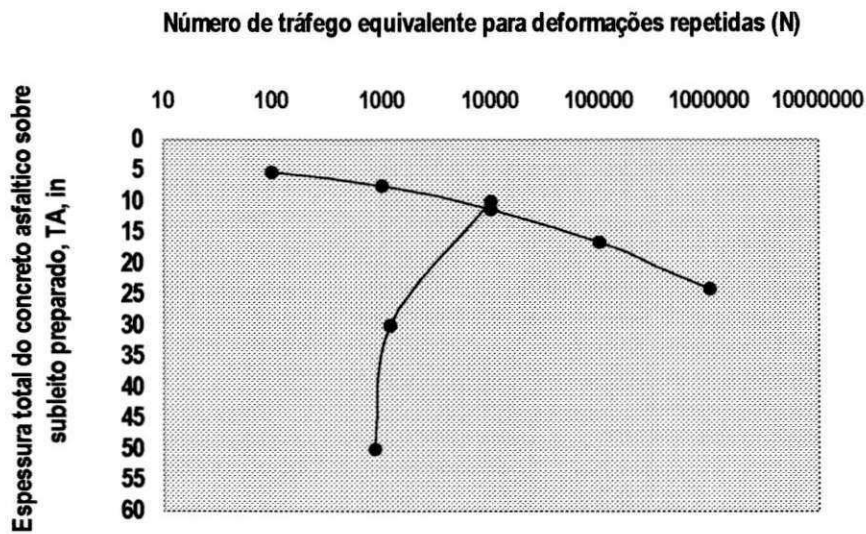


Figura 10 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

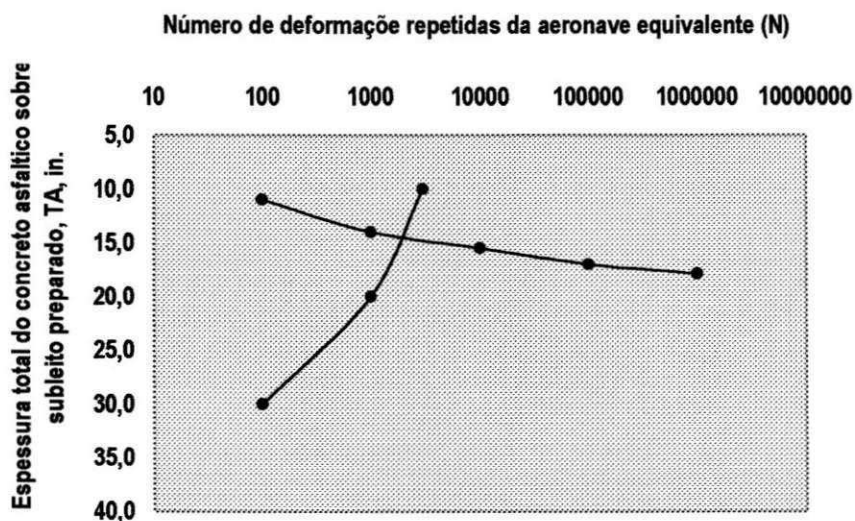


Figura 11 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

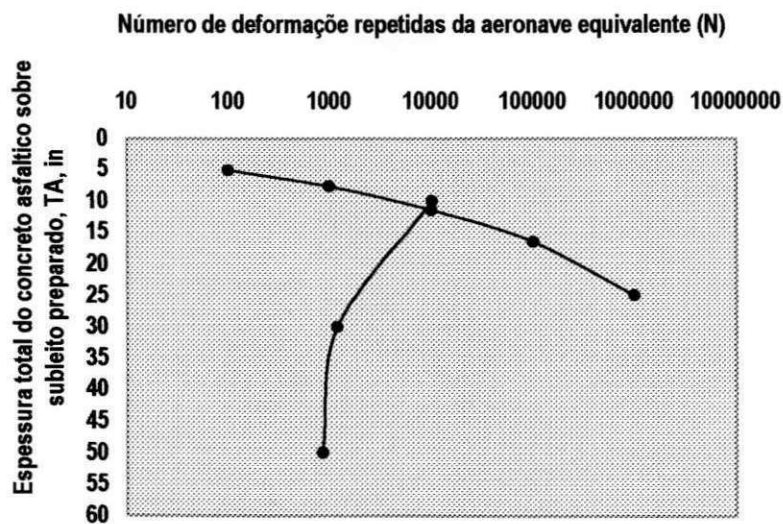


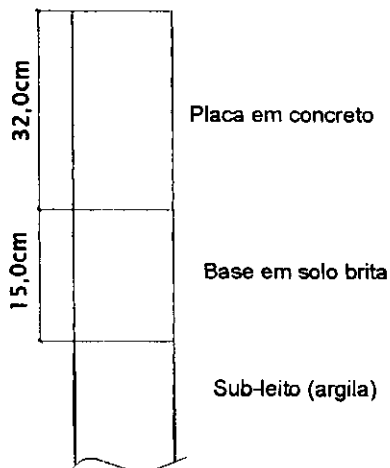
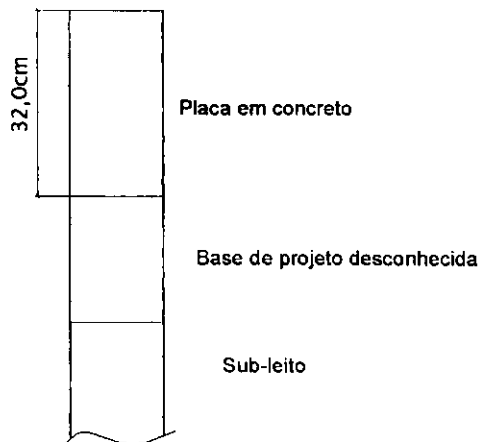
Figura 12 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação)

Estrutura existente

Novo dimensionamento

Pátio 1 e Pátio 2 (Ampliação)



$CBR_{\text{subleito}} = 18,6\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 15,5\%$ (ATECEL) – Pátio 1

$CBR_{\text{subleito}} = 19,5\%$ (ATECEL) – Pátio 2

Coefficiente de recalque (K) INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque (K) ATECEL = 228 pci
(em função do CBR de 15,5%)

Tensão de tração na flexão INFRAERO = 738 psi (5 MPa)

Tensão de tração na flexão da ATECEL = 681 psi
(4,7 MPa, em função do RCP = 30,9 (MPa))

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave = B 727-200 -Eixo duplo

Espessuras estimadas

Pátio 1

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,8$ cm

Pátio 2

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,6$ cm

As estruturas dos pátios, trecho ampliado, foram dimensionadas em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura da placa estimada na época foi de 32,0 cm.

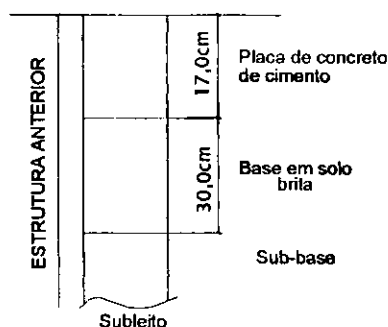
Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura foi de 32,5 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 36,6 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras da placa estimadas pela Circular da FAA, não sofreram variações significativas. Estes resultados indicam que não houve modificações significativas nas Circulares Advisory Circular 150/5320-6C e Advisory Circular 150/5320-6D, em se tratando de cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos (Tabela 3.1).

3.5.3 - Dimensionamento a partir do método do Asphalt Institute

3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)

Estrutura existente (Antes do Recape)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 11\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Espessura da placa = 17,0 cm

Coefficiente de recalque INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque ATECEL = 214 pci
(em função do CBR, 12,6%)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave b 727 200 - Eixo duplo

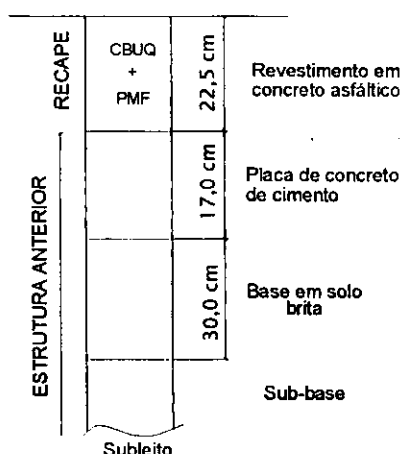
Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C

Espessuras de recape estimadas

$T_{(cbr1)} = 14,0$ cm

$T_{(cbr2)} = 14,0$ cm

Estrutura existente (Depois do recape)



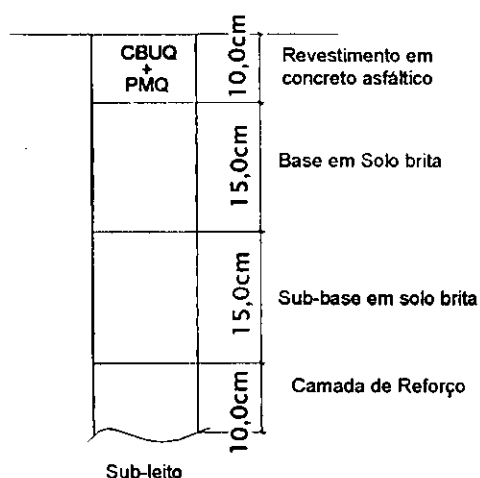
Ao dimensionarmos pelo Método do AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para o recape foi de 14,0 cm para dados de projeto da INFRAERO e 14,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL. Este Manual sugere para o cálculo da espessura de recape de concreto asfáltico, T, considerando a estrutura futura como sendo, uma estrutura flexível sobre uma rígida. A espessura de recape, a partir deste método, é estimada em função do módulo de resiliência, temperatura média anual, tráfego, coeficiente recalque, tipo de aeronaves, etc.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de recape estimada pela Manual do AI, sofreu uma redução de 8,50 cm, que faz indicar, que a estrutura anterior está superdimensionada. Estes resultados, corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado (Tabela 3.1).

Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semidestrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção.

3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 14\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo

Temperatura média anual 26°C

Espessuras da Estrutura

$T_{A(\text{cbr1})} = 35,6$ cm

$T_{A(\text{cbr2})} = 38,1$ cm

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 38,1 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 14,9 cm respectivamente. Como não foram observadas perdas significativas de serventia e/ou desgastes acentuados da superfície do pavimento (trecho ampliado), os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – acessos (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)

Novo dimensionamento

CBUQ + PMQ	10,0cm	Revestimento em concreto asfáltico	CBR _{subleito} = 14% (INFRAERO) CBR _{subleito} = 12,3% (ATECEL)
	15,0cm	Base em Solo brita	Tráfego = 3300 (R ₁) Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)
	15,0cm	Sub-base em solo brita	Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C
	10,0cm	Camada de Reforço	Espessuras da Estrutura T _{A(cbr1)} = 35,6 cm T _{A(cbr2)} = 38,0 cm
Sub-leito			

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e 38,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 15,0 cm respectivamente. Os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa

PAVIMENTO	DIMENSIONAMENTO									
	RECAPE					NOVO				
	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM	22,50 cm	35,50 cm	46,80 cm	14,00 cm	14,00 cm	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,10 cm
PISTA DE TÁXI	—	—	—	—	—	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,00 cm
PÁTIOS 1	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,80 cm	—	—
PÁTIO 2	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,60 cm	—	—

FAA(PROJETO) = Espessura estimada no projeto original da INFRAERO (Relat. Vol. II, 1980);

FAA (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

FAA (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

AI (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

AI (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 – CONCLUSÕES

O método de dimensionamento, contido na Advisory Circular 150/5320-6D da FAA, consiste essencialmente em considerar fatores, tais como: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc. e dimensionar a estrutura dos pavimentos baseada em nomogramas empíricos desenvolvidos ao longo dos anos pela a FAA. Pode-se inferir que o método da FAA é empírico.

Apesar do método do Instituto do Asfalto ser baseado na hipótese de um pavimento do tipo sistema elástico de multicamadas, as tensões e deformações não são parâmetros de entrada no processo de dimensionamento. Segundo o Instituto, ao utilizá-lo, as deformações e tensões são indiretamente computadas. Entretanto, este mesmo método sugere equações empíricas para estimativas do Módulo de Resiliência. Com isso, todo esforço teórico para torná-lo racional foi comprometido, o que indica que o método do Asphalt Institute é semi-empírico.

Os dados coletados pela ATECEL em 2002, quando comparados com os obtidos a partir do Relatório da INFRAERO de 1980, apresentaram algumas incoerências. Boa parte dessas incoerências se deve ao fato da incapacidade de realização de ensaios destrutivos em pistas e pátios do aeroporto. Constata-se dessa forma, que a guarda da memória das construções, das avaliações, e das restaurações é de grande importância para um efetivo Sistema de Gerência de Aeroportos como preconiza HASS E HUDSON (1994).

Ao avaliar a condição de superfície da pista de pouso e decolagem, não foram observadas trincas de reflexão. Quando o autor do projeto de recape (1980) sugeriu a utilização de um "binder" de 15,0 cm de espessura sobre as placas de concreto, conseguiu evitar o surgimento de trincas de reflexão sobre a superfície do pavimento.

Os resultados obtidos pelo Manual do AI corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas com dados da INFRAERO e da ATECEL.

O autor do projeto (1980) objetivando dispor de adequadas margens de performances resolveu selecionar como aeronave tipo do projeto estrutural o Boeing 727-200, quando a demanda para o horizonte de 1990 seria atendida pelo Boeing 737. Com isso, ele conseguiu evitar que houvesse um desgaste acentuado nas estruturas dos pavimentos por um período maior do que o previsto em projeto. A Tabela 4.1 apresenta a relação das aeronaves

que operam atualmente no aeroporto Castro Pinto e suas características quanto ao peso máximo de decolagem (PMD).

Tabela 4.1 – Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto (INFRAERO, 2004).

AERONAVE	PESO MÁXIMO		PESOS DE REFERÊNCIA	
	COMBUSTÍVEL (kg)	CARGA (kg)	MÍNIMO (kg)	MÁXIMO (kg)
A310-200	42.63	31.884	91.327	141.558
A310-300	47.344	36.286	125.514	164.309
A318	19.143	14.100		
A319	18.849	16.836	21.053	88.421
A320-200	18.511	20.672	51.591	79.107
A321-100	18.723	23.000	22.068	97.099
ATR-42-500	4.500	5.620		
B737-200	14.520	15.970	27.215	52.616
B737-300	19.150	15.400	31.751	58.967
B737-400	18.600	19.900	36.287	68.039
B737-500	19.150	15.200	31.751	58.967
B737-700	20.888		37.648	69.626
B737-800	20.888		41.413	78.471
ERJ135		4.770		
ERJ145	4.210	4.580		
ERJ170		9.000		
FOKKER-100	10.294	12.365		

Não houve modificações significativas nas Circulares 150/5320-6C e 150/5320-6D para o cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos. Entretanto, a espessura de recape de CBUQ, dimensionada sobre pavimentos rígidos, apontam para um superdimensionamento.

4.2 – SUGESTÕES

Após análise sobre o que foi relatado nesta dissertação, considera-se conveniente sugerir alguns estudos relacionados a pavimentos de aeroportos:

- estudos sobre a sistematização da coleta de dados ou de informações;
- estudos sobre métodos ou técnicas de manutenção;
- estudos sobre avaliação das condições de superfície e desempenho;
- estudos sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos aplicados às necessidades regionais e locais;
- estudos sobre custos de manutenção, restaurações e construções de pavimentos de aeroportos a partir de resultados obtidos pelo Método da FAA e pelo Método do Asphalt Institute.

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS

ABNT– NBR 8197. Associação Brasileira de Normas Técnicas.– “Instrumentos de Medição de Força, de Uso Geral” – Aferição, 3P, 1984.

ABNT– NBR 7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Análise Granulométrica” – Aferição, 13P, 1984.

ABNT– NBR 12891. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall” – Aferição, 12P, 1984.

ASPHALT INSTITUTE –Thickness Design – Asphalt Pavements for Air Carrier Airports.3. ed. College Park, Maryland, 1987.(Asphalt Institute. Manual Series, 11).

BURMISTER, D. M.- "The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems", Journal of Applied Physics No. 16, USA, 1945.

BURMISTER, D. M. - "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways", Proceedings, Highway Research Board, Volume 23, Washington, D.C., USA, 1943.

CARDOSO, S.H. – Gerência de Pavimentos em Vias Urbanas In: Reunião Anual de Pavimentação, 5; Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, Natal, 1994.

COST 333 - "Development of New Bituminous Pavement Design Method", Final Report of the Action, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities,Luxembourg, 1999.

DIRENG – 01-87 –Método de Ensaio - Índice de Suporte Califórnia de Solos Utilizando Amostras não Trabalhadas, 1987.

DNER – PRO 011/79 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B. Rio de Janeiro, 1979.

DNER – ES 128/83 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-rígido para Gerência de Pavimentos em Nível de Rede – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

DNER – ME 010/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Cimentos Asfálticos de Petróleo – Determinação do teor de Betume. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 043/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 054/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Equivalente de Areia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 083/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 084/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado miúdo - Determinação de Densidade Real. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 266/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 007/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Avaliação Subjetiva da superfície de Pavimentos – Procedimentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 008/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Objetiva da superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – TER 001/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 053/95 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume. Rio de Janeiro, 1995.

DNER– Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1996.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 1998.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Manual de Reabilitação de Pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro, 1998.

FAA –Federal Aviation Administration –Advisory Circular 150/5320-6D – Airport Pavement Design and Evaluation –U.S. Department of Transportation, July of 1995.

FERREIRA, A. B. H – Novo Dicionário Aurélio Eletrônico – Século XXI, versão 3.0. ed. Nova Fronteira, 1999.

HAAS, R., HUDSON, W. R., ZANIEWSKI, J. – Modern Pavement Management. Malabar / Flórida, Krieger Publishing Company, 1994.

HORONJEFF, ROBERT –Aeroportos Planejamento s Projeto. Trad. Por Heitor Lisboa de Araújo. Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro 1966.

HILDEBRAND, G – Verification of Flexive Pavement Response From a Field Test Part 1, Road Directorate, Danish Road Institute, 2002.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista 16/34, Pista de ligação, Pátios de Manobras e obras complementares, Relatório Técnico, Vol. 2. João Pessoa, 1980.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista de Pouso e Decolagens 16/34, Pista de táxi, Estacionamentos e obras complementares do Aeroporto "Presidente Castro Pinto", Relatório de Acompanhamento, Vol. 1. João Pessoa, 1981.

MEDINA, JAQUES DE – Mecânica dos Pavimentos. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

NILSSON, T. ULF e MONTANHINI, LÚCIA R. A. – Ensaio para Obtenção de "Módulos de Elasticidade" In: Reunião Anual de Pavimentação, 32ª, Anais. Associação brasileira de Pavimentação, Brasília, 2000.

NCHRP - "Measuring In Situ Mechanical Properties of Pavement Subgrade Soils", Synthesis of Highway Practice 278, National Cooperative Highway Research Program, TRB, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999.

ODEMARK, N. – "Undersökning av elasticitetegenskaperna hos olika joadarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin", Statens Vägintstitut, Meddelande 77, Sweden, 1949 (in Swedish).

PAIVA, C. E. L. e PEIXOTO, C. F. – Iteração Aeronave-Pavimento In: 2003 Internacional Conference –Airports: Planing, Infrastructure & Enviroment. Rio de Janeiro, june 8-11, 2003.

PITA, M. R. – Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84. 3 ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. 91p. (ET-97).

RODRIGUES, J.K.G – Pressiômetros, Tensões e Deformações em Sub-bases de Pavimentos Flexíveis, Tese de Doutorado, Vol.1, Escola de Engenharia de São Carlos ,Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SENÇO, WLASTERMILER de –Manual de Técnicas de Pavimentação. 1. ed. PINI. São Paulo, 1997.

SEVERI, A.A., BALBO, J.T., RODOLFO, M.P. – Conceitos Mecanicistas Básicos Sobre Pavimentos Asfálticos, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, USP, São Paulo, 1998.

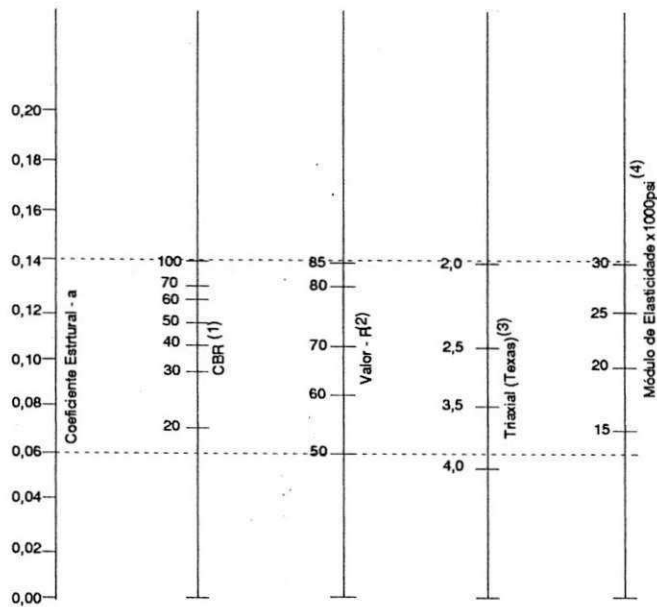
YANG, W.-s -"Mechanistic Analysis of Nondestructive Pavement Deflection Data", Ph. D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York, USA, 1988.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. –Principles of Pavement Design – Second Edition – Jonh Wiley & Sons, Inc. – New York, 1975.

ANEXOS

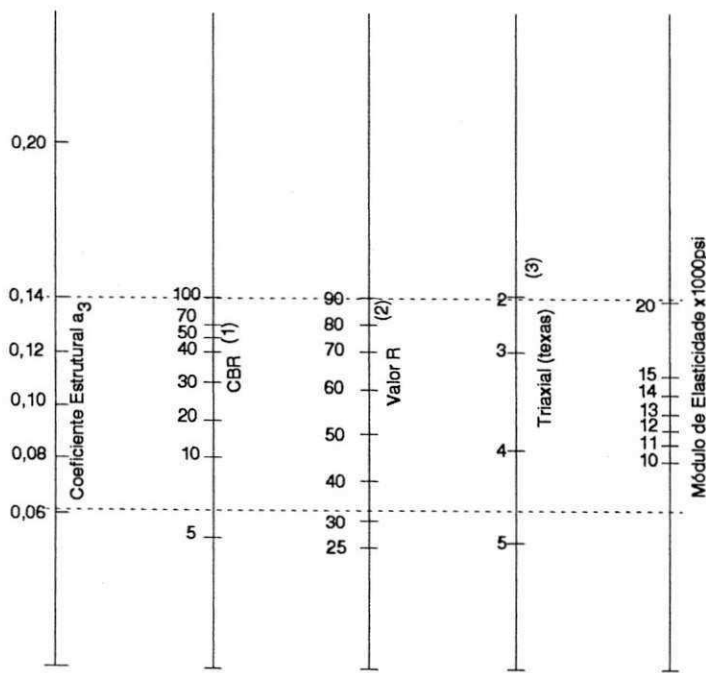
ANEXO A

ÁBACOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS



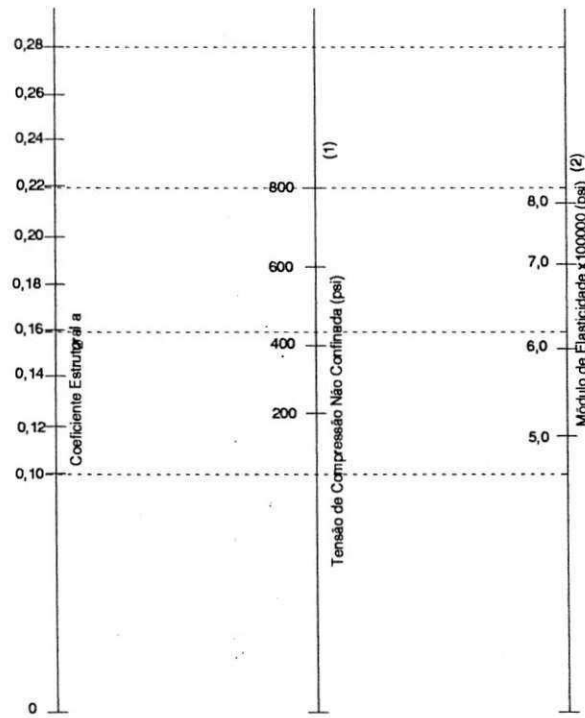
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 1- Estimativa do coeficiente estrutural da base granular (AASHO,1993)



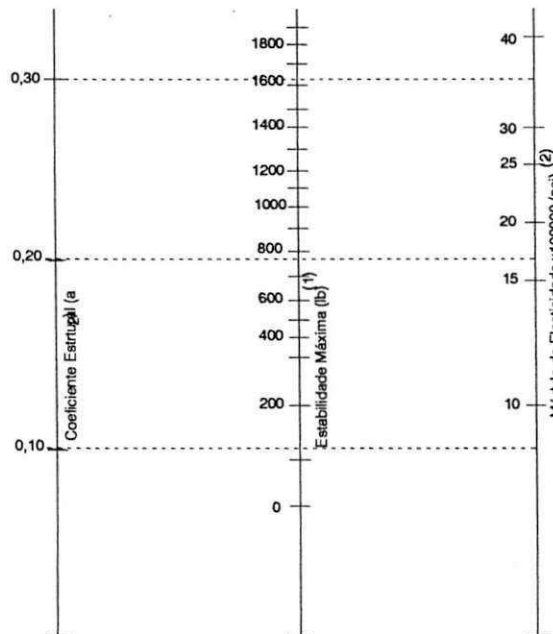
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 2- Estimativa do coeficiente estrutural da camada de sub-base (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 3 – Estimativa do coeficiente estrutural para base tratada com cimento (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 4 – Estimativa do coeficiente estrutural da camada de base tratada com betume (AASHO, 1993).

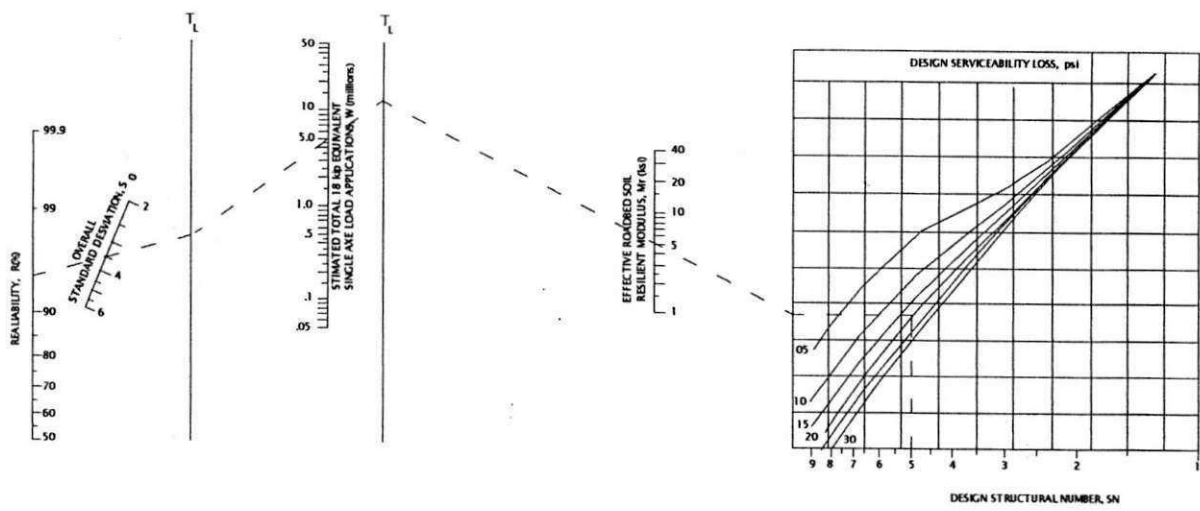


Figura 5 – Gráfico para determinação do número estrutural do pavimento (SN) (AASHO, 1993).

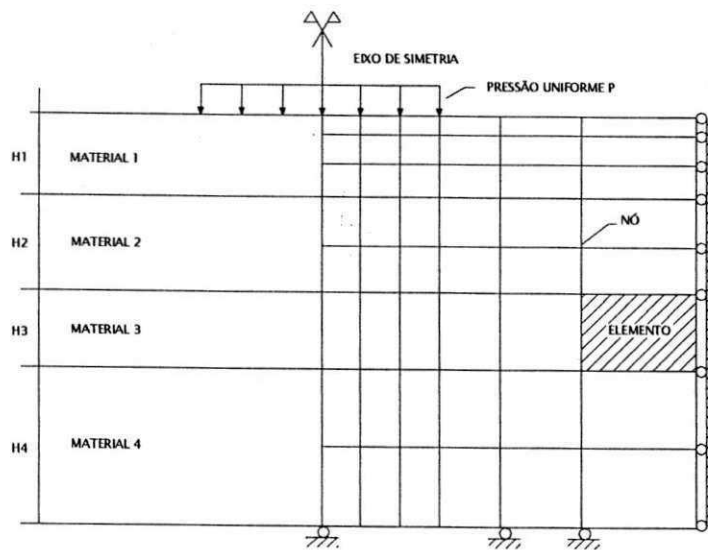


Figura 6 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (Medina, 1997).

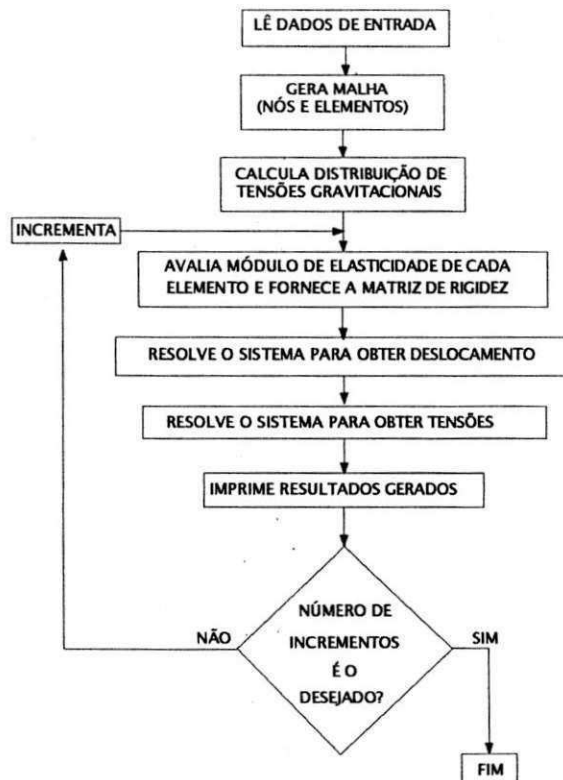


Figura 7 – Fluxograma do Programa FEPAVE (Medina, 1997).

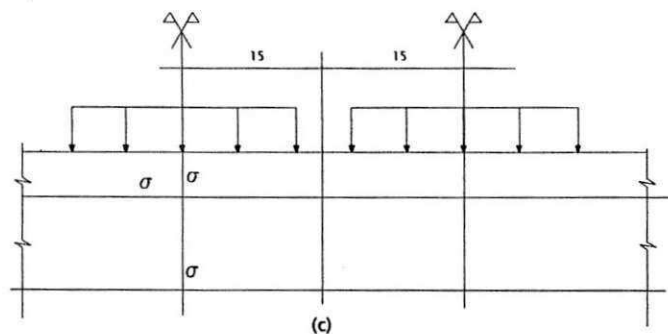
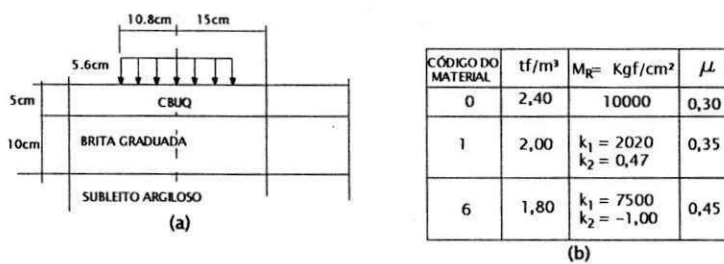


Figura 8 – Parâmetros de desempenho estrutural de um pavimento obtido pelo Programa FEPAVE: (a) Perfil do pavimento; (b) parâmetros físicos e de deformabilidade; (c) parâmetros obtidos (Medina, 1997).

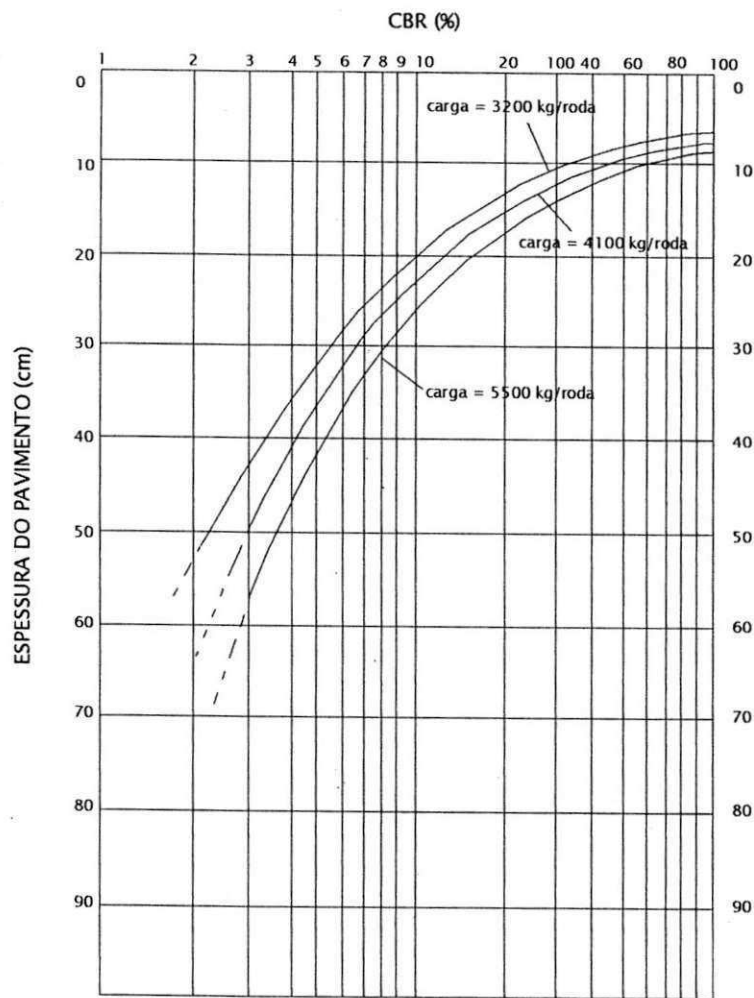


Figura 9 – Curvas para dimensionamento (SENÇO, 1997).

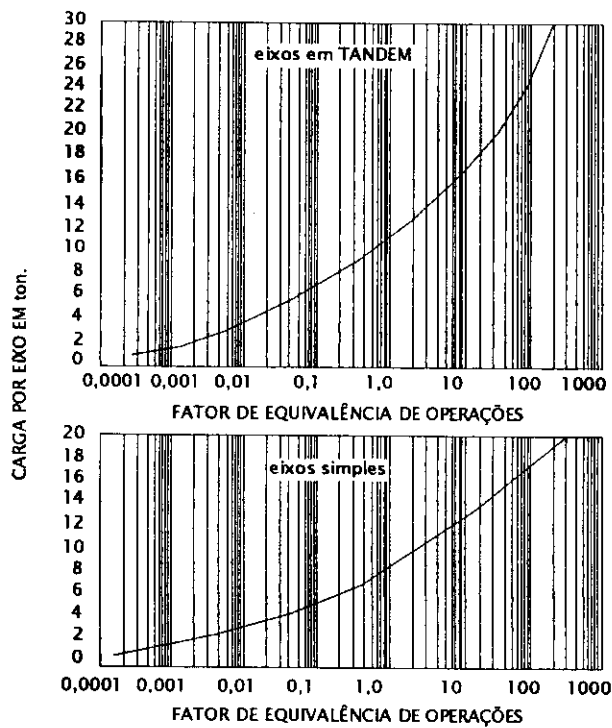


Figura 10 – fatores de equivalência de operações (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

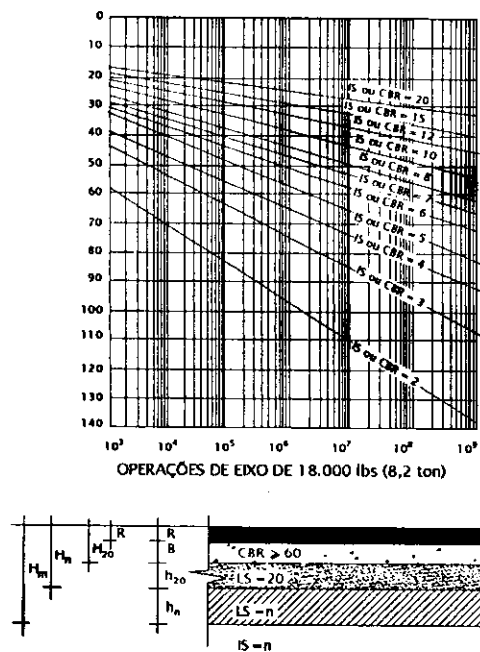


Figura 11 – Gráfico de operações de eixo de 8,2 t e simbologia (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

Figura 13 – Abaco para estimativa do valor do suporte do solo (SENÇO, 1997).

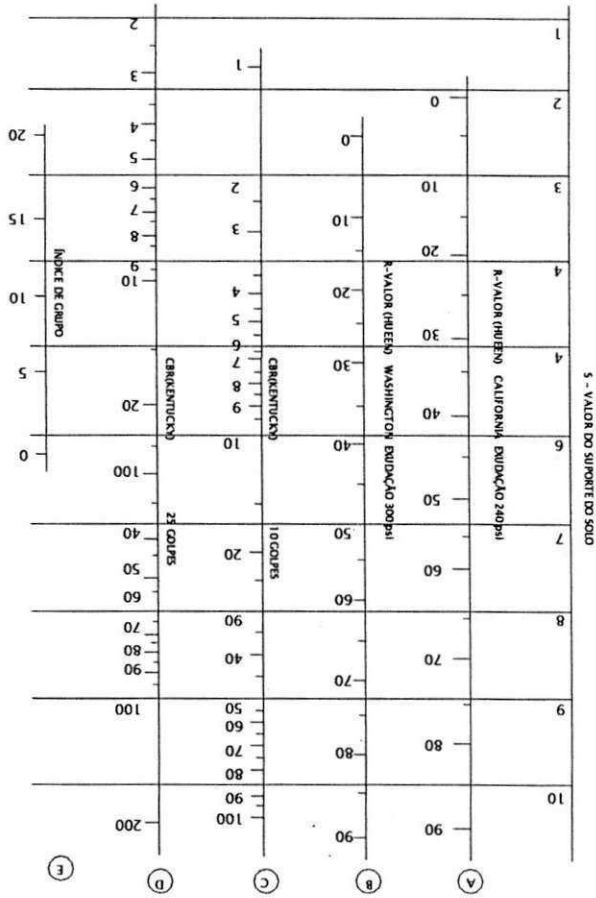
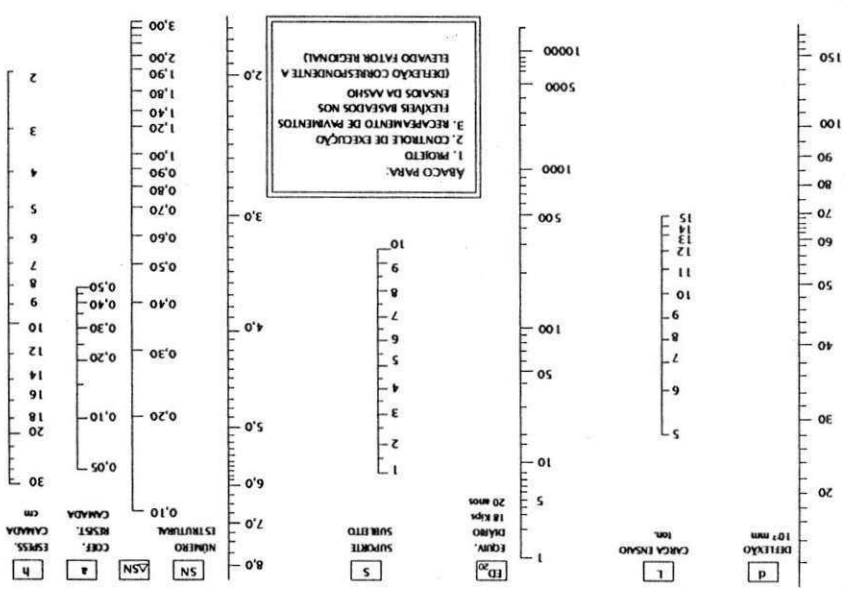


Figura 12 – Abacos para dimensionamento A.S.H.O (SENÇO, 1997).



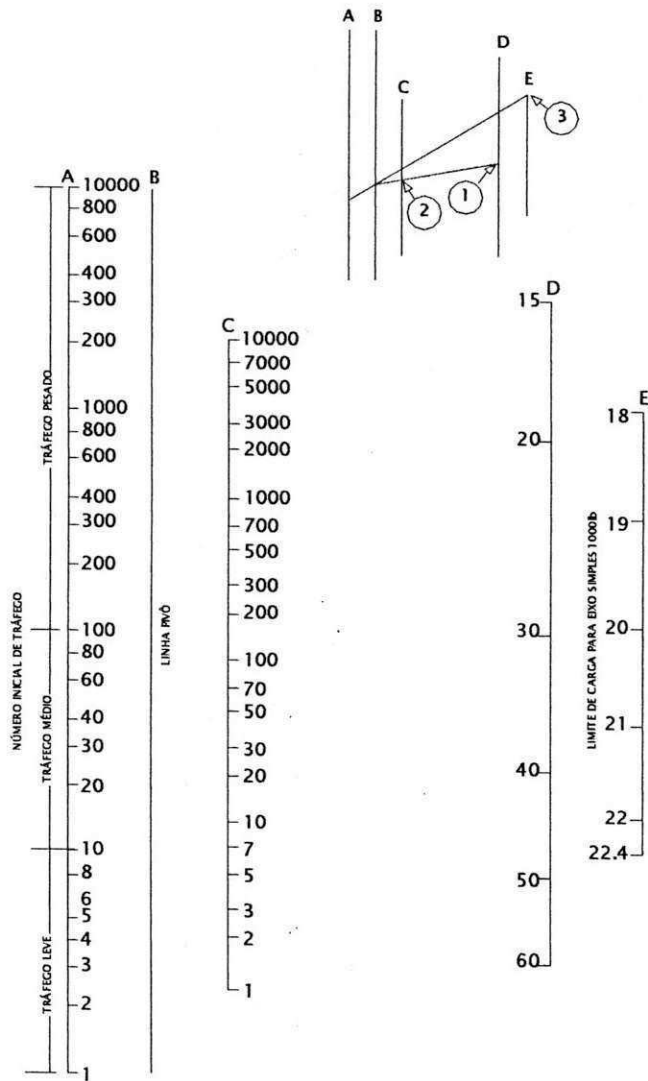


Figura 14 – Nomograma do carregamento do eixo equivalente a 18 kip (80 KN)

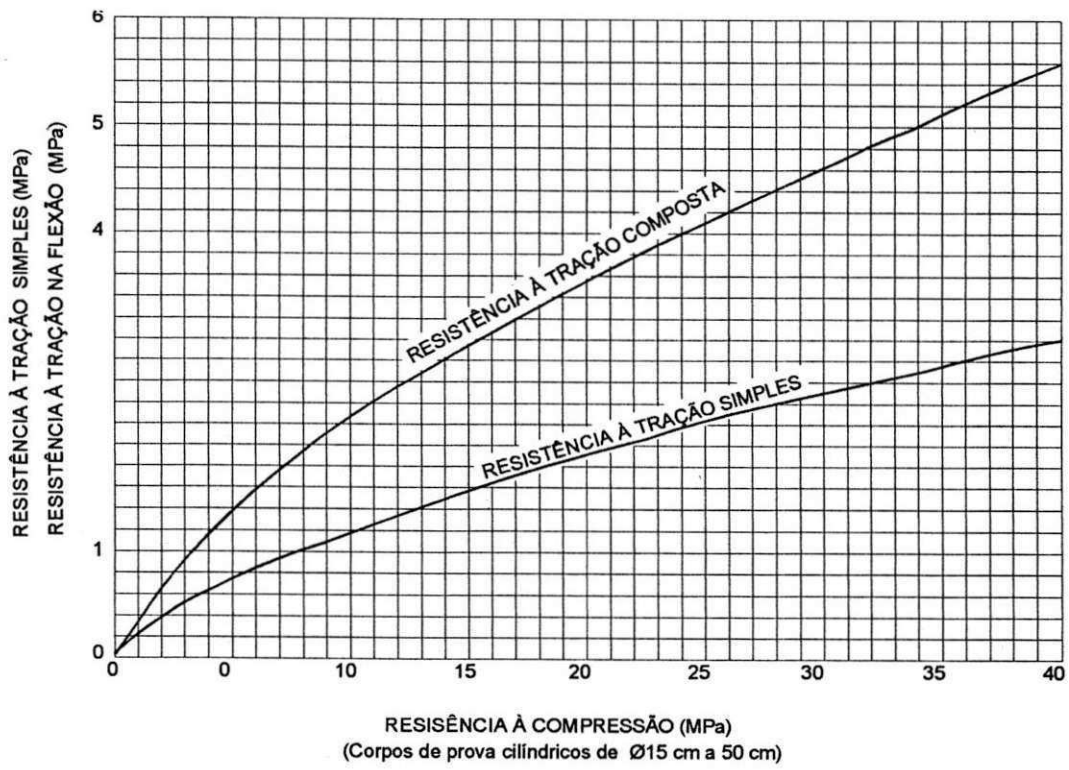


Figura 15 – Resistência à tração simples e na flexão versus resistência à compressão.

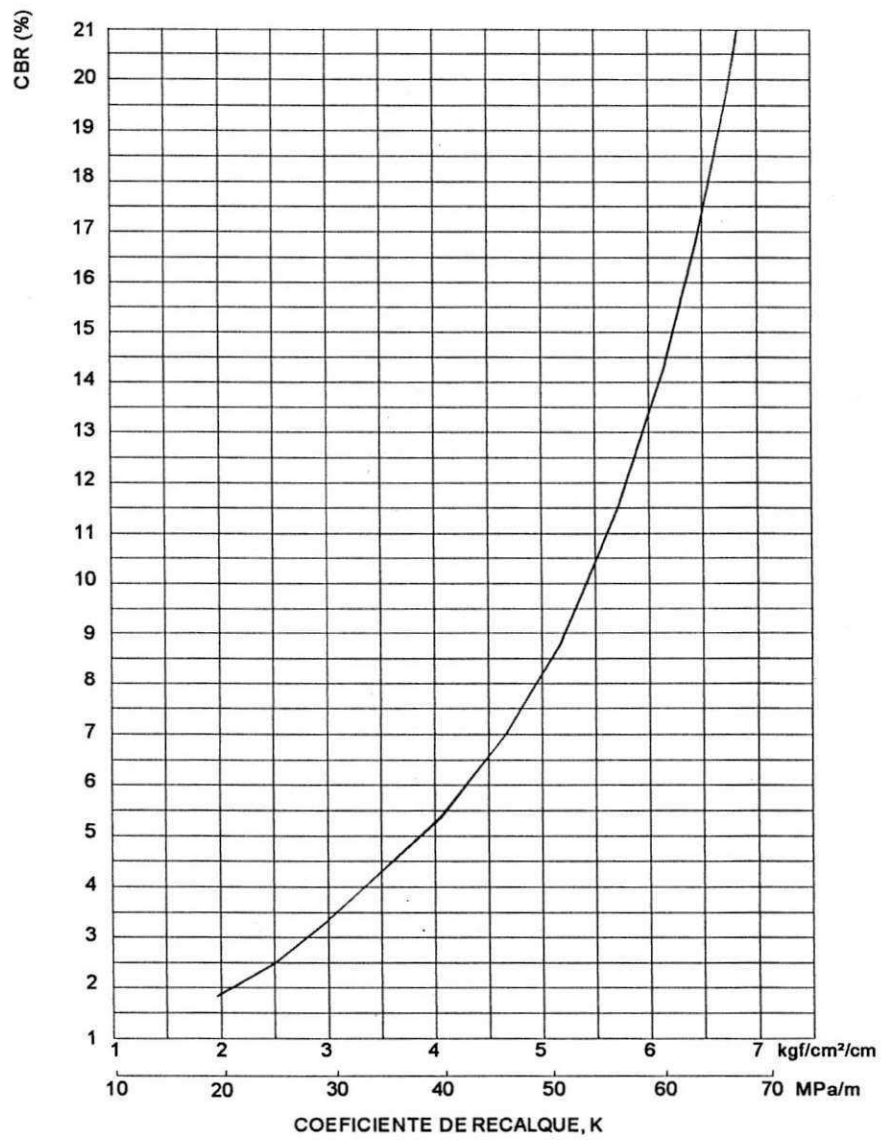


Figura 16 - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o Coeficiente de Recalque (K) do subleito (válida somente para camadas de espessura semi-infinita)

ANEXO B

PRANCHAS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

ANEXO C
RESULTADOS DOS ENSAIOS

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Serviço: Ensaios de Massa Específica Aparente Seca "In situ" nas Camadas Granulares da Pista de Pouso e Decolagem, Pista de Taxi e Pátios

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		Massa Específica Aparente Seca "In situ" kg/cm³	PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO				CLASSIFICAÇÃO		OBSERVAÇÕES
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO		Camada	Espessura	Classificação Visual do Solo	Umidade %	UCS	HRB			
11+18,50	Pátio 1	PI	14	2,24	0	cm	Base	22 cm	Solo brita	6,4			Acostamentos em TSD
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,11	22	cm	Sub-base	21 cm	Solo brita	8,1			
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,04	43	cm	Subleito	-	Top soil	5,8			
-	Pátio 2	PI	19	1,83	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	16,3			
-	Pátio 2	PI	19	1,96	35	cm	Base	15 cm	Solo brita	11,1			
-	Pátio 2	PI	19	1,57	55	cm	Subleito	-	Argila	14,0			
-	Pátio 3	PI	11	1,66	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	8,7			
-	Pátio 3	PI	11	-	20	cm	Base	20 cm	Macadame	-			
-	Pátio 3	PI	11	1,74	40	cm	Sub-base	20 cm	Top soil	8,1			
-	Acesso	PI	23	2,16	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,4			
-	Acesso	PI	23	1,96	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,9			
-	Pátio 1	PI	17	1,60	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	6,2			
-	Pátio 1	PI	17	1,45	20	cm	Base	20 cm	Solo brita	4,1			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,90	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,7			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,98	20	cm	Sub-base	20 cm	Solo brita	13,0			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	1,92	20	cm	Subleito	-	"Argila"	14,3			
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			Infiltração de água na base
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	1,72	20	cm	Subleito	-	"Argila"	13,6			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	1,95	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,1			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	-	20	cm	Subleito	-	Argila	-			Água abaixo do pavimento
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,98	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,70			
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	16,30			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	2,11	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,10			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	1,89	20	cm	Subleito	-	Top soil	8,10			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,90			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	1,97	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,40			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,50			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	7,50			

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Resistência a Compressão Simples

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES		ESPESSURA DA PLACA	
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO				
2 + 10	Patio 3	RPC	8	30,50	MPa	15,00	cm
6	Patio 3	RPC	9	30,30	MPa	15,00	cm
9	Patio 3	RPC	10	28,80	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	11	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	12	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 1	RPC	15	32,70	MPa	30,00	cm
-	Patio 1	RPC	17	29,10	MPa	30,00	cm

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PISTA DE POUSO			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-1	PI-1	PI-2	PI-2	PI-3	PI-3	PI-4	PI-4	
FURO	-	07	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100	100	100	
	1"	100	100	100	100	100	100	100	
	3/8"	82	94	71	95	81	98	75	100
	N ^o 4	72	91	64	93	72	92	66	99
	N ^o 10	68	90	59	90	67	91	61	95
	N ^o 40	42	67	37	69	43	67	39	61
	N ^o 200	10	44	11	45	10	42	12	25
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-	-	
LL	NL	25	NL	23	NL	25	NL	NL	
LP	NP	8	NP	9	NP	9	NP	NP	
EA	-	-	-	-	-	-	-	-	
IG	0	1	0	1	0	1	0	0	
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-2-4	
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.855	1.840	1.865	1.875	1.850	1.855	1.890
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	14,5	7,5	13,0	7,1	14,0	7,5	7,5
	CBR	28	2	19	4	35	3	28	17
	EXPANSÃO	0,01	0,284	0,03	0,214	0,03	0,220	0,02	0,261
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.975	1.870	1.895	1.900	1.960	1.875	1.895	1.895
	UMIDADE ÓTIMA	7,6	13,6	7,3	11,5	6,9	13,0	7,4	7,0
	CBR	46	6	35	8	45	6	41	25
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,021	0,03	0,21
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.165	1.910	2.120	1.910	2.200	1.900	2.170	1.950
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	11,5	7,2	11,2	6,8	11,5	7,2	6,5
	CBR	100	15	95	12	103	10	95	30
	EXPANSÃO	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,05
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PISTA DE POUSO				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-5	PI-5	PI-6	PI-6	PI-7	PI-7			
FURO	-	-	-	-	-	-			
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-			
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100			
	1"	100	100	100	100	100			
	3/8"	80	100	82	100	91	89		
	Nº 4	67	100	75	100	70	82		
	Nº 10	60	98	69	95	62	79		
	Nº 40	38	61	39	55	40	50		
	Nº 200	10	8	12	7	10	13		
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-			
LL	NL	NL	NL	NL	NL	NL			
LP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			
EA	-	-	-	-	-	-			
IG	0	0	0	0	0	0			
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4			
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.900	2.050	1.910	1.850	1.845	1.910		
	UMIDADE ÓTIMA	7,8	7,3	7,5	7,0	8,0	6,3		
	CBR	35	27	35	13	29	15		
	EXPANSÃO	0,05	0,271	0,0	0,150	0,02	0,130		
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.955	2.050	2.010	1.900	1.950	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	6,9	7,5	6,8	7,6	6,1		
	CBR	45	35	53	20	41	25		
	EXPANSÃO	0,02	0,25	0,02	0,13	0,02	0,10		
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.190	2.060	2.185	1.910	2.200	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,5	6,9	6,8	7,5	6,0		
	CBR	98	42	101	35	98	32		
	EXPANSÃO	0,05	0,20	0,03	0,10	0,04	0,10		
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL			

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: ACESSO PATIOS 1 e 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: EIXO E ACOST.			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-23	PI-23	TR-16	TR-16	TR-21	TR-21	TR-23	TR-23	
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100				
	3/8"	75	100	80	100				
	N ^o 4	62	100	69	100	SOLO BRITA	TOP SOIL	SOLO BRITA	TOP SOIL
	N ^o 10	60	95	58	98				
	N ^o 40	45	90	41	94				
	N ^o 200	10	15	8	16				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	NL					
LP	NP	NP	NP	NP					
EA	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.835	1.915	1.860	1.935				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,9	7,5	7,2				
	CBR	28	11	32	16				
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,0	0,02				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.945	1.915	1.960	1.960				
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,5	7,2	7,2				
	CBR	38	21	40	28				
	EXPANSÃO	0,01	0,02	0,01	0,01				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.170	1.935	2.125	1.985				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,3	7,0	7,0				
	CBR	92	31	98	40				
	EXPANSÃO	0,03	0,02	0,01	0,01				
Observações:	BASE	SL	BASE	SL					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 1			SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:			
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:			
REGISTRO Nº	PI-14	PI-14	PI-14	PI-17	PI-17	TR-13	TR-13	TR-14	TR-14	
FURO	-	-	04	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-22	22-33	33-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100	100				
	3/8"	85	91	85	98	80				
	Nº 4	73	85	82	96	73				
	Nº 10	64	65	79	90	65				
	Nº 40	39	45	53	61	44				
	Nº 200	8	12	16	24	8				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	19	NL					
LP	NP	NP	NP	4	NP					
EA	-	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-2-4	A-2-4	A-1-B					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.870	1.865	2.060	1.890	1.895				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,5	8,1	11,5	7,3				
	CBR	21	25	31	20	32				
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,076	0,215	0,0				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.950	2.100	1.995	1.905	1.990				
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	7,5	11,1	7,5				
	CBR	39	52	42	30	55				
	EXPANSÃO	0,0	0,0	0,08	0,20	0,02				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.995	2.195	2.000	1.970	2.150				
	UMIDADE ÓTIMA	7,2	6,8	7,1	10,0	7,1				
	CBR	94	95	55	40	100				
	EXPANSÃO	0,03	0,01	0,05	0,20	0,02				
Observações:	BASE	BASE	SL	SL	BASE					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO		TRECHO: PÁTIO 1		SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO		LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO		CALCULISTA:			
OPERADOR:		VISTO:		LABORATÓRIO:			
REGISTRO N ^o	TR-18	TR-18					
FURO	-	-					
PROFUNDIDADE	0-20	20-					
GRANULOMETRIA	2"	100	100				
	1"	100	100				
	3/8"	83	100				
	N ^o 4	75	99				
	N ^o 10	67	95				
	N ^o 40	41	66				
	N ^o 200	10	18				
FAIXA ASSHO	-	-					
LL	NL	NL					
LP	NP	NP					
EA	-	-					
IG	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.905	1.910				
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	7,1				
	CBR	31	16				
	EXPANSÃO	0,01	0,310				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.010	1.915				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,0				
	CBR	58	22				
	EXPANSÃO	0,0	0,30				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.180	1.950				
	UMIDADE ÓTIMA	6,9	6,8				
	CBR	106	35				
	EXPANSÃO	0,01	0,20				
Observações:	BASE	SL					

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-19	PI-19	PI-19	PI-20	PI-20	TR-20	TR-20	TR-22	TR-22
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROFUNDIDADE	0-22	22-43	43-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	-	-	-	-	-	-	-	-
	1"	100	100	100	100	100	100		100
	3/8"	70	81	95	80	74	95		95
	Nº 4	62	70	90	65	60	92		89
	Nº 10	58	60	85	60	58	89		85
	Nº 40	35	41	71	35	42	75		79
	Nº 200	10	12	46	10	8	43		47
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	SOLO BRITA	-	SOLO BRITA	-
LL	NL	NL	22	NL	NL		20		25
LP	NP	NP	7	NP	NP		6		7
EA	-	-	-	-	-		-		-
IG	0	0	1	0	0		-		-
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-4	A-1-B	A-1-B		A-4		A-4
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.850	1.768	1.835	1.890		1.685	1.810
	UMIDADE ÓTIMA	7,4	7,0	15,6	7,3	7,7		16,0	15,3
	CBR	30	35	3	21	27		4	4
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,410	0,03	0,04		0,500	0,380
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.995	1.810	1.980	1.970		1.710	1.880
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	15,0	7,3	7,4		15,0	14,8
	CBR	51	41	6	39	44		8	6
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,40	0,02	0,03		0,50	0,40
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.210	2.195	1.900	1.995	2.150		1.850	1.975
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,8	14,8	7,0	7,2		13,5	14,0
	CBR	102	94	12	90	98		13	14
	EXPANSÃO	0,02	0,01	0,38	0,03	0,04		0,05	0,40
Observações:	BASE	BASE	SL	BASE	BASE		SL		SL

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PÁTIO 3				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: EIXO/ LATERAIS				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-11	PI-11	TR-8	TR-9	TR-10	TR-11	TR-12		
FURO	01	01	-	-	-	-	-		
PROFUNDIDADE	0-75	75-100	-	-	-	-	-		
GRANULOMETRIA	2"	-	-	-	-	-	-		
	1"	100	100	100	100	100	100		
	3/8"	99	100	98	100	99	97	100	
	N ^o 4	98	100	97	96	97	96	99	
	N ^o 10	96	99	94	95	94	92	98	
	N ^o 40	63	60	65	64	66	63	61	
	N ^o 200	26	11	12	20	15	25	12	
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-		
LL	21	NL	NL	NL	NL	NL	NL		
LP	5	NP	NP	NP	NP	NP	NP		
EA	-	-	-	-	-	-	-		
IG	0	0	-	-	-	-	-		
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4		
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.905	1.970	1.910	1.890	1.950	1.910	
	UMIDADE ÓTIMA	9.8	7.2	7.5	7.3	8.9	9.0	7.5	
	CBR	23	19	18	21	16	20.0	25	
	EXPANSÃO	0.207	0.193	0.210	0.310	0.240	0.223	0.220	
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.945	1.990	1.935	1.925	1.965	1.925	
	UMIDADE ÓTIMA	8,5	7,0	7,5	7,0	7,5	8,0	7,5	
	CBR	29	30	21	29	26	31	32	
	EXPANSÃO	0,28	0,20	0,30	0,28	0,20	0,21	0,18	
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.990	1.980	1.980	1.955	1.935	1.975	1.975	
	UMIDADE ÓTIMA	8,3	6,5	7,0	6,9	7,2	8,1	7,3	
	CBR	35	40	29	35	34	44	52	
	EXPANSÃO	0,22	0,20	0,20	0,25	0,25	0,28	0,20	
Observações:	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL		
Observações: PI-11 (0-75) – SOLO DE REGULARIZAÇÃO (Aterro), PI-11 (75-100) – SUB-BASE									

POÇO DE INSPEÇÃO - FURO: PI-01

PERFIL DA SONDAGEM

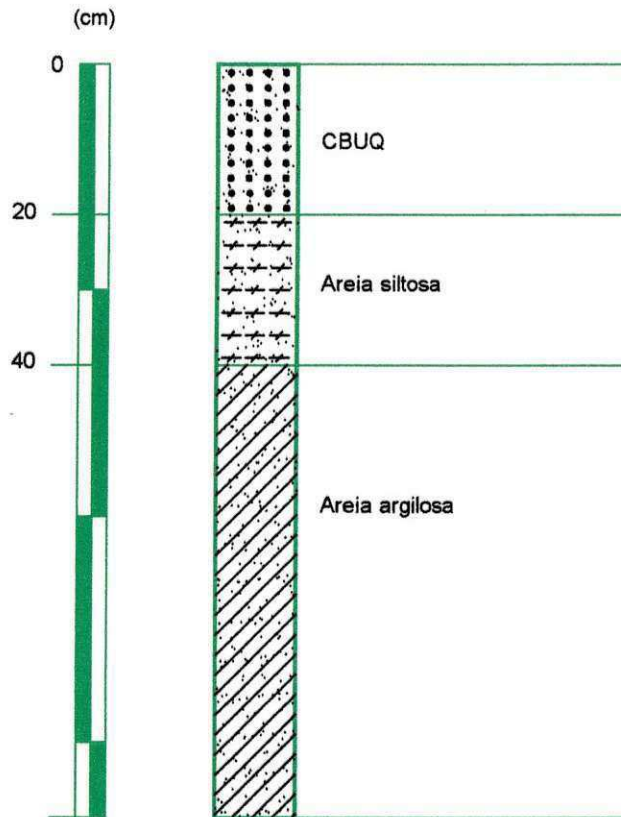
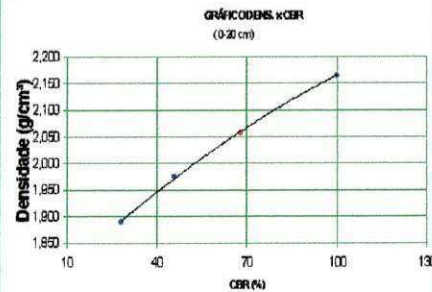
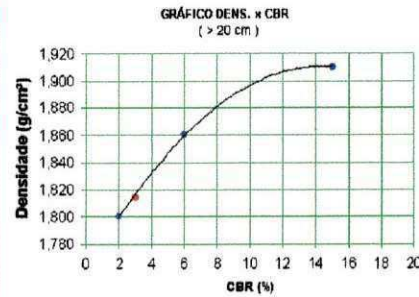


GRÁFICO DENS. x CBR



DATA DA SONDAGEM:

COTAS: TOPO DO FURO: 0,00cm

PI 01 - LENÇOL FREÁTICO:

OBS:

DENSIDADE E UMIDADE NATURAL

PROFUNDIDADE	D. NAT.(g/cm³)	H. NAT.(%)

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

HORIZONTES (cm)	GRANULOMETRIA - % PASSANDO						LL	IP	CLASSIFICAÇÃO		COMPAC. (55G)		12 GOLPES			26 GOLPES			55 GOLPES			CBR FINAL	
	1"	3/8"	N.º 4	N.º 10	N.º 40	N.º 200			HRB(IG)	SUCS	D MAX (g/cm³)	HOT (%)	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	95% DMAX (g/cm³)	CBR (%)
	0-20	100	82	72	68	42			10	NL	-	A-1-B	SM	2,165	7,0	1,890	28	0,01	1,975	46	0,02	2,165	100
> 20	100	94	91	90	67	44	25	17	A-4	SM	1,910	11,5	1,800	2	0,284	1,860	6	0,03	1,910	15	0,03	1,815	3,0

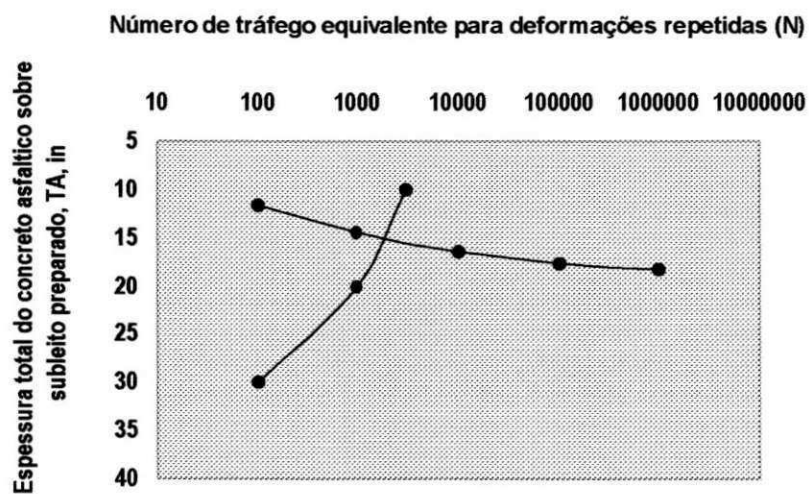


Figura 01 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

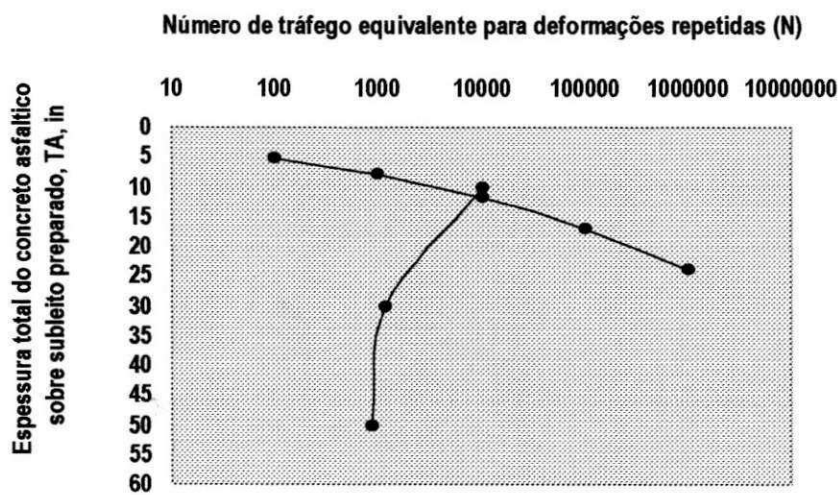


Figura 02 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

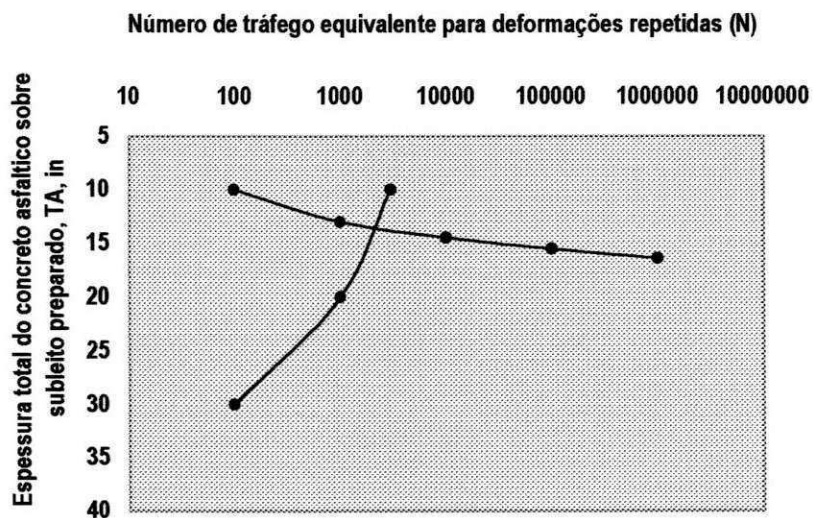


Figura 03 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

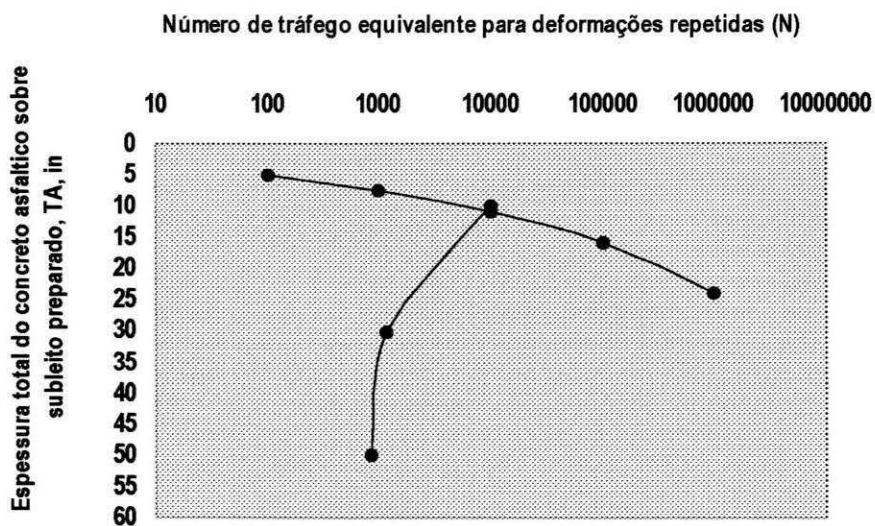


Figura 04 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

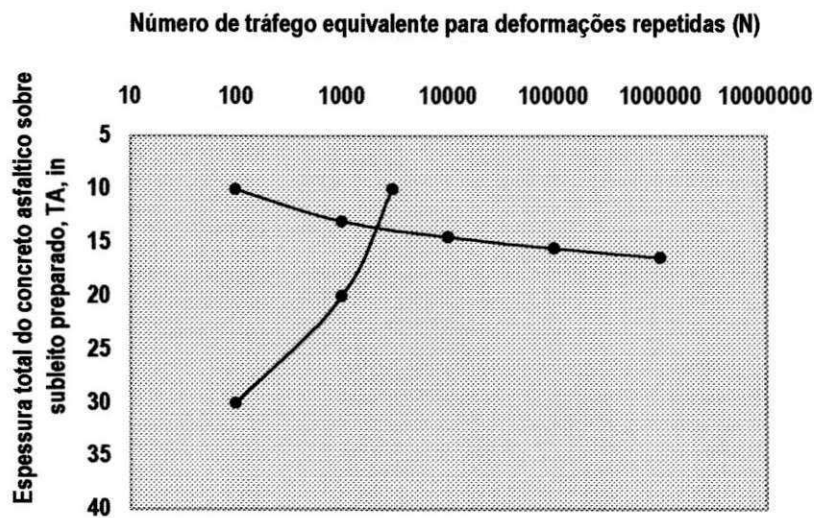


Figura 05 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

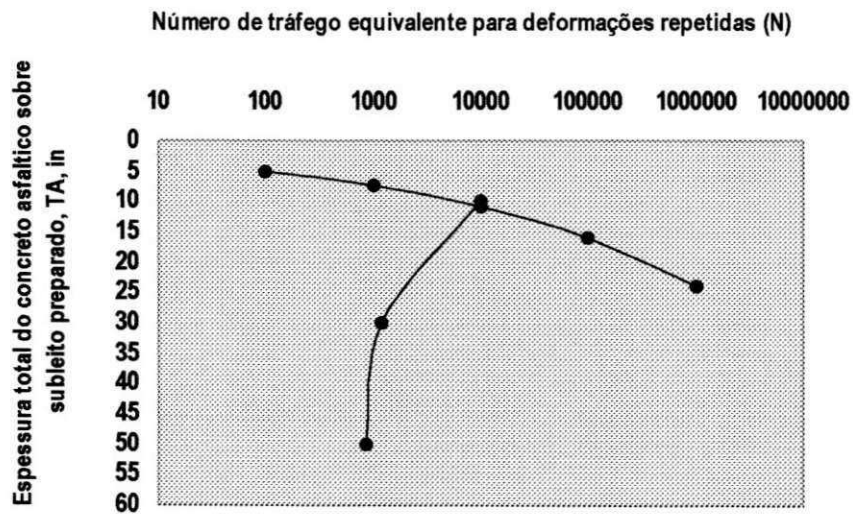


Figura 06 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_i

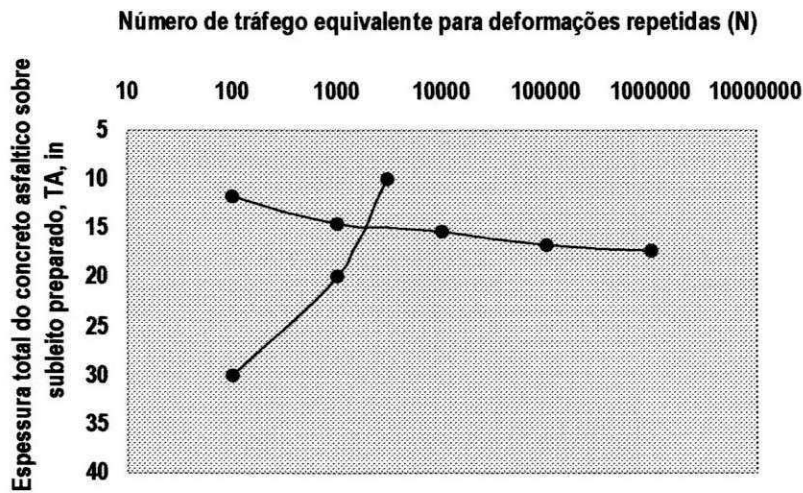


Figura 07 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

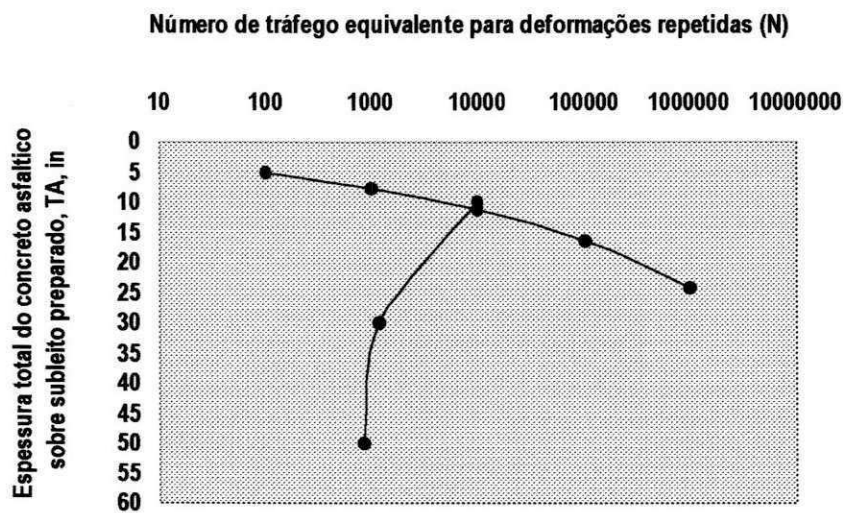


Figura 08 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

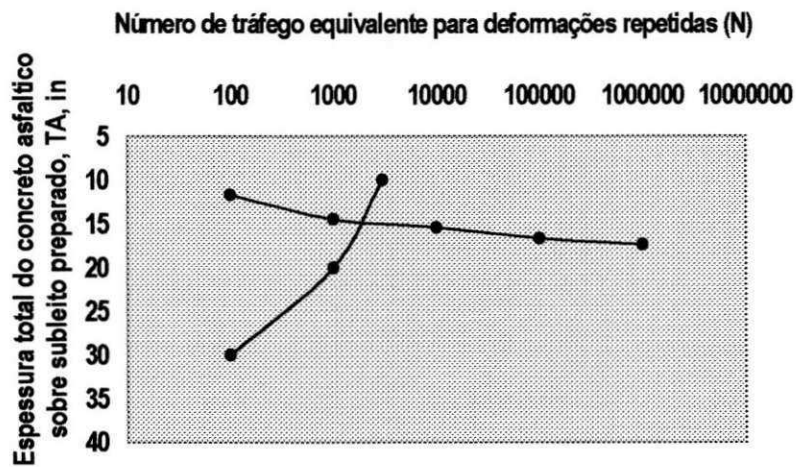


Figura 09 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

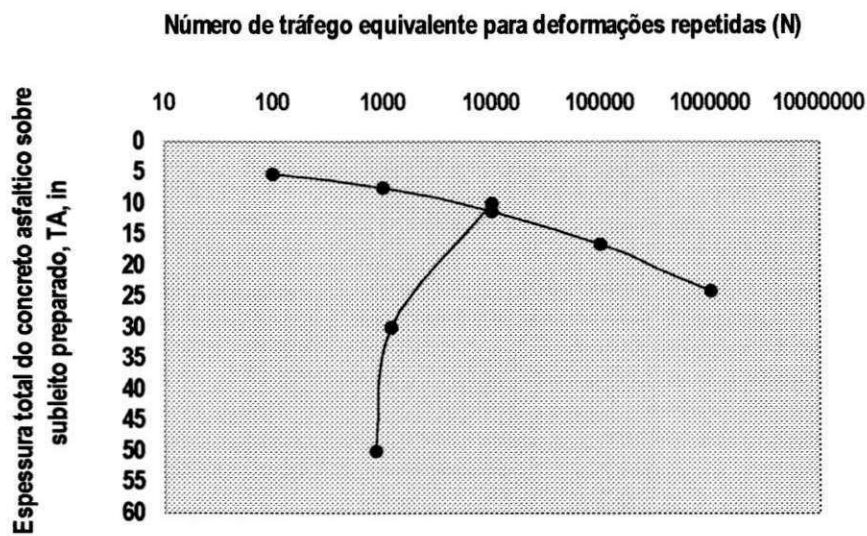


Figura 10 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

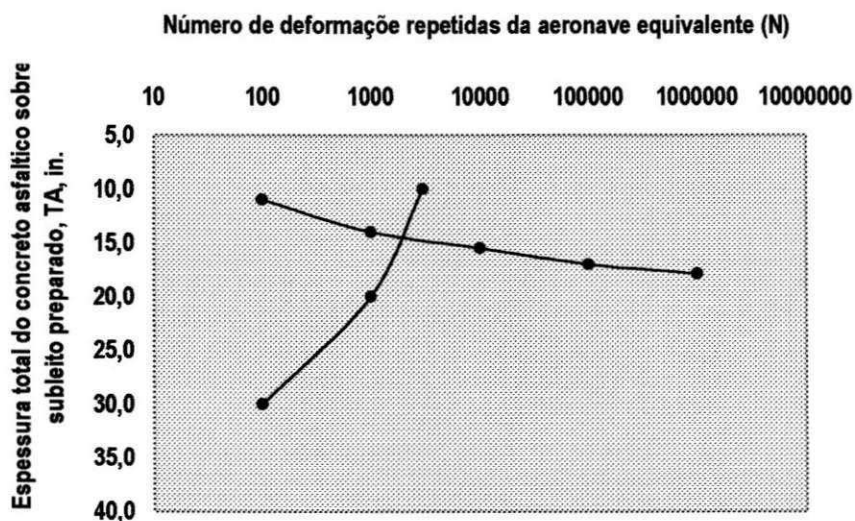


Figura 11 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

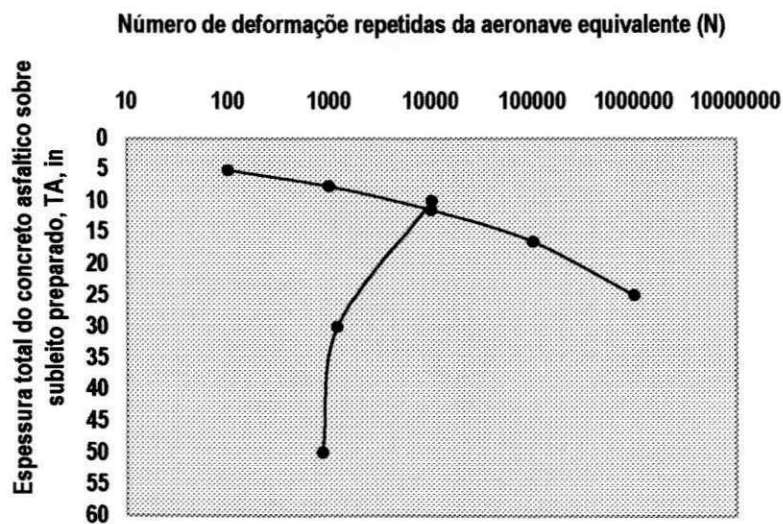


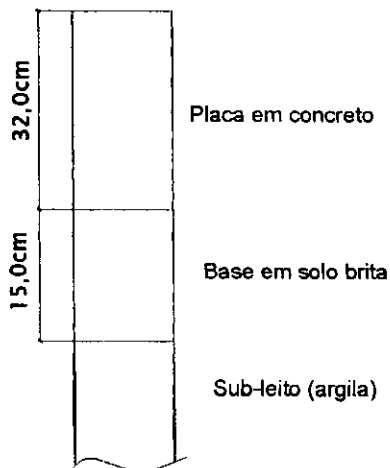
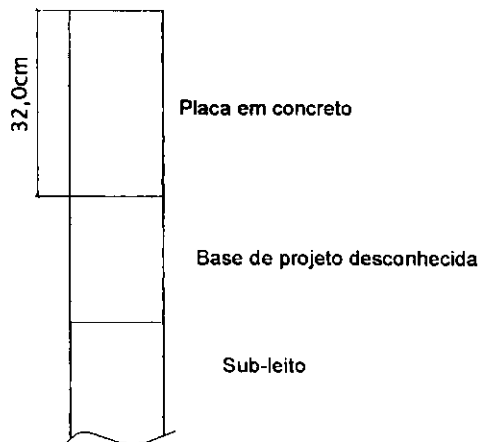
Figura 12 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

3.5.2.4 - Área IV – Pátios 1 e 2 (Ampliação)

Estrutura existente

Novo dimensionamento

Pátio 1 e Pátio 2 (Ampliação)



$CBR_{\text{subleito}} = 18,6\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 15,5\%$ (ATECEL) – Pátio 1

$CBR_{\text{subleito}} = 19,5\%$ (ATECEL) – Pátio 2

Coefficiente de recalque (K) INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque (K) ATECEL = 228 pci
(em função do CBR de 15,5%)

Tensão de tração na flexão INFRAERO = 738 psi (5 MPa)

Tensão de tração na flexão da ATECEL = 681 psi
(4,7 MPa, em função do RCP = 30,9 (MPa))

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave = B 727-200 -Eixo duplo

Espessuras estimadas

Pátio 1

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,8$ cm

Pátio 2

$T_{(cbr1)} = 32,5$ cm

$T_{(cbr2)} = 36,6$ cm

As estruturas dos pátios, trecho ampliado, foram dimensionadas em 1980 a partir do Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6C). A espessura da placa estimada na época foi de 32,0 cm.

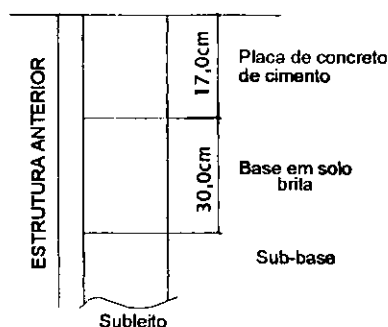
Ao dimensionarmos pelo Método da FAA (Advisory Circular 150/5320-6D), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura foi de 32,5 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 36,6 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras da placa estimadas pela Circular da FAA, não sofreram variações significativas. Estes resultados indicam que não houve modificações significativas nas Circulares Advisory Circular 150/5320-6C e Advisory Circular 150/5320-6D, em se tratando de cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos (Tabela 3.1).

3.5.3 - Dimensionamento a partir do método do Asphalt Institute

3.5.3.1 - Área I - Pista de Pouso e Decolagem (Recape)

Estrutura existente (Antes do Recape)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 11\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Espessura da placa = 17,0 cm

Coefficiente de recalque INFRAERO = 340 pci

Coefficiente de recalque ATECEL = 214 pci
(em função do CBR, 12,6%)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave b 727 200 - Eixo duplo

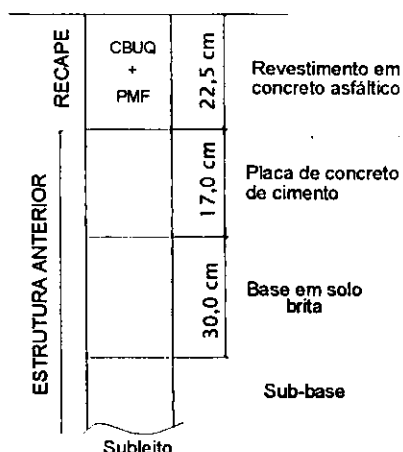
Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C

Espessuras de recape estimadas

$T_{(cbr1)} = 14,0$ cm

$T_{(cbr2)} = 14,0$ cm

Estrutura existente (Depois do recape)



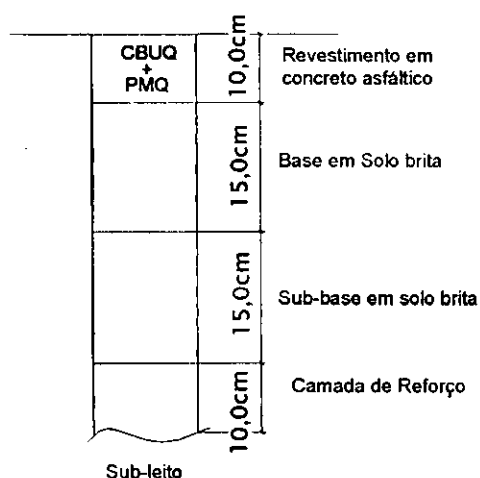
Ao dimensionarmos pelo Método do AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para o recape foi de 14,0 cm para dados de projeto da INFRAERO e 14,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL. Este Manual sugere para o cálculo da espessura de recape de concreto asfáltico, T, considerando a estrutura futura como sendo, uma estrutura flexível sobre uma rígida. A espessura de recape, a partir deste método, é estimada em função do módulo de resiliência, temperatura média anual, tráfego, coeficiente recalque, tipo de aeronaves, etc.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a espessura de recape estimada pela Manual do AI, sofreu uma redução de 8,50 cm, que faz indicar, que a estrutura anterior está superdimensionada. Estes resultados, corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado (Tabela 3.1).

Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semidestrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção.

3.5.3.2 - Área II - Pista de Pouso e Decolagem (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)



Novo dimensionamento

$CBR_{\text{subleito}} = 14\%$ (INFRAERO)

$CBR_{\text{subleito}} = 12,6\%$ (ATECEL)

Tráfego = 3300 (R_1)

Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)

Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo

Temperatura média anual 26°C

Espessuras da Estrutura

$T_{A(\text{cbr1})} = 35,6$ cm

$T_{A(\text{cbr2})} = 38,1$ cm

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e de 38,1 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 14,9 cm respectivamente. Como não foram observadas perdas significativas de serventia e/ou desgastes acentuados da superfície do pavimento (trecho ampliado), os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

3.5.3.3 - Área I - Pista de táxi – acessos (Ampliação)

Estrutura existente (Ampliação)

Novo dimensionamento

CBUQ + PMQ	10,0cm	Revestimento em concreto asfáltico	CBR _{subleito} = 14% (INFRAERO) CBR _{subleito} = 12,3% (ATECEL)
	15,0cm	Base em Solo brita	Tráfego = 3300 (R ₁) Peso máximo de decolagem = 170000 lb (PMD)
	15,0cm	Sub-base em solo brita	Aeronave B 727- 200 - Eixo duplo Temperatura média anual (Máximas e Mínimas) 26°C
	10,0cm	Camada de Reforço	Espessuras da Estrutura T _{A(cbr1)} = 35,6 cm T _{A(cbr2)} = 38,0 cm
Sub-leito			

Ao dimensionarmos pelo Método d o AI (Asphalt Institute, MS 11), a partir, das informações contidas no relatório (INFRAERO, 1980), a espessura estimada para a estrutura do pavimento foi de 35,6 cm para dados de projeto da INFRAERO e 38,0 cm para os dados obtidos no inventário da ATECEL.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que as espessuras estimadas, para pista de pouso e decolagem com dados da INFRAERO e da ATECEL, a partir do Manual do AI, sofreram reduções de 17,4 cm e 15,0 cm respectivamente. Os resultados obtidos para espessuras da estrutura, a partir do AI, indicam que a estrutura corrente deste pavimento deveria ser menor (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Dados sobre o dimensionamento das estruturas dos pavimentos – Relatório da INFRAERO (1980) e Objeto da Pesquisa

PAVIMENTO	DIMENSIONAMENTO									
	RECAPE					NOVO				
	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)	FAA(PROJETO)	FAA (INFRAERO)	FAA (ATECEL)	A.I (INFRAERO)	A.I (ATECEL)
PISTA DE POUSO E DECOLAGEM	22,50 cm	35,50 cm	46,80 cm	14,00 cm	14,00 cm	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,10 cm
PISTA DE TÁXI	—	—	—	—	—	53,00 cm	48,26 cm	53,00 cm	35,80 cm	38,00 cm
PÁTIOS 1	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,80 cm	—	—
PÁTIO 2	—	—	—	—	—	32,00 cm	32,50 cm	36,60 cm	—	—

FAA(PROJETO) = Espessura estimada no projeto original da INFRAERO (Relat. Vol. II, 1980);

FAA (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

FAA (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento da FAA (AC-150/5320-6D) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

AI (INFRAERO) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados contidos no relatório da INFRAERO(Relat. Vol. II, 1980)

AI (ATECEL) = Espessura estimada através do método de dimensionamento do AI (MS 11) com os dados coletados pela ATECEL(2002)

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 – CONCLUSÕES

O método de dimensionamento, contido na Advisory Circular 150/5320-6D da FAA, consiste essencialmente em considerar fatores, tais como: investigação do solo; considerações sobre a aeronave; volume de tráfego, etc. e dimensionar a estrutura dos pavimentos baseada em nomogramas empíricos desenvolvidos ao longo dos anos pela a FAA. Pode-se inferir que o método da FAA é empírico.

Apesar do método do Instituto do Asfalto ser baseado na hipótese de um pavimento do tipo sistema elástico de multicamadas, as tensões e deformações não são parâmetros de entrada no processo de dimensionamento. Segundo o Instituto, ao utilizá-lo, as deformações e tensões são indiretamente computadas. Entretanto, este mesmo método sugere equações empíricas para estimativas do Módulo de Resiliência. Com isso, todo esforço teórico para torná-lo racional foi comprometido, o que indica que o método do Asphalt Institute é semi-empírico.

Os dados coletados pela ATECEL em 2002, quando comparados com os obtidos a partir do Relatório da INFRAERO de 1980, apresentaram algumas incoerências. Boa parte dessas incoerências se deve ao fato da incapacidade de realização de ensaios destrutivos em pistas e pátios do aeroporto. Constata-se dessa forma, que a guarda da memória das construções, das avaliações, e das restaurações é de grande importância para um efetivo Sistema de Gerência de Aeroportos como preconiza HASS E HUDSON (1994).

Ao avaliar a condição de superfície da pista de pouso e decolagem, não foram observadas trincas de reflexão. Quando o autor do projeto de recape (1980) sugeriu a utilização de um "binder" de 15,0 cm de espessura sobre as placas de concreto, conseguiu evitar o surgimento de trincas de reflexão sobre a superfície do pavimento.

Os resultados obtidos pelo Manual do AI corroboram com os resultados obtidos a partir da avaliação sobre a condição da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem que não sofreu colapso prematuro ou desgaste acentuado após 23 anos de serviço. Esta constatação é confirmada pelas informações obtidas na avaliação semi-destrutiva da estrutura dos pavimentos a partir de sondagens com rotativas, com trados e aberturas de poços de inspeção, e pelas espessuras estimadas com dados da INFRAERO e da ATECEL.

O autor do projeto (1980) objetivando dispor de adequadas margens de performances resolveu selecionar como aeronave tipo do projeto estrutural o Boeing 727-200, quando a demanda para o horizonte de 1990 seria atendida pelo Boeing 737. Com isso, ele conseguiu evitar que houvesse um desgaste acentuado nas estruturas dos pavimentos por um período maior do que o previsto em projeto. A Tabela 4.1 apresenta a relação das aeronaves

que operam atualmente no aeroporto Castro Pinto e suas características quanto ao peso máximo de decolagem (PMD).

Tabela 4.1 – Relação das aeronaves e suas características quanto ao PMD, que operam no aeroporto Castro Pinto (INFRAERO, 2004).

AERONAVE	PESO MÁXIMO		PESOS DE REFERÊNCIA	
	COMBUSTÍVEL (kg)	CARGA (kg)	MÍNIMO (kg)	MÁXIMO (kg)
A310-200	42.63	31.884	91.327	141.558
A310-300	47.344	36.286	125.514	164.309
A318	19.143	14.100		
A319	18.849	16.836	21.053	88.421
A320-200	18.511	20.672	51.591	79.107
A321-100	18.723	23.000	22.068	97.099
ATR-42-500	4.500	5.620		
B737-200	14.520	15.970	27.215	52.616
B737-300	19.150	15.400	31.751	58.967
B737-400	18.600	19.900	36.287	68.039
B737-500	19.150	15.200	31.751	58.967
B737-700	20.888		37.648	69.626
B737-800	20.888		41.413	78.471
ERJ135		4.770		
ERJ145	4.210	4.580		
ERJ170		9.000		
FOKKER-100	10.294	12.365		

Não houve modificações significativas nas Circulares 150/5320-6C e 150/5320-6D para o cálculo das espessuras de estruturas de pavimentos rígidos. Entretanto, a espessura de recape de CBUQ, dimensionada sobre pavimentos rígidos, apontam para um superdimensionamento.

4.2 – SUGESTÕES

Após análise sobre o que foi relatado nesta dissertação, considera-se conveniente sugerir alguns estudos relacionados a pavimentos de aeroportos:

- estudos sobre a sistematização da coleta de dados ou de informações;
- estudos sobre métodos ou técnicas de manutenção;
- estudos sobre avaliação das condições de superfície e desempenho;
- estudos sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos aplicados às necessidades regionais e locais;
- estudos sobre custos de manutenção, restaurações e construções de pavimentos de aeroportos a partir de resultados obtidos pelo Método da FAA e pelo Método do Asphalt Institute.

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS

ABNT– NBR 8197. Associação Brasileira de Normas Técnicas.– “Instrumentos de Medição de Força, de Uso Geral” – Aferição, 3P, 1984.

ABNT– NBR 7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Análise Granulométrica” – Aferição, 13P, 1984.

ABNT– NBR 12891. Associação Brasileira de Normas Técnicas – “Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall” – Aferição, 12P, 1984.

ASPHALT INSTITUTE –Thickness Design – Asphalt Pavements for Air Carrier Airports.3. ed. College Park, Maryland, 1987.(Asphalt Institute. Manual Series, 11).

BURMISTER, D. M.- "The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems", Journal of Applied Physics No. 16, USA, 1945.

BURMISTER, D. M. - "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways", Proceedings, Highway Research Board, Volume 23, Washington, D.C., USA, 1943.

CARDOSO, S.H. – Gerência de Pavimentos em Vias Urbanas In: Reunião Anual de Pavimentação, 5; Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, Natal, 1994.

COST 333 - "Development of New Bituminous Pavement Design Method", Final Report of the Action, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities,Luxembourg, 1999.

DIRENG – 01-87 –Método de Ensaio - Índice de Suporte Califórnia de Solos Utilizando Amostras não Trabalhadas, 1987.

DNER – PRO 011/79 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B. Rio de Janeiro, 1979.

DNER – ES 128/83 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-rígido para Gerência de Pavimentos em Nível de Rede – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

DNER – ME 010/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Cimentos Asfálticos de Petróleo – Determinação do teor de Betume. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 043/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 054/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Equivalente de Areia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 083/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 084/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregado miúdo - Determinação de Densidade Real. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 266/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 007/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Avaliação Subjetiva da superfície de Pavimentos – Procedimentos. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – PRO 008/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Avaliação Objetiva da superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – TER 001/94 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME 053/95 – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume. Rio de Janeiro, 1995.

DNER– Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1996.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 1998.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Manual de Reabilitação de Pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro, 1998.

FAA –Federal Aviation Administration –Advisory Circular 150/5320-6D – Airport Pavement Design and Evaluation –U.S. Department of Transportation, July of 1995.

FERREIRA, A. B. H – Novo Dicionário Aurélio Eletrônico – Século XXI, versão 3.0. ed. Nova Fronteira, 1999.

HAAS, R., HUDSON, W. R., ZANIEWSKI, J. – Modern Pavement Management. Malabar / Flórida, Krieger Publishing Company, 1994.

HORONJEFF, ROBERT –Aeroporos Planejamento s Projeto. Trad. Por Heitor Lisboa de Araújo. Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro 1966.

HILDEBRAND, G – Verification of Flexive Pavement Response From a Field Test Part 1, Road Directorate, Danish Road Institute, 2002.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista 16/34, Pista de ligação, Pátios de Manobras e obras complementares, Relatório Técnico, Vol. 2. João Pessoa, 1980.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária – Projeto de Reforço e Ampliação da Pista de Pouso e Decolagens 16/34, Pista de táxi, Estacionamentos e obras complementares do Aeroporto "Presidente Castro Pinto", Relatório de Acompanhamento, Vol. 1. João Pessoa, 1981.

MEDINA, JAQUES DE – Mecânica dos Pavimentos. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

NILSSON, T. ULF e MONTANHINI, LÚCIA R. A. – Ensaio para Obtenção de "Módulos de Elasticidade" In: Reunião Anual de Pavimentação, 32ª, Anais. Associação brasileira de Pavimentação, Brasília, 2000.

NCHRP - "Measuring In Situ Mechanical Properties of Pavement Subgrade Soils", Synthesis of Highway Practice 278, National Cooperative Highway Research Program, TRB, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999.

ODEMARK, N. – "Undersökning av elasticitetegenskaperna hos olika joadarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin", Statens Vägintstitut, Meddelande 77, Sweden, 1949 (in Swedish).

PAIVA, C. E. L. e PEIXOTO, C. F. – Iteração Aeronave-Pavimento In: 2003 Internacional Conference –Airports: Planing, Infrastructure & Enviroment. Rio de Janeiro, june 8-11, 2003.

PITA, M. R. – Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84. 3 ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. 91p. (ET-97).

RODRIGUES, J.K.G – Pressiômetros, Tensões e Deformações em Sub-bases de Pavimentos Flexíveis, Tese de Doutorado, Vol.1, Escola de Engenharia de São Carlos ,Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SENÇO, WLASTERMILER de –Manual de Técnicas de Pavimentação. 1. ed. PINI. São Paulo, 1997.

SEVERI, A.A., BALBO, J.T., RODOLFO, M.P. – Conceitos Mecanicistas Básicos Sobre Pavimentos Asfálticos, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, USP, São Paulo, 1998.

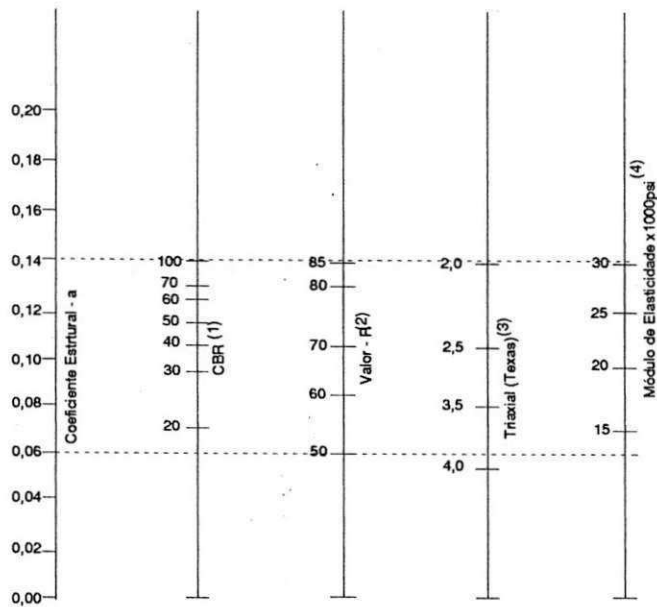
YANG, W.-s -"Mechanistic Analysis of Nondestructive Pavement Deflection Data", Ph. D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York, USA, 1988.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. –Principles of Pavement Design – Second Edition – Jonh Wiley & Sons, Inc. – New York, 1975.

ANEXOS

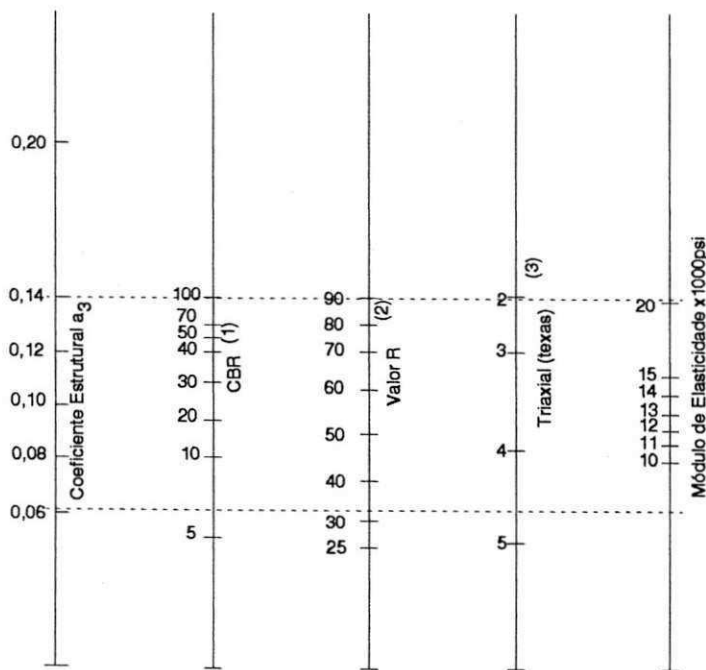
ANEXO A

ÁBACOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS



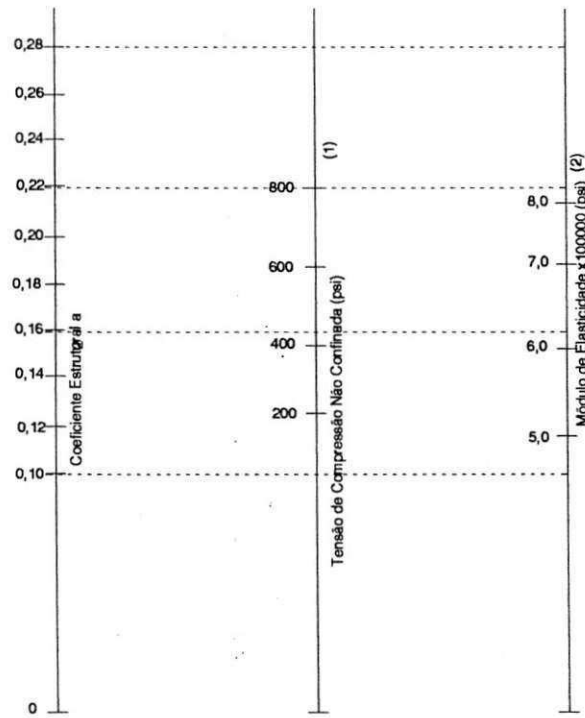
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 1- Estimativa do coeficiente estrutural da base granular (AASHO,1993)



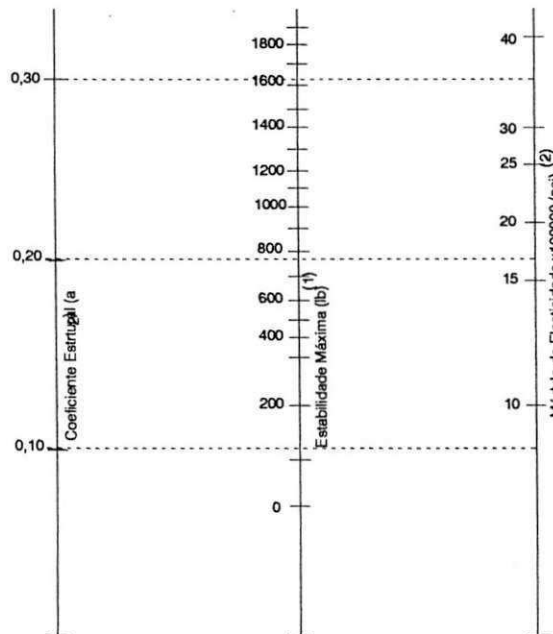
- (1) Escala derivada das correlações obtidas em Illinois
- (2) Escala derivada das correlações obtidas na Califórnia, Novo México e Wyoming
- (3) Escala derivada das correlações obtidas no Texas
- (4) Escala obtida no NCHRP (3).

Figura 2- Estimativa do coeficiente estrutural da camada de sub-base (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 3 – Estimativa do coeficiente estrutural para base tratada com cimento (AASHO, 1993).



(1) Escala derivada das correlações de Illinois, Lousiana e Texas
 (2) Escala obtida no projeto NCPHRP (3)

Figura 4 – Estimativa do coeficiente estrutural da camada de base tratada com betume (AASHO, 1993).

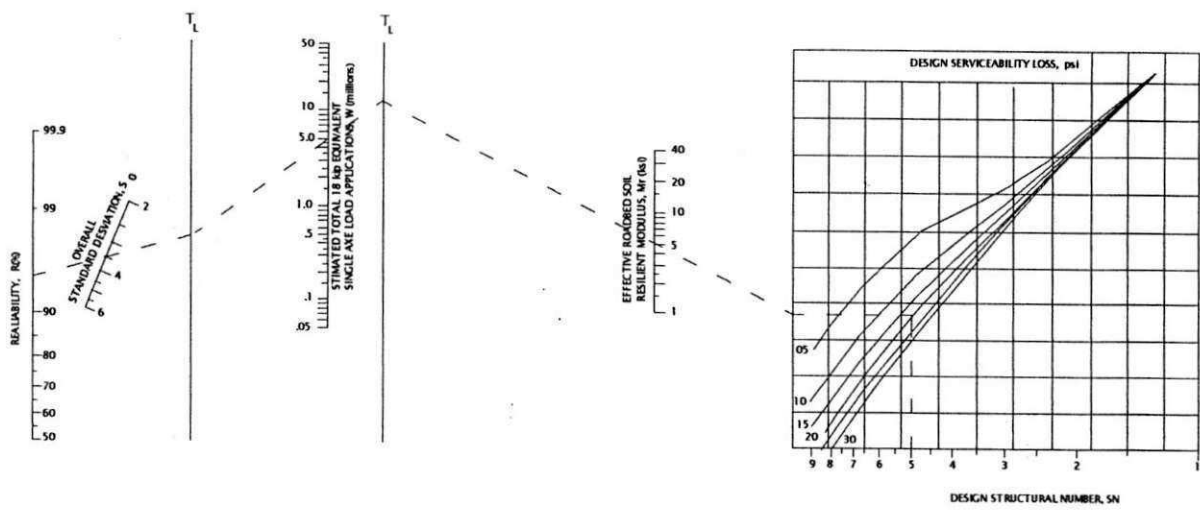


Figura 5 – Gráfico para determinação do número estrutural do pavimento (SN) (AASHO, 1993).

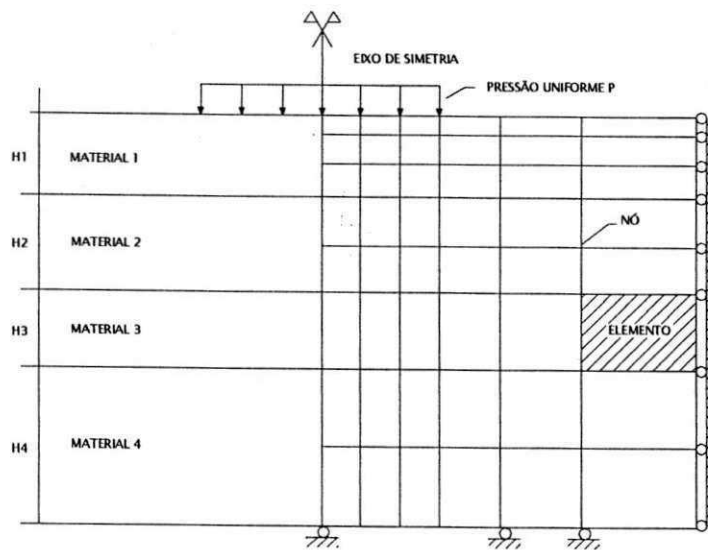


Figura 6 – Configuração dos elementos finitos para análise de um terreno estratificado (Medina, 1997).

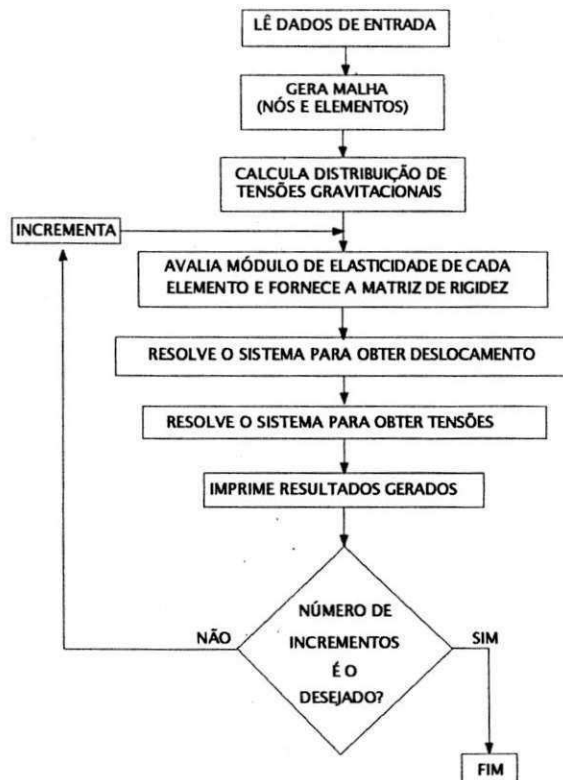


Figura 7 – Fluxograma do Programa FEPAVE (Medina, 1997).

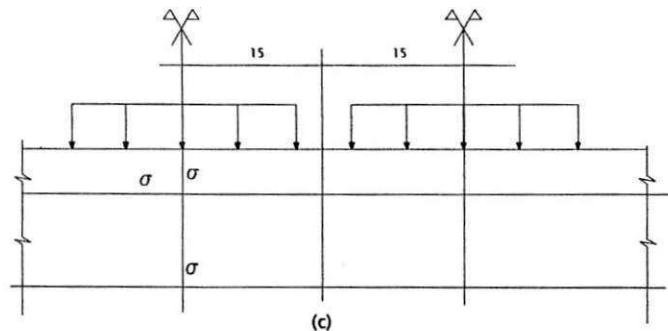
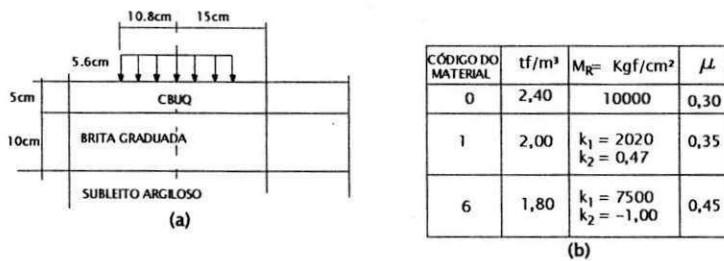


Figura 8 – Parâmetros de desempenho estrutural de um pavimento obtido pelo Programa FEPAVE: (a) Perfil do pavimento; (b) parâmetros físicos e de deformabilidade; (c) parâmetros obtidos (Medina, 1997).

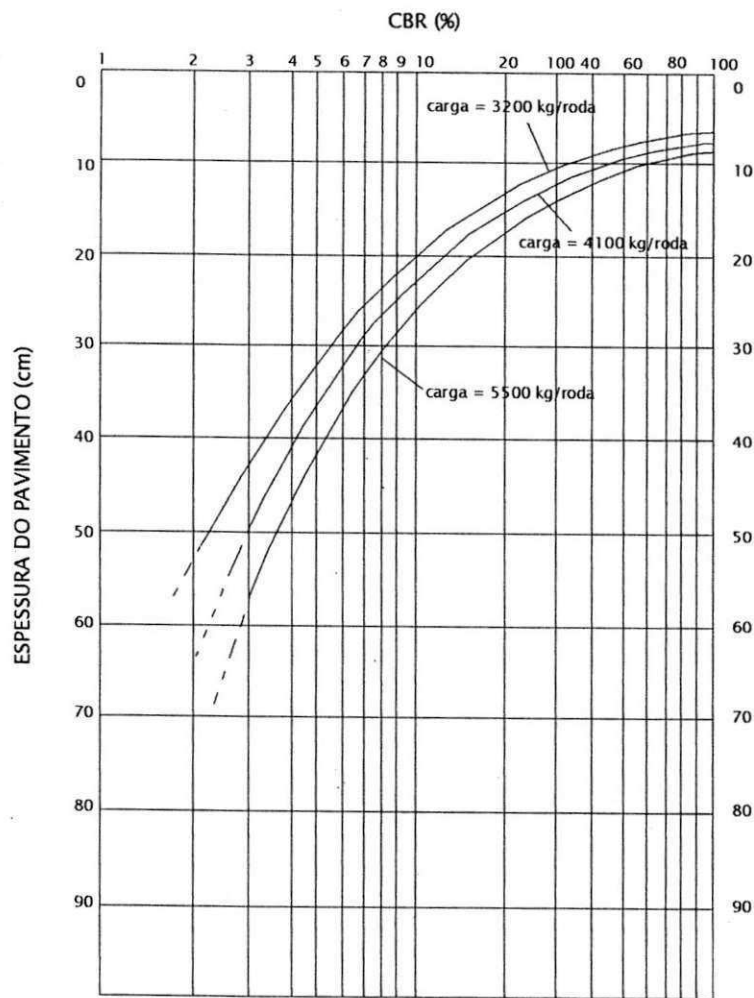


Figura 9 – Curvas para dimensionamento (SENÇO, 1997).

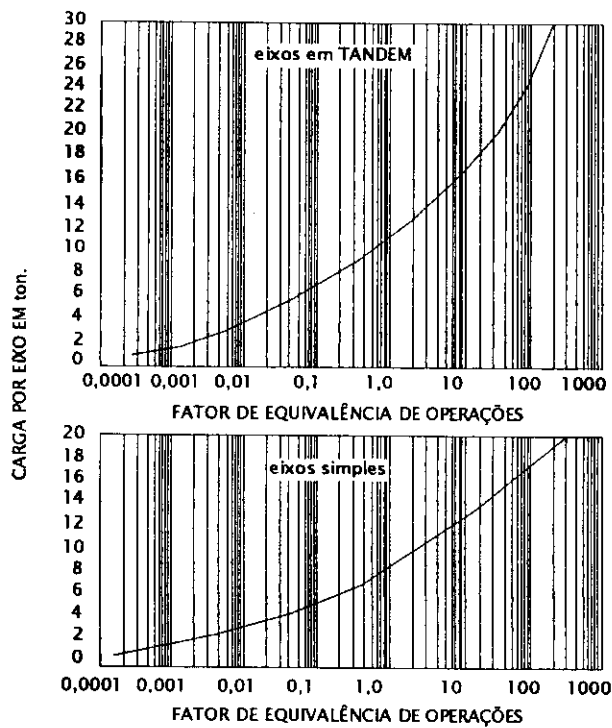


Figura 10 – fatores de equivalência de operações (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

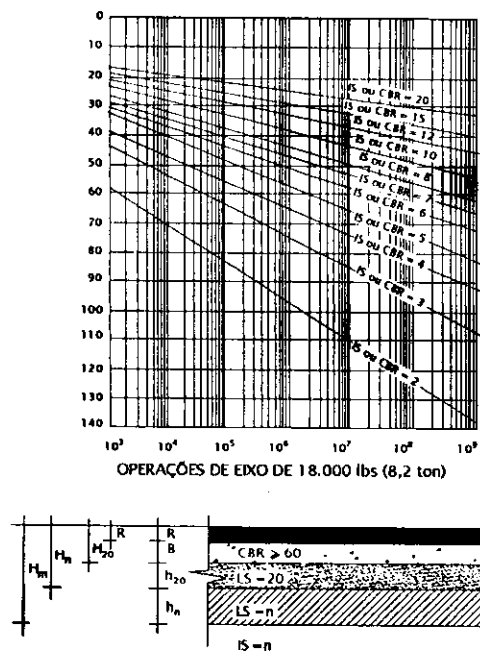


Figura 11 – Gráfico de operações de eixo de 8,2 t e simbologia (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1996).

Figura 13 – Abaco para estimativa do valor do suporte do solo (SENÇO, 1997).

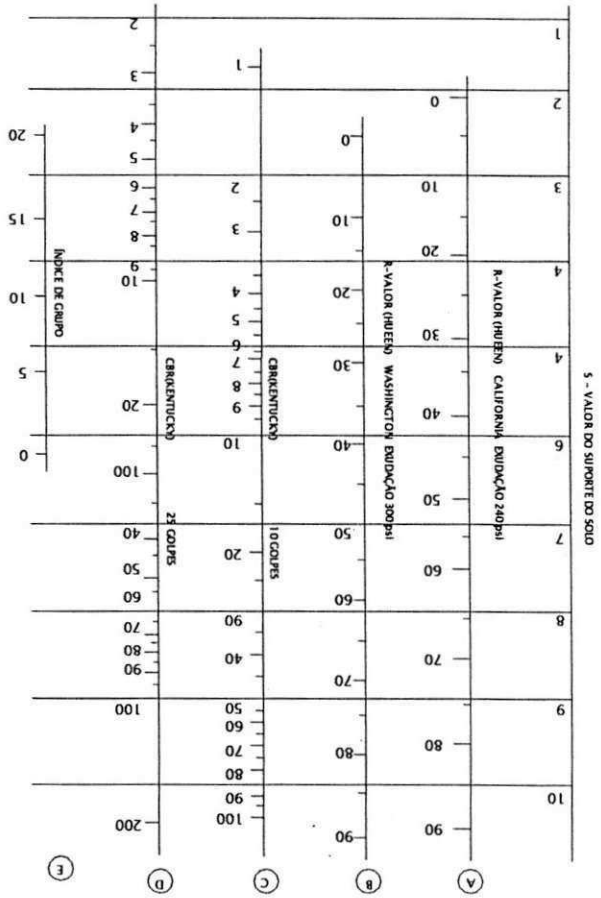
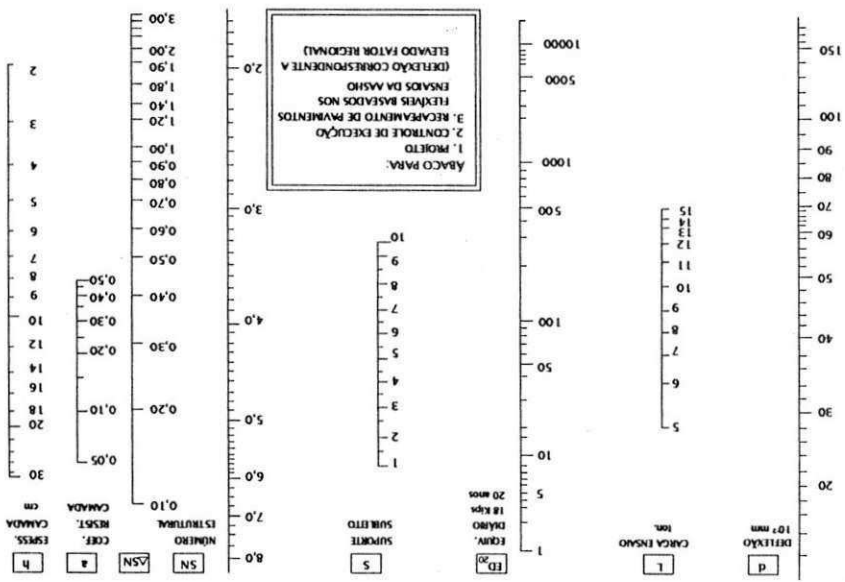


Figura 12 – Abacos para dimensionamento A.S.H.O (SENÇO, 1997).



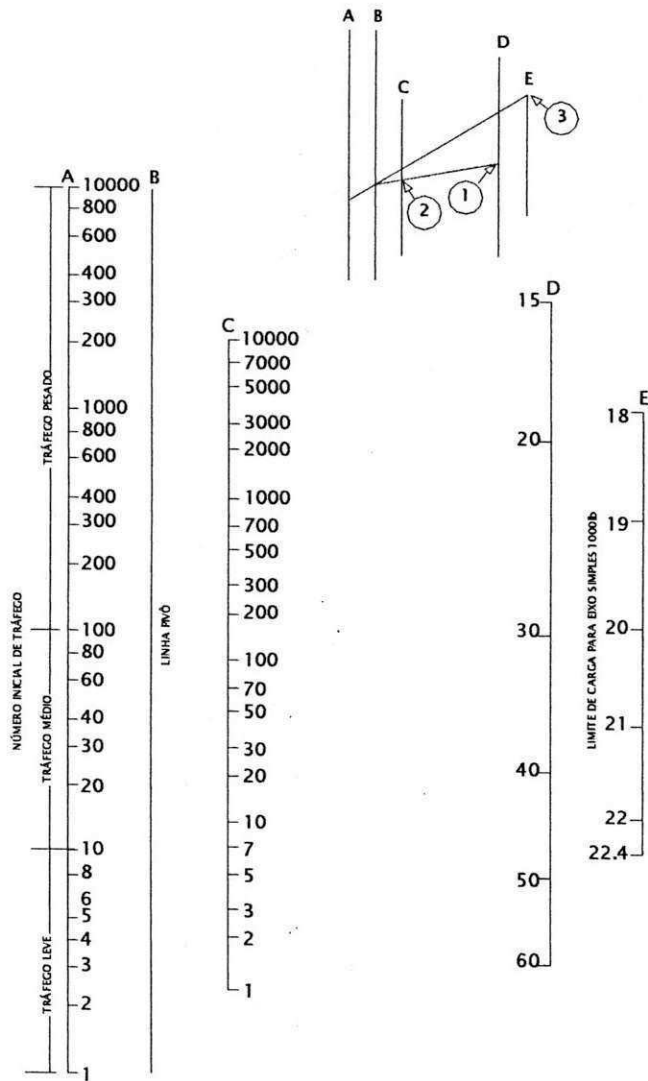


Figura 14 – Nomograma do carregamento do eixo equivalente a 18 kip (80 KN)

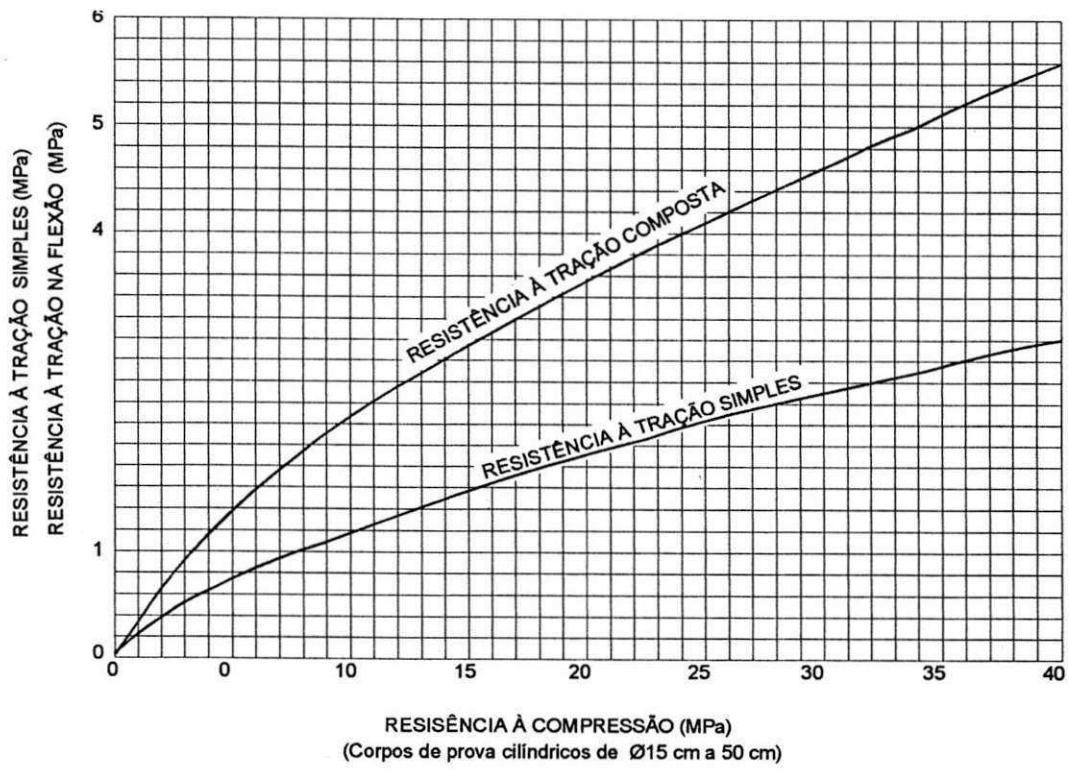


Figura 15 – Resistência à tração simples e na flexão versus resistência à compressão.

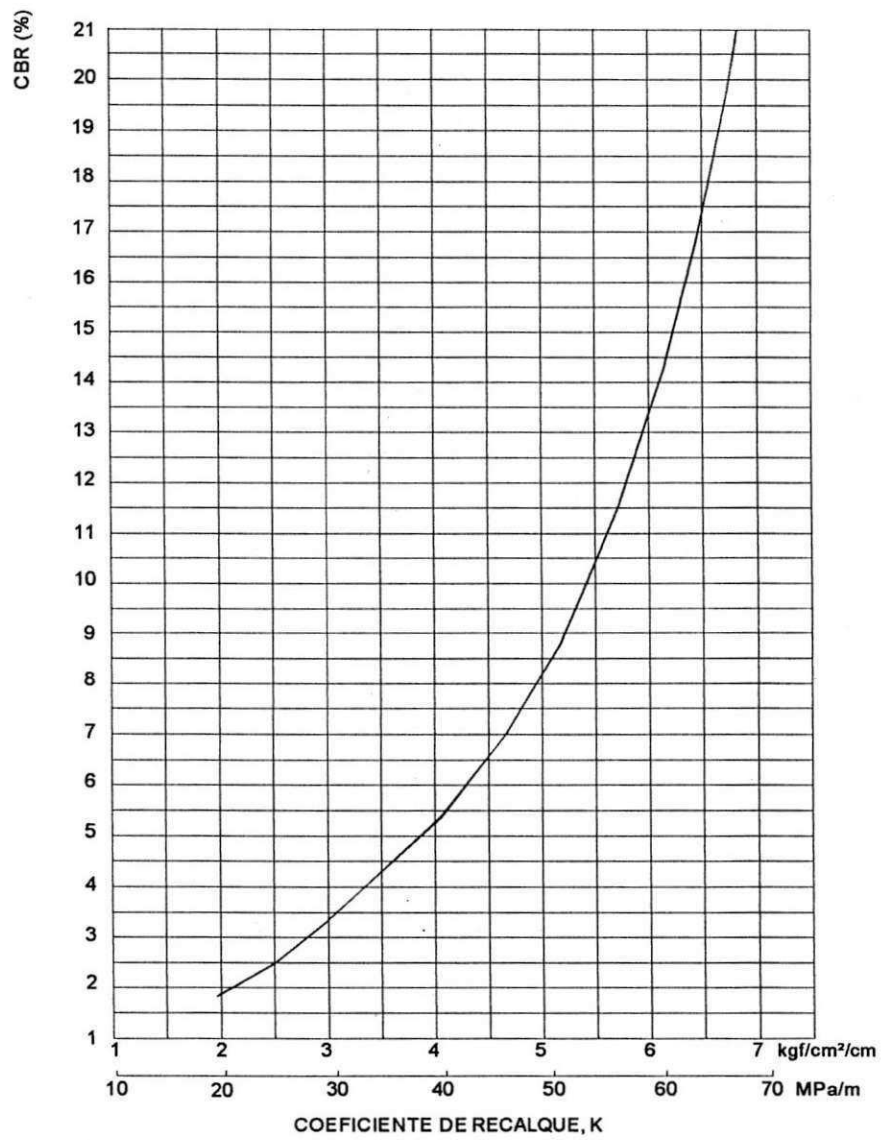


Figura 16 - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o Coeficiente de Recalque (K) do subleito (válida somente para camadas de espessura semi-infinita)

ANEXO B

PRANCHAS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

ANEXO C
RESULTADOS DOS ENSAIOS

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Serviço: Ensaios de Massa Específica Aparente Seca "In situ" nas Camadas Granulares da Pista de Pouso e Decolagem, Pista de Taxi e Pátios

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		Massa Específica Aparente Seca "In situ" kg/cm³	PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO				CLASSIFICAÇÃO		OBSERVAÇÕES
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO		Camada	Espessura	Classificação Visual do Solo	Umidade %	UCS	HRB			
11+18,50	Pátio 1	PI	14	2,24	0	cm	Base	22 cm	Solo brita	6,4			Acostamentos em TSD
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,11	22	cm	Sub-base	21 cm	Solo brita	8,1			
11+16,50	Pátio 1	PI	14	2,04	43	cm	Subleito	-	Top soil	5,8			
-	Pátio 2	PI	19	1,83	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	16,3			
-	Pátio 2	PI	19	1,96	35	cm	Base	15 cm	Solo brita	11,1			
-	Pátio 2	PI	19	1,57	55	cm	Subleito	-	Argila	14,0			
-	Pátio 3	PI	11	1,66	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	8,7			
-	Pátio 3	PI	11	-	20	cm	Base	20 cm	Macadame	-			
-	Pátio 3	PI	11	1,74	40	cm	Sub-base	20 cm	Top soil	8,1			
-	Acesso	PI	23	2,16	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,4			
-	Acesso	PI	23	1,96	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,9			
-	Pátio 1	PI	17	1,60	0	cm	Solo de regularização	20 cm	Top soil	6,2			
-	Pátio 1	PI	17	1,45	20	cm	Base	20 cm	Solo brita	4,1			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,90	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,7			
14+0,00	Pátio 2	PI	20	1,98	20	cm	Sub-base	20 cm	Solo brita	13,0			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			
3+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	1	1,92	20	cm	Subleito	-	"Argila"	14,3			
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	2,21	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,5			Infiltração de água na base
20+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	2	1,72	20	cm	Subleito	-	"Argila"	13,6			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	1,95	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,1			
45+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	3	-	20	cm	Subleito	-	Argila	-			Água abaixo do pavimento
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,98	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	11,70			
68+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	4	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	16,30			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	2,11	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	8,10			
88+0,00 (D)	Pista de pouso	PI	5	1,89	20	cm	Subleito	-	Top soil	8,10			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	6,90			
105+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	6	1,97	20	cm	Subleito	-	Top soil	6,40			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	2,10	0	cm	Base	20 cm	Solo brita	7,50			
122+0,00 (E)	Pista de pouso	PI	7	1,85	20	cm	Subleito	-	Top soil	7,50			

Obra: Projeto de reforço da pista de pouso, pista de taxi e pátio do Aeroporto Castro Pinto - João Pessoa - PB



Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária

Resistência a Compressão Simples

LOCALIZAÇÃO		DENOMINAÇÃO		RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES		ESPESSURA DA PLACA	
ESTACA	POSIÇÃO	SIGLA	NÚMERO				
2 + 10	Patio 3	RPC	8	30,50	MPa	15,00	cm
6	Patio 3	RPC	9	30,30	MPa	15,00	cm
9	Patio 3	RPC	10	28,80	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	11	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 3	RPC	12	29,50	MPa	15,00	cm
-	Patio 1	RPC	15	32,70	MPa	30,00	cm
-	Patio 1	RPC	17	29,10	MPa	30,00	cm

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PISTA DE POUSO				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO N°	PI-1	PI-1	PI-2	PI-2	PI-3	PI-3	PI-4	PI-4	
FURO	-	07	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100	100	100	
	1"	100	100	100	100	100	100	100	
	3/8"	82	94	71	95	81	98	75	100
	N° 4	72	91	64	93	72	92	66	99
	N° 10	68	90	59	90	67	91	61	95
	N° 40	42	67	37	69	43	67	39	61
	N° 200	10	44	11	45	10	42	12	25
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-	-	
LL	NL	25	NL	23	NL	25	NL	NL	
LP	NP	8	NP	9	NP	9	NP	NP	
EA	-	-	-	-	-	-	-	-	
IG	0	1	0	1	0	1	0	0	
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-4	A-1-B	A-2-4	
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.855	1.840	1.865	1.875	1.850	1.855	1.890
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	14,5	7,5	13,0	7,1	14,0	7,5	7,5
	CBR	28	2	19	4	35	3	28	17
	EXPANSÃO	0,01	0,284	0,03	0,214	0,03	0,220	0,02	0,261
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.975	1.870	1.895	1.900	1.960	1.875	1.895	1.895
	UMIDADE ÓTIMA	7,6	13,6	7,3	11,5	6,9	13,0	7,4	7,0
	CBR	46	6	35	8	45	6	41	25
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,021	0,03	0,21
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.165	1.910	2.120	1.910	2.200	1.900	2.170	1.950
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	11,5	7,2	11,2	6,8	11,5	7,2	6,5
	CBR	100	15	95	12	103	10	95	30
	EXPANSÃO	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,05
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL	

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PISTA DE POUSO				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-5	PI-5	PI-6	PI-6	PI-7	PI-7			
FURO	-	-	-	-	-	-			
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-			
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100			
	1"	100	100	100	100	100			
	3/8"	80	100	82	100	91	89		
	Nº 4	67	100	75	100	70	82		
	Nº 10	60	98	69	95	62	79		
	Nº 40	38	61	39	55	40	50		
	Nº 200	10	8	12	7	10	13		
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-			
LL	NL	NL	NL	NL	NL	NL			
LP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			
EA	-	-	-	-	-	-			
IG	0	0	0	0	0	0			
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4			
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.900	2.050	1.910	1.850	1.845	1.910		
	UMIDADE ÓTIMA	7,8	7,3	7,5	7,0	8,0	6,3		
	CBR	35	27	35	13	29	15		
	EXPANSÃO	0,05	0,271	0,0	0,150	0,02	0,130		
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.955	2.050	2.010	1.900	1.950	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	6,9	7,5	6,8	7,6	6,1		
	CBR	45	35	53	20	41	25		
	EXPANSÃO	0,02	0,25	0,02	0,13	0,02	0,10		
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.190	2.060	2.185	1.910	2.200	1.980		
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,5	6,9	6,8	7,5	6,0		
	CBR	98	42	101	35	98	32		
	EXPANSÃO	0,05	0,20	0,03	0,10	0,04	0,10		
Observações:	BASE	SL	BASE	SL	BASE	SL			

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: ACESSO PATIOS 1 e 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: EIXO E ACOST.			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-23	PI-23	TR-16	TR-16	TR-21	TR-21	TR-23	TR-23	
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100				
	3/8"	75	100	80	100				
	N ^o 4	62	100	69	100	SOLO BRITA	TOP SOIL	SOLO BRITA	TOP SOIL
	N ^o 10	60	95	58	98				
	N ^o 40	45	90	41	94				
	N ^o 200	10	15	8	16				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	NL					
LP	NP	NP	NP	NP					
EA	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.835	1.915	1.860	1.935				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,9	7,5	7,2				
	CBR	28	11	32	16				
	EXPANSÃO	0,02	0,03	0,0	0,02				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.945	1.915	1.960	1.960				
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,5	7,2	7,2				
	CBR	38	21	40	28				
	EXPANSÃO	0,01	0,02	0,01	0,01				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.170	1.935	2.125	1.985				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	6,3	7,0	7,0				
	CBR	92	31	98	40				
	EXPANSÃO	0,03	0,02	0,01	0,01				
Observações:	BASE	SL	BASE	SL					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 1			SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:			
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:			
REGISTRO Nº	PI-14	PI-14	PI-14	PI-17	PI-17	TR-13	TR-13	TR-14	TR-14	
FURO	-	-	04	-	-	-	-	-	-	
PROFUNDIDADE	0-22	22-33	33-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-	
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100				
	1"	100	100	100	100	100				
	3/8"	85	91	85	98	80				
	Nº 4	73	85	82	96	73				
	Nº 10	64	65	79	90	65				
	Nº 40	39	45	53	61	44				
	Nº 200	8	12	16	24	8				
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-					
LL	NL	NL	NL	19	NL					
LP	NP	NP	NP	4	NP					
EA	-	-	-	-	-					
IG	0	0	0	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-2-4	A-2-4	A-1-B					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.870	1.865	2.060	1.890	1.895				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,5	8,1	11,5	7,3				
	CBR	21	25	31	20	32				
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,076	0,215	0,0				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.950	2.100	1.995	1.905	1.990				
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	7,5	11,1	7,5				
	CBR	39	52	42	30	55				
	EXPANSÃO	0,0	0,0	0,08	0,20	0,02				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.995	2.195	2.000	1.970	2.150				
	UMIDADE ÓTIMA	7,2	6,8	7,1	10,0	7,1				
	CBR	94	95	55	40	100				
	EXPANSÃO	0,03	0,01	0,05	0,20	0,02				
Observações:	BASE	BASE	SL	SL	BASE					

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO		TRECHO: PÁTIO 1		SUB-TRECHO:			
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO		LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO		CALCULISTA:			
OPERADOR:		VISTO:		LABORATÓRIO:			
REGISTRO N ^o	TR-18	TR-18					
FURO	-	-					
PROFUNDIDADE	0-20	20-					
GRANULOMETRIA	2"	100	100				
	1"	100	100				
	3/8"	83	100				
	N ^o 4	75	99				
	N ^o 10	67	95				
	N ^o 40	41	66				
	N ^o 200	10	18				
FAIXA ASSHO	-	-					
LL	NL	NL					
LP	NP	NP					
EA	-	-					
IG	0	0					
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-2-4					
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.905	1.910				
	UMIDADE ÓTIMA	7,5	7,1				
	CBR	31	16				
	EXPANSÃO	0,01	0,310				
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.010	1.915				
	UMIDADE ÓTIMA	7,1	7,0				
	CBR	58	22				
	EXPANSÃO	0,0	0,30				
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.180	1.950				
	UMIDADE ÓTIMA	6,9	6,8				
	CBR	106	35				
	EXPANSÃO	0,01	0,20				
Observações:	BASE	SL					

ATECEL - DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO				TRECHO: PÁTIO 2			SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: BASE E SUBLEITO				LOCALIZAÇÃO: ACOST. / CANTEIRO			CALCULISTA:		
OPERADOR:				VISTO:			LABORATÓRIO:		
REGISTRO Nº	PI-19	PI-19	PI-19	PI-20	PI-20	TR-20	TR-20	TR-22	TR-22
FURO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROFUNDIDADE	0-22	22-43	43-	0-20	20-40	0-20	20-	0-20	20-
GRANULOMETRIA PENEIRAS % PASSANDO	2"	-	-	-	-	-	-	-	-
	1"	100	100	100	100	100	100		100
	3/8"	70	81	95	80	74	95		95
	Nº 4	62	70	90	65	60	92		89
	Nº 10	58	60	85	60	58	89		85
	Nº 40	35	41	71	35	42	75		79
	Nº 200	10	12	46	10	8	43		47
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	SOLO BRITA	-	SOLO BRITA	-
LL	NL	NL	22	NL	NL		20		25
LP	NP	NP	7	NP	NP		6		7
EA	-	-	-	-	-		-		-
IG	0	0	1	0	0		-		-
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-1-B	A-1-B	A-4	A-1-B	A-1-B		A-4		A-4
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.890	1.850	1.768	1.835	1.890		1.685	1.810
	UMIDADE ÓTIMA	7,4	7,0	15,6	7,3	7,7		16,0	15,3
	CBR	30	35	3	21	27		4	4
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,410	0,03	0,04		0,500	0,380
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.995	1.810	1.980	1.970		1.710	1.880
	UMIDADE ÓTIMA	7,3	7,0	15,0	7,3	7,4		15,0	14,8
	CBR	51	41	6	39	44		8	6
	EXPANSÃO	0,02	0,0	0,40	0,02	0,03		0,50	0,40
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	2.210	2.195	1.900	1.995	2.150		1.850	1.975
	UMIDADE ÓTIMA	7,0	6,8	14,8	7,0	7,2		13,5	14,0
	CBR	102	94	12	90	98		13	14
	EXPANSÃO	0,02	0,01	0,38	0,03	0,04		0,05	0,40
Observações:	BASE	BASE	SL	BASE	BASE		SL		SL

ATECEL – DIVISÃO GEOTECNIA

RESUMO DE ENSAIOS DE SOLOS

RODOVIA: AEROPORTO CASTRO PINTO			TRECHO: PÁTIO 3				SUB-TRECHO:		
PROCEDÊNCIA: SUBLEITO			LOCALIZAÇÃO: EIXO/ LATERAIS				CALCULISTA:		
OPERADOR:			VISTO:				LABORATÓRIO:		
REGISTRO N ^o	PI-11	PI-11	TR-8	TR-9	TR-10	TR-11	TR-12		
FURO	01	01	-	-	-	-	-		
PROFUNDIDADE	0-75	75-100	-	-	-	-	-		
GRANULOMETRIA	2"	-	-	-	-	-	-		
	1"	100	100	100	100	100	100		
	3/8"	99	100	98	100	99	97	100	
	N ^o 4	98	100	97	96	97	96	99	
	N ^o 10	96	99	94	95	94	92	98	
	N ^o 40	63	60	65	64	66	63	61	
	N ^o 200	26	11	12	20	15	25	12	
FAIXA ASSHO	-	-	-	-	-	-	-		
LL	21	NL	NL	NL	NL	NL	NL		
LP	5	NP	NP	NP	NP	NP	NP		
EA	-	-	-	-	-	-	-		
IG	0	0	-	-	-	-	-		
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4		
12 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.905	1.970	1.910	1.890	1.950	1.910	
	UMIDADE ÓTIMA	9.8	7.2	7.5	7.3	8.9	9.0	7.5	
	CBR	23	19	18	21	16	20.0	25	
	EXPANSÃO	0.207	0.193	0.210	0.310	0.240	0.223	0.220	
26 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.980	1.945	1.990	1.935	1.925	1.965	1.925	
	UMIDADE ÓTIMA	8,5	7,0	7,5	7,0	7,5	8,0	7,5	
	CBR	29	30	21	29	26	31	32	
	EXPANSÃO	0,28	0,20	0,30	0,28	0,20	0,21	0,18	
56 GOLPES	DENS. MÁXIMA	1.990	1.980	1.980	1.955	1.935	1.975	1.975	
	UMIDADE ÓTIMA	8,3	6,5	7,0	6,9	7,2	8,1	7,3	
	CBR	35	40	29	35	34	44	52	
	EXPANSÃO	0,22	0,20	0,20	0,25	0,25	0,28	0,20	
Observações:	SL	SL	SL	SL	SL	SL	SL		
Observações: PI-11 (0-75) – SOLO DE REGULARIZAÇÃO (Aterro), PI-11 (75-100) – SUB-BASE									

POÇO DE INSPEÇÃO - FURO: PI-01

PERFIL DA SONDAGEM

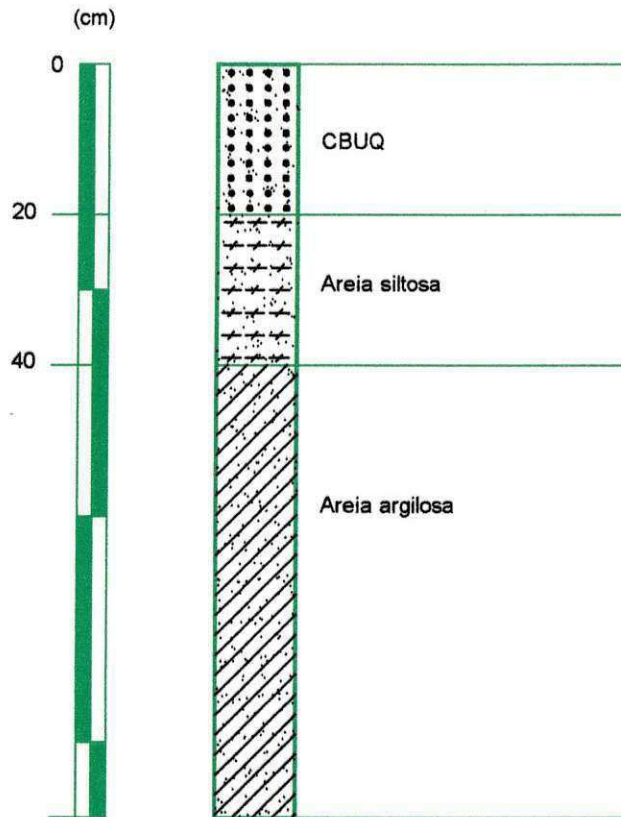
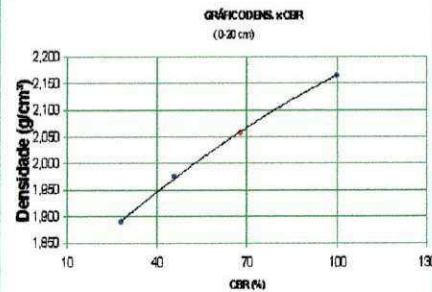
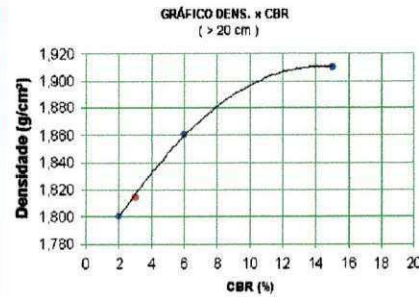


GRÁFICO DENS. x CBR



DATA DA SONDAGEM:

COTAS: TOPO DO FURO: 0,00cm

PI 01 - LENÇOL FREÁTICO:

OBS:

DENSIDADE E UMIDADE NATURAL

PROFUNDIDADE	D. NAT.(g/cm³)	H. NAT.(%)

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

HORIZONTES (cm)	GRANULOMETRIA - % PASSANDO						LL	IP	CLASSIFICAÇÃO		COMPAC. (55G)		12 GOLPES			26 GOLPES			55 GOLPES			CBR FINAL	
	1"	3/8"	N.º 4	N.º 10	N.º 40	N.º 200			HRB(IG)	SUCS	D MAX (g/cm³)	HOT (%)	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	DENS (g/cm³)	CBR (%)	EXP.	95% DMAX (g/cm³)	CBR (%)
	0-20	100	82	72	68	42			10	NL	-	A-1-B	SM	2,165	7,0	1,890	28	0,01	1,975	46	0,02	2,165	100
> 20	100	94	91	90	67	44	25	17	A-4	SM	1,910	11,5	1,800	2	0,284	1,860	6	0,03	1,910	15	0,03	1,815	3,0

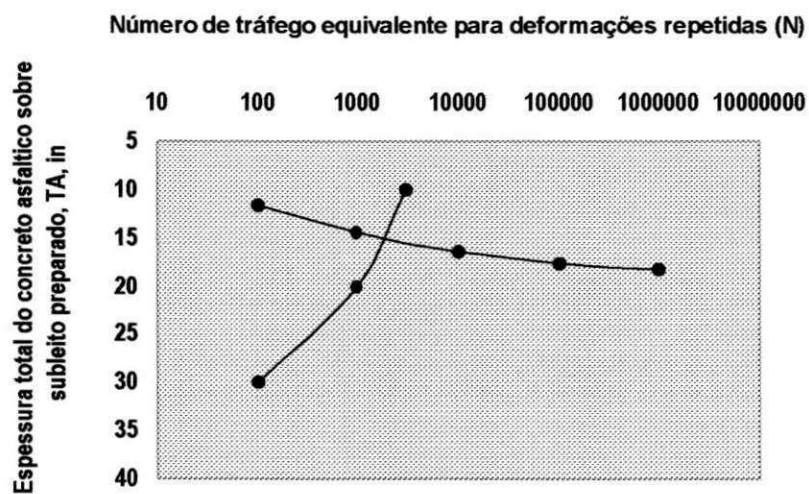


Figura 01 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

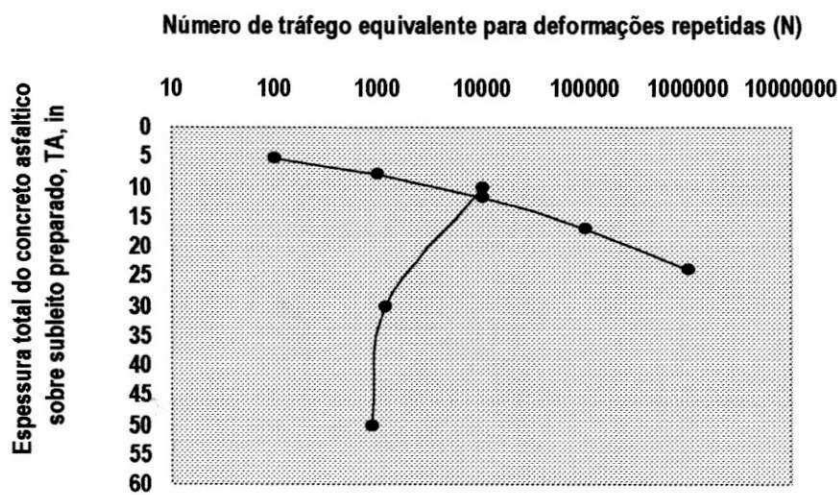


Figura 02 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=11%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

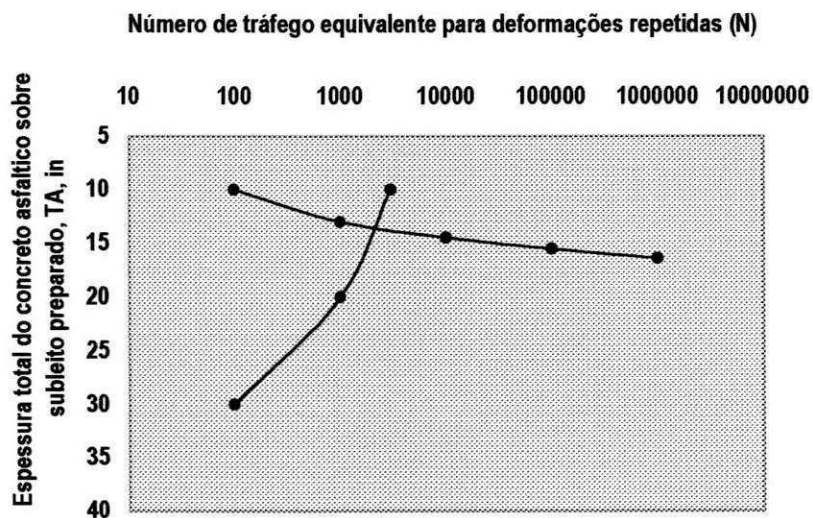


Figura 03 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

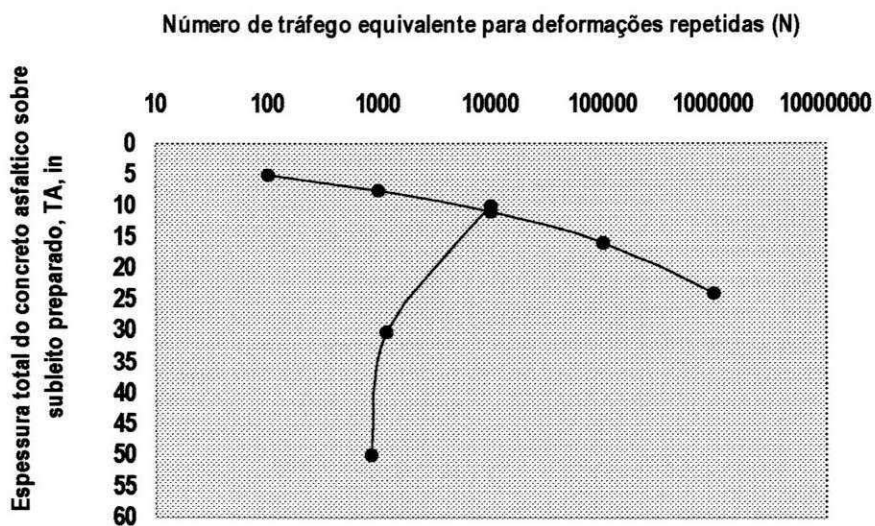


Figura 04 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

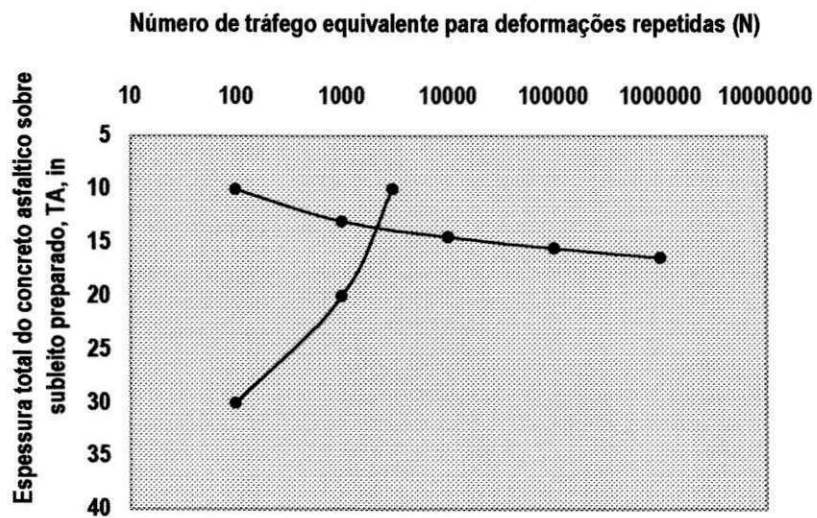


Figura 05 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

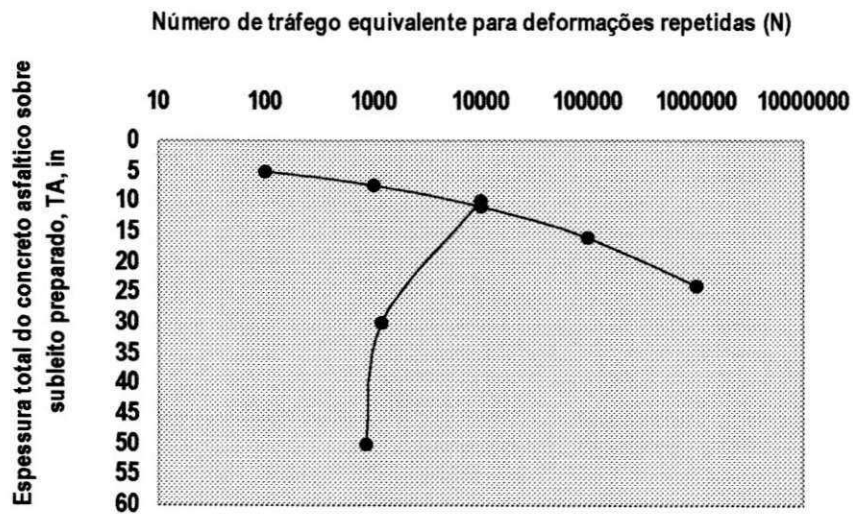


Figura 06 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=14%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_i

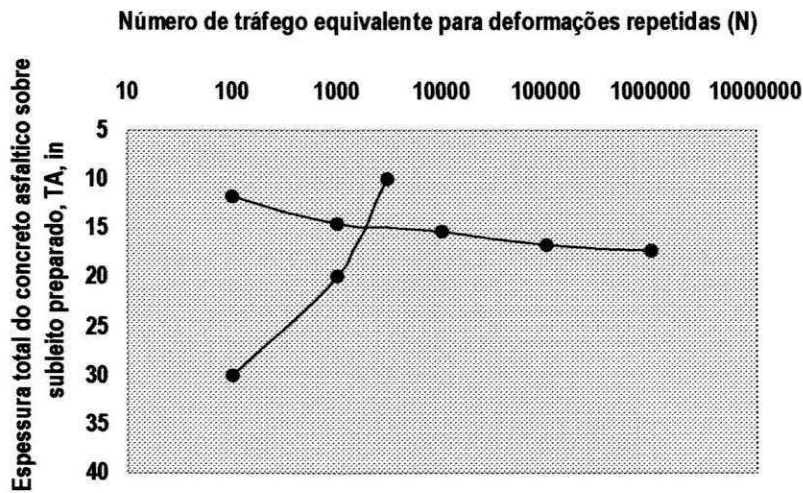


Figura 07 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

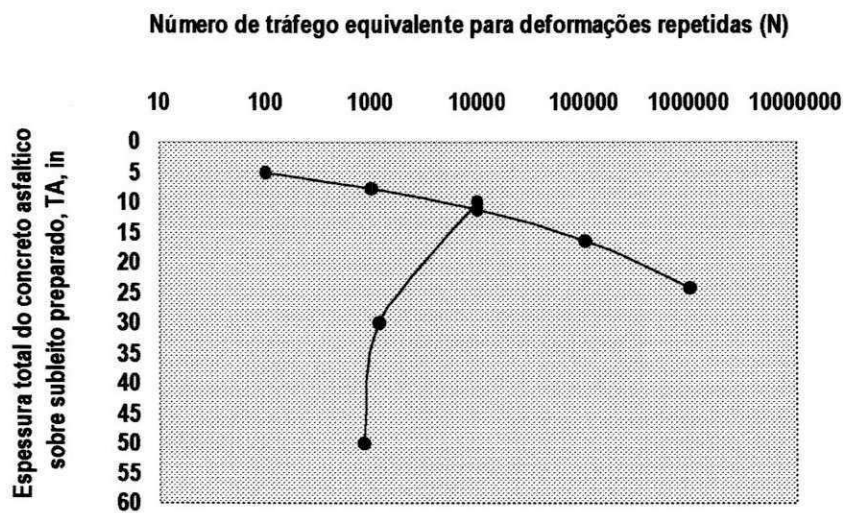


Figura 08 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (recape CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

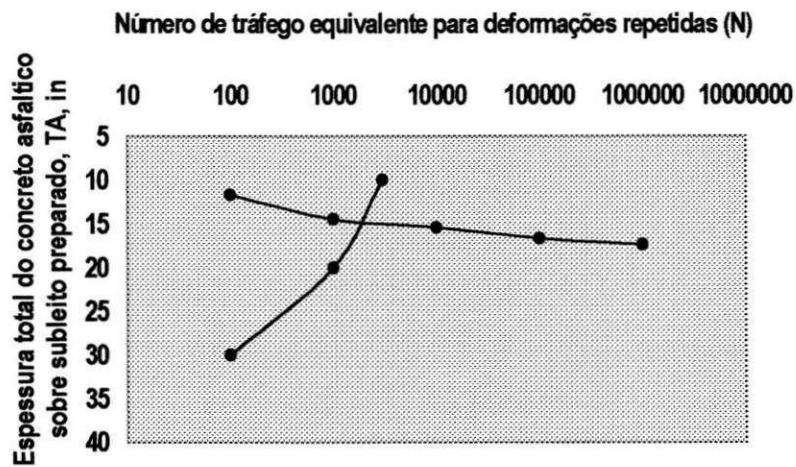


Figura 09 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

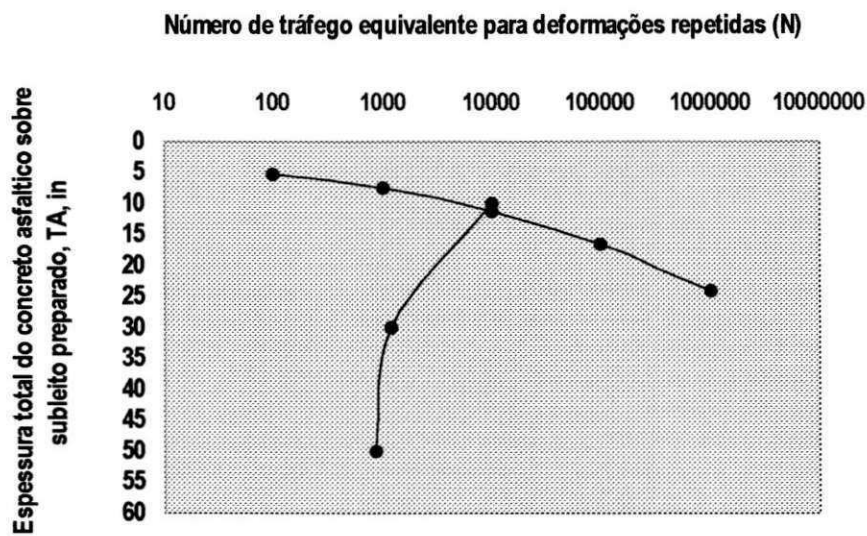


Figura 10 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de pouso e decolagem (ampliação CBR=12,6%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t

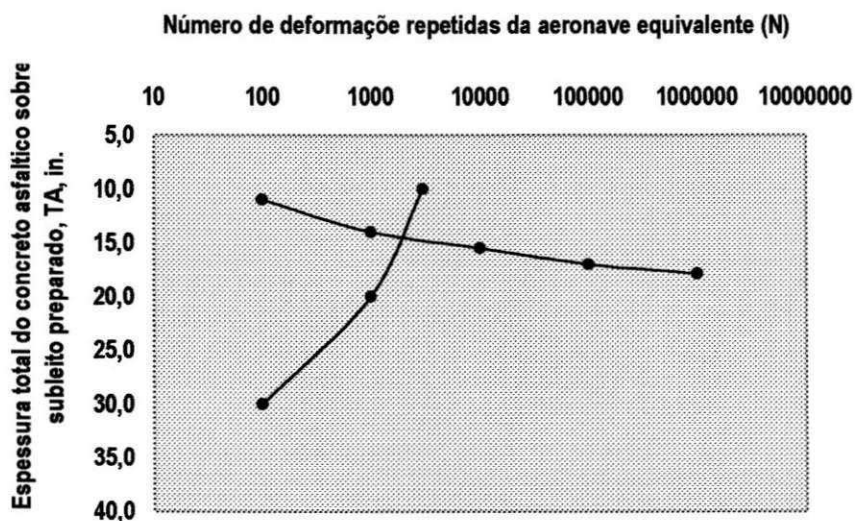


Figura 11 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute – Critério E_c

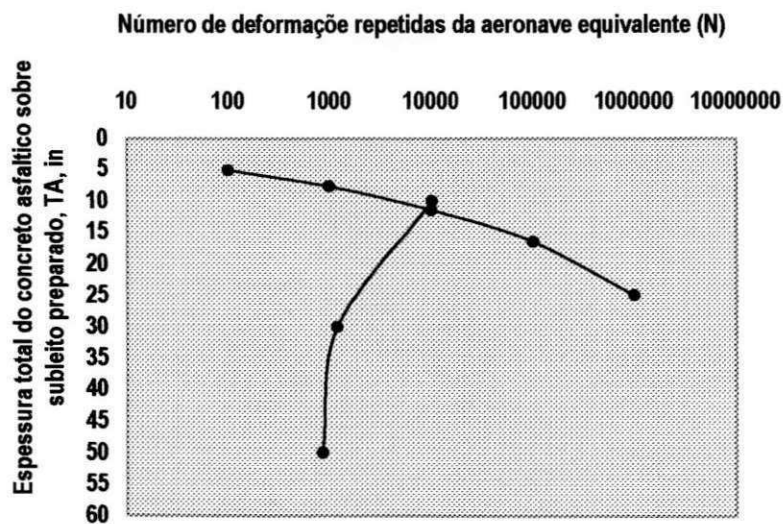


Figura 12 - Solução gráfica para estimativa da espessura de projeto T_A da pista de táxi (ampliação CBR=12,3%) do aeroporto Castro Pinto – Método do Asphalt Institute - Critério E_t