

## **Monografia**

# **"RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM ÁREAS DE TAXIAMENTO DE AERONAVES -**

**UM ESTUDO DE CASO DA PISTA FOX-2 DO AEROPORTO INTERNACIONAL  
TANCREDO NEVES - MG"**

Autora: Marina Eliza Pacífico Quirino

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Junior

Janeiro/2013

MARINA ELIZA PACÍFICO QUIRINO

**"RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM ÁREAS DE TAXIAMENTO  
DE AERONAVES –**

**UM ESTUDO DE CASO DA PISTA FOX-2 DO AEROPORTO INTERNACIONAL  
TANCREDO NEVES - MG"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia da UFMG

Ênfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Junior

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

## **AGRADECIMENTOS**

Aos engenheiros do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, Carlos César Amaral de Freitas, Gerente de Manutenção e Rita de Cássia Temponi, Coordenadora de Sistemas de Operações, pela disponibilização de acervo técnico e informações.

## RESUMO

O presente trabalho refere-se ao estudo das características e propriedades de pavimentos rígidos e flexíveis, com foco em pavimentos aeroportuários. Foram analisados os conceitos básicos de pavimentação, os tipos de pavimentos, suas composições em termos de camadas inferiores e as principais características funcionais e estruturais de seus componentes. Também são estudadas as principais patologias em pavimentos e técnicas de recuperação, tendo como estudo de caso a recuperação de parte do pavimento flexível de uma das pistas de taxiamento do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Minas Gerais.

**Palavras-chave:** pavimento rígido, pavimento flexível, patologia em pavimentos, recuperação de pavimentos aeroportuários.

## ABSTRACT

The present work refers to the study of the characteristics and properties of rigid and flexible pavements, focusing on airport pavements. This study analyzed the basics of paving, flooring types, their compositions in terms of lower layers and major structural and functional characteristics of their components. It was also studied the main pathologies in floors and recovery techniques, taking as case study the recovery of part of the flexible pavement of one of the taxiways at Tancredo Neves International Airport, in Minas Gerais.

**Keywords:** rigid pavement, flexible pavement, pavement pathology, recovery of airport pavements.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivos Gerais.....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Introdução .....	17
3.2 Conceituação de Pavimento .....	18
3.3 Caracterização dos Pavimentos.....	19
3.3.1 Pavimentos Rígidos .....	19
3.3.2 Pavimentos Flexíveis .....	21
3.4 Manutenção em Pavimentos .....	32
3.4.1 Patologias em Pavimentos Rígidos .....	34
3.4.2 Patologias em Pavimentos Flexíveis .....	38
3.5 Pavimentos em Aeroportos .....	43
4. ESTUDO DE CASO.....	46
4.1 Diagnóstico.....	46
4.1.1 Avaliação das Características Funcionais.....	47
4.1.2 Avaliação das Características Estruturais.....	50
4.2 Reabilitação do Pavimento.....	56
4.2.1 Concepção das Alternativas de Reabilitação.....	56
4.2.2 Recuperação do Pavimento.....	57
4.3 Monitoramento .....	70
5. CONCLUSÕES.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Rede INFRAERO.....	15
Figura 2 - Pavimento rígido - Seção típica.....	19
Figura 3 - Pátio em concreto – AITN.....	20
Figura 4 - Distribuição do carregamento - Pavimento Rígido.....	21
Figura 5 - Pavimento flexível - AITN .....	21
Figura 6 - Pavimento flexível - Seção típica.....	22
Figura 7 - Materiais granulares usados em bases, sub-bases ou reforços – Rachão e bica corrida. ....	23
Figura 8 - Solos e solos agregados usados em bases, sub-bases ou reforços – Solo-brita.....	23
Figura 9 - Materiais cimentados usados em bases, sub-bases ou reforços – Solo cimento e brita tratada com solo cimento. ....	23
Figura 10 - Materiais reciclados usados em bases, sub-bases ou reforços – Resíduos de construção civil e escória de aciaria. ....	24
Figura 11 - Distribuição do carregamento - Pavimento flexível.....	24
Figura 12 - Estrutura de pavimento com revestimento asfáltico. ....	28
Figura 13 - Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente – (a) aberta, (b) descontínua e (c) densa ou bem graduada.....	29
Figura 14 - Exemplo de várias frações de agregados e fíler que compõem um concreto asfáltico.....	30
Figura 15 - Camadas de um revestimento asfáltico.....	30
Figura 16 - Exemplo de aplicação de lama asfáltica em trecho de via urbana. ....	31
Figura 17 - Etapas sucessivas de um tratamento superficial simples.....	32
Figura 18 - Trinca longitudinal - Corte pouco profundo.....	35

Figura 19 - Trinca Diagonal – Atraso no corte das juntas. ....	35
Figura 20 - Trinca transversal - Desalinhamento das barras. ....	36
Figura 21 - Recalque de fundação.....	36
Figura 22 - Trinca em Y - Aderência concreto/sub-base.....	36
Figura 23 - Reação álcali-agregado.....	37
Figura 24 - Trincas transversais nas placas de concreto.....	37
Figura 25 - Juntas de dilatação abertas com selante rompido.....	38
Figura 26 - Trincas longitudinais causadas principalmente pelo envelhecimento do ligante asfáltico.....	40
Figura 27 - Trincas de retração.....	40
Figura 28 - (a) Afundamento plástico e (b) afundamento por consolidação localizado...	40
Figura 29 - Escorregamento de massa asfáltica por fluência decorrente do excesso de ligante. ....	41
Figura 30 – Corrugação devido ao excesso de massa asfáltica ocorrente em áreas de aceleração e desaceleração. ....	41
Figura 31 – Exsudação. ....	41
Figura 32 - (a) Desgaste e (b) desagregação decorrentes da falta de aderência ligante-agregado ou da presença de água nos vazios das camadas.....	42
Figura 33 - Pannels causadas por deficiências na compactação, umidade excessiva nas camadas inferiores ou segregação.....	42
Figura 34 – Remendos (a) mal executado e (b) bem executado. ....	42
Figura 35 - Tipos de trens de pouso. ....	43
Figura 36 - Distribuição do carregamento em aeronave: 95% do peso bruto da aeronave é carregado pelo trem de pouso principal.....	43
Figura 37 - Pistas e Pátio AITN.....	46
Figura 38 - Depressão e trincamento – Pista FOX-2 AITN. ....	47



Figura 39 - Resumo das Condições Funcionais do Pavimento.....	49
Figura 40 - Representação esquemática das linhas de influência do FWD.....	50
Figura 41 - Resumo das Condições Estruturais do Pavimento.....	51
Figura 42 - Localização FOX-2 e direções de análise do GPR.....	52
Figura 43 - Imagem de GPR - Caminho 1 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	53
Figura 44 - Imagem de GPR - Caminho 2 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	53
Figura 45 - Imagem de GPR - Caminho 3 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	54
Figura 46 - Imagem de GPR - Caminho 4 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	54
Figura 47 - Imagem de GPR - Caminho 5 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	55
Figura 48 - Imagem de GPR - Caminho 6 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.....	55
Figura 49 - Placa de sinalização da obra – Pavibrás Engenharia.....	58
Figura 50 - Sinalização vertical (balizamento de pista) de interdição da taxiway FOX-2.....	58
Figura 51 - Sinalização horizontal na superfície asfáltica da taxiway FOX-2.....	59
Figura 52 - Sinalização horizontal na superfície asfáltica da taxiway FOX-2.....	59
Figura 53 - Delimitação da área a ser recuperada.....	60
Figura 54 - Delimitação da área a ser recuperada.....	60
Figura 55 – Área preparada para execução dos serviços.....	61
Figura 56 - Área preparada para execução dos serviços. ....	61
Figura 57 – Equipamentos- fresadora e pá carregadeira. ....	62
Figura 58 – Fresadora. ....	63

Figura 59 – Execução de fresagem. ....	63
Figura 60 - Área fresada. ....	64
Figura 61 – Imprimação. ....	65
Figura 62 – Aplicação e compactação da primeira camada de CBUQ. ....	66
Figura 63 - Grelha de fibra de carbono embebida em betume. ....	67
Figura 64 - Aplicação de grelha de fibra de carbono. ....	67
Figura 65 - Aplicação da segunda camada de CBUQ. ....	68
Figura 66 - Compactação da segunda camada de CBUQ. ....	69
Figura 67 - Acabamento da segunda camada de CBUQ. ....	69
Figura 68 - Piso final acabado. ....	70
Figura 69 - Trecho recuperado em operação. ....	71
Figura 70 - Monitoramento de recalques no novo trecho recuperado. ....	71
Figura 71 - Monitoramento de recalques no novo trecho recuperado. ....	72
Figura 72 - Dados de monitoramento de recalque. ....	73

## **LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AITN – Aeroporto Internacional Tancredo Neves;

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil;

CFMN – Gerência de Manutenção do Aeroporto Internacional Tancredo Neves –  
Confins;

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

FAA – Federal Aviation Administration

ICAO – International Civil Aviation Organization

INFRAERO- Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária;

SAC – Secretaria de Aviação Civil.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de aviação, criada há menos de 90 anos, desenvolveu-se rapidamente e ocupa hoje uma posição de destaque no contexto mundial de produtos e serviços de alto valor agregado. Segundo Melo Filho (2008), o transporte aéreo de passageiros e de cargas, com sua capacidade de se deslocar de forma rápida e precisa, firmou-se como opção segura para o tráfego, estabelecendo uma expressiva rede de comunicação, que na atualidade cobre um amplo número de localidades e países em todos os continentes.

No Brasil, fundada em 1972, a INFRAERO tem a responsabilidade de prover infraestrutura e serviços aeroportuários e de navegação aérea, contribuindo para a integração nacional e o desenvolvimento sustentável do país. Sediada em Brasília, está presente em todos os Estados brasileiros. Ao todo são 66 aeroportos, 23 Grupamentos de Navegação Aérea e 38 Unidades Técnicas de Aeronavegação, além de 34 terminais de logística de carga, concentrando aproximadamente 97% do movimento do transporte aéreo regular do Brasil. A figura 1 ilustra a área de atuação da INFRAERO e sua posição de destaque no desenvolvimento econômico do País, principalmente nos aspectos relacionados à integração nacional em prol do desenvolvimento sustentável.

A importância da aviação civil brasileira para o nosso desenvolvimento foi demonstrada pela decisão governamental de criar um ministério próprio para gerenciar o setor, vinculado à Presidência da República, a Secretaria de Aviação Civil (SAC/PR), ao qual se vinculou igualmente a INFRAERO e a ANAC. Com a criação da SAC/PR, em março de 2011, o Governo Federal inaugurou um novo momento, não só para a atividade aeroportuária, como também para a aviação civil como um todo.

Essa nova realidade, segundo a INFRAERO, posicionou a Empresa em um novo contexto de governança. A integração dos diversos entes responsáveis pela aviação civil brasileira foi reforçada logo em seguida, com a criação da Comissão Nacional de Autoridades Aeroportuárias (CONAERO), responsável pela organização e coordenação das atividades operacionais nos aeroportos, e das Autoridades Aeroportuárias, que compreendem as companhias aéreas, a ANAC, a Receita Federal, a Secretaria de Defesa Agropecuária, a Polícia Federal, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica (DECEA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(ANVISA). A fim de permitir que esses diversos entes trabalhem de forma harmônica e integrada, para se obter além de agilidade nos processos operacionais próprios de cada um deles, uma perfeita operacionalidade dos aeroportos, a Infraero foi incumbida de ser a coordenadora desse processo em todos os aeroportos do País de sua administração.

Aliado a isto, o crescimento da economia nos últimos anos e o movimento nos aeroportos têm exigido novas soluções de engenharia e práticas operacionais mais eficazes e, é claro, mais investimentos. Segundo dados da INFRAERO de seus relatórios anuais, esse crescimento - que em 2011 atingiu cerca de 16%, com quase 180 milhões de passageiros transportados - aliado às demandas que deverão aumentar em decorrência de eventos internacionais, como a Copa das Confederações de 2013, a Copa de 2014 e as Olimpíadas de 2016 – indica um cenário de desafios.

Nesse sentido, as ações para melhorar a oferta de serviços e atender às demandas da sociedade brasileira por infraestrutura aeroportuária eficiente são imprescindíveis e passam, necessariamente, por avanços tecnológicos nos processos construtivos e de manutenção das práticas de engenharia.

Com relação ao sistema de pavimentação de aeroportos, objeto deste estudo, é válido explicitar que segundo a INFRAERO, a sua rede de aeroportos vinculados compõe um conjunto de áreas pavimentadas de pistas de pousos e decolagem, pistas de taxi e pátios de estacionamento de aeronaves com aproximadamente 10.711.589 m<sup>2</sup> de pavimento flexível e 4.474.801 m<sup>2</sup> de pavimento rígido.

A grande malha de pavimentos sejam eles rígidos ou flexíveis constituem-se, indiscutivelmente, como o principal fator que possibilita a movimentação de aeronaves e, conseqüentemente, o transporte aéreo.

Segundo definições da ICAO, Aeródromo é uma área definida em terra ou na água (incluindo quaisquer construções, instalações e equipamentos) com o propósito de ser utilizada, no todo ou em parte, para a chegada, partida e movimentação de aeronaves em sua superfície. Aeroporto, por sua vez, é todo aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves, embarque e desembarque de pessoas e cargas.

Fica claro nas próprias definições da ICAO, portanto, que o propósito principal de um aeródromo são os requisitos mínimos para a movimentação de aeronaves, ou seja, o sistema de pátios, pistas, área de manobras, dentre outras (no caso de aeródromos terrestres).

Nesse sentido e impulsionados pelo crescimento acelerado da aviação civil no Brasil, para os administradores de aeroportos, sejam eles privados, municipais, estaduais ou a grande maioria administrada pela INFRAERO, tornou-se urgente manter a segurança e a qualidade dessa grande malha de pavimentos aeroportuários, estabelecendo prioridades para as obras de manutenção e modernização de pátios e pistas e atenuando patologias decorrentes da intensa utilização desses pavimentos.

Vale ressaltar que quando da concepção e construção dos principais aeroportos brasileiros, a estimativa do crescimento da aviação civil era muito aquém do verificado atualmente. Nesse sentido, em alguns aeroportos tais como o de Confins, o sistema de pavimentos é altamente demandado, exigindo um programa de manutenção preventiva constante e, por vezes, ações corretivas que assegurem a sua operacionalidade.

# MAPA DA REDE INFRAERO



Figura 1 - Mapa da Rede INFRAERO.

(Fonte: INFRAERO)

## **2. OBJETIVOS**

Neste presente trabalho pretende-se diagnosticar as principais patologias em pavimentos asfálticos flexíveis, tendo como contextos pavimentos asfálticos aeroportuários.

### **2.1 Objetivos Gerais**

Descrição dos tipos de pavimentos, conceituação, características físicas e mecânicas associadas e as principais patologias, bem como técnicas de recuperação mais apropriadas a cada tipo de dano.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Análise do caso ocorrido no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, no qual a pista de taxiamento de aeronaves denominada FOX-2, após diagnóstico técnico que acusou avarias na estrutura de seu pavimento, precisou ser recuperada para retornar à condição segura e satisfatória de uso em relação aos aspectos normativos. Finalmente, será descrito o processo de monitoramento da eficácia do sistema de recuperação adotado bem como conclusões sobre o mesmo.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Introdução**

Pavimentar, segundo Balbo (2007), é a atividade de construção de estrutura que visa primordialmente à melhoria operacional para o tráfego, independente de sua natureza, na medida em que é criada uma superfície mais regular e mais aderente, características que permitem, respectivamente, maior conforto no deslocamento e mais segurança em condições de pista úmida ou molhada.

Com a expansão da utilização do cimento portland nas construções na segunda metade do século XIX, o concreto viria a ser utilizado na pavimentação de vias, como ocorreu em 1876 pela primeira vez em Grenoble (França). Em 1890, os pavimentos de concreto já eram utilizados na Alemanha e, a partir de 1909, nos Estados Unidos, sendo que neste país já se contava, desde o início do século XX, com uma significativa produção de asfalto derivado de petróleo por refinamento para aplicação em pavimentos.

Ainda segundo o autor, para pavimentos de aeroportos, a participação ostensiva americana na Segunda Guerra Mundial levou o país a uma supremacia no assunto de pavimentação, aliado às crescentes pesquisas da Mecânica dos Solos nos anos de 1928 e 1929. Nesta época nos Estados Unidos, foram realizadas pesquisas que permitiram definir algumas das principais causas da ruptura dos pavimentos flexíveis, apresentando então, a primeira curva empírica para dimensionamento com base em um critério de resistência ao cisalhamento do subleito indiretamente obtido pelo ensaio do California Bearing Ratio (CBR) – Índice de Suporte Califórnia. Na mesma época e local, estabelecia-se o ensaio Proctor para compactação de solos.

No Brasil, a pavimentação é domínio de conhecimento técnico com significativa defasagem de emprego em relação aos países desenvolvidos. Apenas na década de 1950, deu-se início a um vasto plano de pavimentação, inovador no Brasil, introduzindo a utilização da estabilização de solos com cimento e da estabilização granulométrica de materiais de construção viária, bem como o aproveitamento de solos granulares em pavimentos. No final desta década, um fato de significativa importância foi a criação de uma comissão técnica especial dentro do âmbito do extinto DNER, que possibilitou o

avanço das práticas e pesquisas tecnológicas concernentes à pavimentação de rodovias (Balbo, 2007).

Atualmente, a pesquisa sobre misturas asfálticas tem um completo engajamento da Petrobrás, que vem financiando maciçamente os centros de pesquisas brasileiros, contribuindo para a formação de uma equipe técnica qualificada, bem como garantindo a melhoria da qualidade das misturas asfálticas empregadas no país.

### **3.2 Conceituação de Pavimento**

Pavimento, segundo Balbo (2007), é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao custo mínimo possível, considerando diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação obrigatórios.

O pavimento é destinado econômica e simultaneamente em seu conjunto a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT NBR 7207, 1982).

Nesse sentido, de acordo com Balbo (2007), estruturalmente o pavimento deve receber, aliviar e transmitir esforços sobre as camadas inferiores, geralmente menos resistentes. Todas as peças componentes do pavimento devem trabalhar deformações compatíveis com a sua natureza e capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida dos materiais que constituem as camadas do pavimento.

### 3.3 Caracterização dos Pavimentos

O pavimento pode ser classificado e caracterizado de acordo com sua constituição principal, sejam constituídos com cimento portland, sejam constituídos à base de ligantes betuminosos.

#### 3.3.1 Pavimentos Rígidos

Segundo Horonjeff (1966), os pavimentos rígidos são constituídos basicamente por três camadas “revestimento”, “base” e “subleito”. A existência da placa de concreto praticamente absorve toda a solicitação, distribuindo-a em uma grande área. Ao chegar ao subleito, terreno em que se assenta o pavimento, seja ele resultante de corte ou aterro, a carga encontra-se suficientemente amortecida. A figura 2 ilustra seção típica de um pavimento rígido.

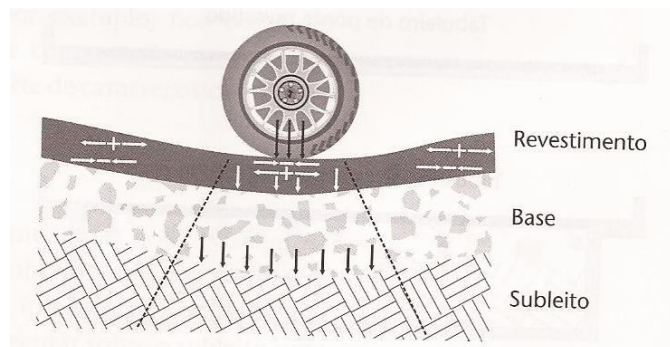


Figura 2 - Pavimento rígido - Seção típica.  
(Fonte: Balbo, 2007)

As placas de concreto de cimento portland caracterizam-se por apresentar:

- Alta rigidez;
- Alta resistência;
- Pequenas espessuras, definidas em função da resistência à flexão.

A figura 3 abaixo ilustra o pátio de aeronaves do AITN, construído em pavimento de concreto.



Figura 3 - Pátio em concreto – AITN.  
(Fonte: INFRAERO)

As placas de concreto geralmente são construídas sobre fundação preparada com material de jazida, a qual é considerada base (ou sub-base por alguns autores). A sub-base pode ser flexível ou semi-rígida e pode também possuir função drenante.

Em virtude da maior rigidez da placa de concreto em comparação aos revestimentos betuminosos, as pressões exercidas nessa fundação são muito baixas. Portanto, quanto à resistência, a qualidade exigida não precisa ser tão alta quanto àquela que caracteriza uma base (Horonjeff, 1966).

Segundo as notas de aula sobre conceitos básicos de pavimentação de Greco (2010), no caso dos pavimentos rígidos, o coeficiente de recalque da camada em que se apoia o pavimento tem influência decisiva nas tensões que se desenvolvem no concreto sob a ação das cargas aplicadas pelo tráfego de veículos. O coeficiente de recalque é a medida da rigidez do terreno, sendo definido como a pressão em  $\text{kgf/m}^2$  aplicada ao terreno capaz de produzir um recalque de 1 cm.

As placas do pavimento rígido distribuem as tensões impostas pelo carregamento de forma aproximadamente uniforme, tal como ilustrado na figura 4:

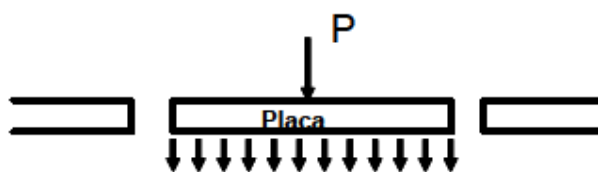


Figura 4 - Distribuição do carregamento - Pavimento Rígido.  
(Fonte: Greco)

### 3.3.2 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis são compostos por várias camadas que devem trabalhar em conjunto, cada uma delas absorvendo parte das solicitações impostas e transmitindo o restante às camadas localizadas em níveis inferiores. A figura 5 ilustra umas das pistas de taxiamento em pavimento flexível do AITN.



Figura 5 - Pavimento flexível - AITN  
(Fonte: INFRAERO)

Segundo Horonjeff (1966), as diversas camadas que podem constituir um pavimento flexível são denominadas “revestimento”, “base”, “sub-base” e “subleito”.

Complementarmente, Balbo (2007) cita ainda a camada “reforço do subleito”. A figura 6 ilustra seção típica de um pavimento flexível.

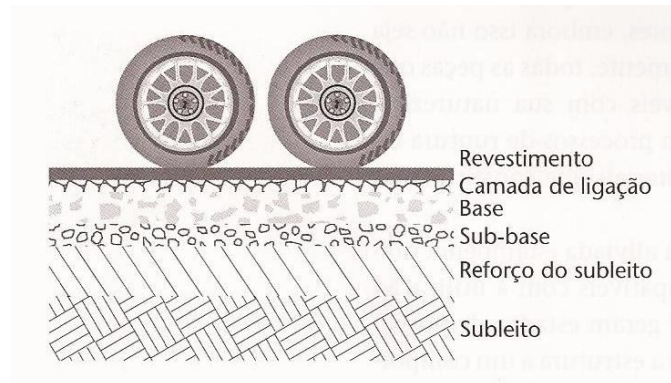


Figura 6 - Pavimento flexível - Seção típica

(Fonte: Balbo, 2007).

O revestimento consiste de mistura de material betuminoso e agregados. Suas principais funções são as de impermeabilizar a base contra a penetração das águas da superfície, protegê-la do desgaste ocasionado pelo tráfego e distribuir as cargas. (Horonjeff, 1966). A constituição do revestimento é, em geral, 90% a 95% de agregados e 5% a 10% de material betuminoso (Greco, 2010).

A base, situada imediatamente abaixo do revestimento, pode consistir de pedra britada, com tratamento ou não, ou de materiais granulares misturados com ligantes tais como asfalto ou cimento portland. A função da base, camada estruturalmente mais importante conforme Horonjeff (1966), é a de resistir a elevadas tensões de cisalhamento determinadas na superfície pelas cargas concentradas e ainda a de distribuir essas cargas às camadas subjacentes do pavimento ou do subleito.

Ainda segundo o autor, a sub-base, colocada diretamente sobre o subleito, consiste em geral de material de empréstimo selecionado, sem tratamento especial. A função da sub-base é semelhante à da base. Nem todos os pavimentos exigem uma sub-base, por outro lado, os pavimentos de grande espessura podem incluir diversas camadas a título de sub-bases, denominadas reforço do subleito. Estas se fazem necessárias quando as cargas móveis impostas pelo tráfego são muito elevadas e a capacidade de carga do subleito é baixa.

As figuras a seguir ilustram alguns materiais granulares, cimentados e outros empregados em bases, sub-bases ou reforços de pavimentos (rígidos ou flexíveis).



Figura 7 - Materiais granulares usados em bases, sub-bases ou reforços – Rachão e bica corrida.  
(Fonte: Bernucci et.al., 2007)



Figura 8 - Solos e solos agregados usados em bases, sub-bases ou reforços – Solo-brita.  
(Fonte: Bernucci et.al., 2007)



Figura 9 - Materiais cimentados usados em bases, sub-bases ou reforços – Solo cimento e brita tratada com solo cimento.  
(Fonte: Bernucci et.al., 2007)



Figura 10 - Materiais reciclados usados em bases, sub-bases ou reforços – Resíduos de construção civil e escória de aciaria.

(Fonte: Bernucci et.al., 2007).

A distribuição de carga num pavimento flexível é tal como ilustrado na figura 11, que mostra a distribuição de cargas através da base:

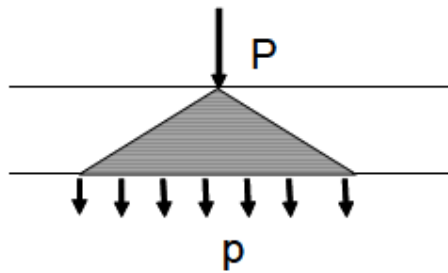


Figura 11 - Distribuição do carregamento - Pavimento flexível.

(Fonte: Greco, 2010)

### Materiais betuminosos para pavimentação

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O uso em pavimentação é um dos mais importantes e, na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resiste à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos (Bernucci et. al., 2007).



Ainda segundo os autores, as seguintes definições e conceituações são empregadas com referência ao material:

- Betume: definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono;
- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo ainda conter outros componentes como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção;
- Alcatrão: é uma designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, que se obtém da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira, etc.

O alcatrão praticamente não é mais utilizado em pavimentação desde que se determinou o seu poder cancerígeno. Além disso, apresenta pouca homogeneidade e baixa qualidade para ser utilizado como ligante em pavimentação. Atualmente há a total predominância do ligante proveniente do petróleo na pavimentação, com o abandono do alcatrão. Dessa forma fica aceitável a utilização dos termos betume e asfalto como sinônimos

Os principais materiais betuminosos utilizados em pavimentação segundo Bernucci et. al. (2007) são:

#### 1. Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP)

A obtenção de asfalto é realizada através da destilação de tipos específicos de petróleo, na qual as frações leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas no refino. O produto resultante deste processo passa a ser chamado de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). São semi-sólidos à temperatura ambiente, necessitando de aquecimento para adquirir consistência adequada para utilização.

Os CAP's são constituídos por 90 a 95% de hidrocarbonetos e por 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes.

Todas as propriedades físicas do asfalto estão associadas à sua temperatura. O modelo estrutural do ligante como uma dispersão de moléculas polares em meio não-polar ajuda a entender o efeito da temperatura nos ligantes asfálticos Segundo Bernucci et. al. (2007), em temperaturas muito baixas, as moléculas não têm condições de se mover umas em relação às outras e a viscosidade fica muito elevada; nessa situação o ligante se comporta quase como um sólido. À medida que a temperatura aumenta, algumas moléculas começam a se mover podendo mesmo haver um fluxo entre as moléculas. O aumento do movimento faz baixar a viscosidade e, em temperaturas altas, o ligante se comporta como um líquido. Essa transição é reversível.

Um dos critérios mais utilizados de classificação dos ligantes é a avaliação da sua suscetibilidade térmica, por algum ensaio que meça direta ou indiretamente sua consistência ou viscosidade em diferentes temperaturas. Portanto, todos os ensaios realizados para medir as propriedades físicas dos ligantes asfálticos têm temperatura especificada e alguns também definem o tempo e a velocidade de carregamento, visto que o asfalto é um material termoviscoelástico (Bernucci et. al., 2007).

## 2. Asfalto Modificado por Polímero

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sobre as condições climáticas. No entanto, para condições de volume e peso por eixo crescente como no caso de aeroportos, e para condições adversas de temperatura, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades do asfalto, tais como polímeros que melhoram o desempenho do ligante (Bernucci et.al., 2007).

Para que a modificação do ligante seja técnica e economicamente viável, é necessário que o polímero seja resistente à degradação nas temperaturas usuais de utilização do asfalto, misture-se adequadamente ao CAP, melhore as características de fluidez do asfalto a altas temperaturas, sem que o ligante fique muito viscoso no processo de mistura e espalhamento, nem tão rígido ou quebradiço a baixas temperaturas.

Ainda segundo os autores, o uso de asfaltos modificados por polímeros pode reduzir a frequência de manutenção e aumentar a vida útil de pavimentos de locais de difícil acesso ou de custo muito elevado de interrupção de tráfego, como o caso de aeroportos.

### 3. Emulsões Asfálticas de Petróleo (EAP)

Para que o CAP possa recobrir convenientemente os agregados é necessária uma viscosidade tal que só será atingida por aquecimento do ligante e do agregado a temperaturas previamente escolhidas para cada tipo de ligante. Para evitar o aquecimento do CAP a fim de se obter a viscosidade de trabalho nos serviços de pavimentação é possível emulsionar o asfalto.

Segundo Bernucci et. al. (2007), uma emulsão é definida como uma dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis, neste caso água e asfalto. É composta de cimento asfáltico de petróleo (CAP), água, agente emulsificante (catalisador) e energia de dispersão da fase asfáltica na fase aquosa, energia mecânica por exemplo.

As emulsões asfálticas podem ser classificadas de acordo com a estabilidade, ou tempo de ruptura, fenômeno que ocorre quando os glóbulos de asfalto dispersos em água, em contato com o agregado mineral, sofrem uma ionização por parte deste, dando origem à formação de um composto insolúvel em água que se precipitará sobre o agregado:

- Ruptura rápida (RR): pintura de ligação, imprimação, tratamentos superficiais, macadame betuminoso;
- Ruptura média (RM): pré-misturados a frio;
- Ruptura lenta (RL): estabilização de solos e preparo de lama asfáltica (Bernucci et. al., 2007).

### 4. Asfaltos Diluídos (ADP)

Os asfaltos diluídos, também conhecidos como asfaltos recortados ou “cutbacks”, resultam da diluição do cimento asfáltico por destilados de petróleo. Os diluentes

proporcionam produtos menos viscosos que podem ser aplicados a temperaturas mais baixas e devem evaporar totalmente, deixando como resíduo o CAP.

O fenômeno de evaporação do diluente denomina-se cura e nesse sentido, são classificados de acordo com a velocidade de cura em três categorias: cura rápida (CR), cura média (CM) e cura lenta (CL), sendo que os asfaltos diluídos de cura lenta não são produzidos no Brasil. (Bernucci et. al., 2007).

#### Tipos de revestimentos de pavimentos flexíveis

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, e ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local (Bernucci et. al., 2007). A figura 12 ilustra um pavimento com camada única de revestimento asfáltico.



Figura 12 - Estrutura de pavimento com revestimento asfáltico.

(Bernucci et. al., 2007)

O material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparada na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são também identificados quanto ao tipo de ligante: a quente com o uso de CAP ou a

frio com o uso de EAP. As misturas usinadas podem ser separadas quanto à distribuição granulométrica em: densas, abertas, contínuas e descontínuas. A figura 13 mostra exemplos de composições de agregados de diferentes graduações.

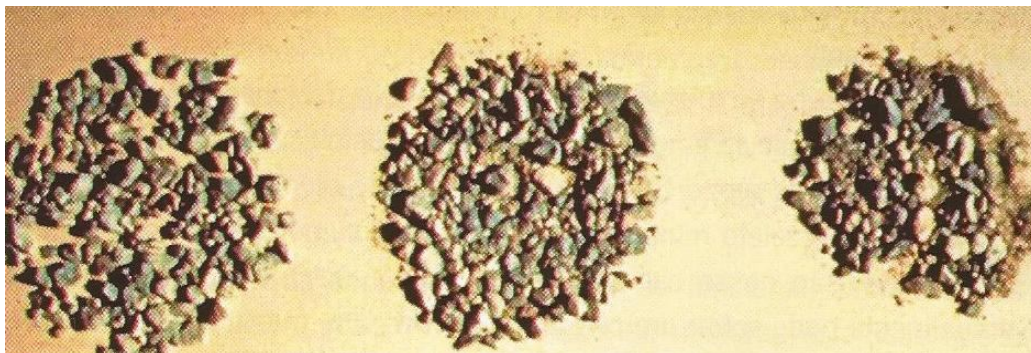


Figura 13 - Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente – (a) aberta, (b) descontínua e (c) densa ou bem graduada.

(Bernucci et. al., 2007)

Ainda segundo os autores, em casos de recomposição da capacidade estrutural, além dos tipos descritos, é possível ainda citar outros tipos de misturas asfálticas que se processam em usinas móveis especiais que promovem a mistura agregados-ligante imediatamente antes da colocação no pavimento, podendo ser separadas em misturas novas relativamente fluidas (lama asfáltica e microrrevestimento) e misturas recicladas com uso de fresadoras-recicladoras. Cada uma dessas misturas tem requisitos próprios de dosagem e atendem a certa finalidade, sempre associada a espessuras calculadas em função do tráfego e do tipo de materiais existentes nas outras camadas.

Nesse sentido, os requisitos técnicos e de qualidade de um pavimento asfáltico serão atendidos com um projeto adequado da estrutura do pavimento e com o projeto de dosagem da mistura asfáltica compatível com as outras camadas escolhidas (Bernucci et. al., 2007). A seguir, são descritos os principais tipos de revestimentos utilizados no Brasil:

#### 1. Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ):

Mistura executada a quente em usina apropriada, com características específicas, composta por agregados minerais graduados, material de enchimento (fíler) e ligante

betuminoso, espalhada e compactada a quente no local. A figura 14 ilustra exemplos de varias frações de agregados e fíler que compõem um concreto asfáltico.



Figura 14 - Exemplo de várias frações de agregados e fíler que compõem um concreto asfáltico.  
(Bernucci et. al., 2007)

Já a figura 15 ilustra corpo de prova extraído de pista revelando diversas camadas do revestimento asfáltico:



Figura 15 - Camadas de um revestimento asfáltico.  
(Bernucci et. al., 2007)

## 2. Pré-misturado a quente:

Quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.

### 3. Pré-misturado a frio:

A mistura é executada à temperatura ambiente em usina apropriada, composta por agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e emulsão asfáltica, espalhada e compactada a frio.

### 4. Areia asfalto a quente:

Mistura executada a quente, em usina apropriada, de agregado miúdo, material de enchimento (fíler) e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

### 5. Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero:

Consiste na associação de agregado miúdo, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica modificada por polímero, água e aditivos se necessário, com consistência fluida, uniformemente espalhada e compactada a frio. Os agregados podem ser areia, pó de pedra ou ambos. A figura 16 ilustra a aplicação de lama asfáltica na recuperação de pavimentos.



Figura 16 - Exemplo de aplicação de lama asfáltica em trecho de via urbana.

(Bernucci et. al., 2007)

### 6. Revestimentos betuminosos - Tratamentos superficiais:

Camada(s) de revestimento do pavimento constituída de aplicações sucessivas de ligante betuminoso coberta por camada de agregado mineral, submetida à compressão. A figura 17 ilustra as etapas sucessivas de um tratamento superficial.



Figura 17 - Etapas sucessivas de um tratamento superficial simples.

(Bernucci et. al., 2007)

### 3.4 Manutenção em Pavimentos

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o objetivo maior do pavimento é atender, adequadamente às suas funções básicas. Por este motivo ele deve ser concebido, projetado, construído e conservado de forma a apresentar, invariavelmente, níveis de serventia compatíveis e homogêneos, em toda a sua extensão, os quais são normalmente avaliados através da apreciação de três características gerais de desempenho: a segurança, o conforto e a economia (de manutenção, operação e segurança). Assim, a manutenção do pavimento se constitui no conjunto de operações que são desenvolvidas objetivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos as características gerais de desempenho, considerando todos os componentes do pavimento.

É válido acrescentar, segundo Balbo (2007), que os materiais de construção, no decorrer de sua vida útil de serviço, apresentam processos de danificação e



deterioração (degradação) inevitáveis que, paulatinamente, implicam a alteração de suas propriedades mecânicas, ou seja, aquelas que governam seu comportamento sob ações de diversas naturezas. Tal fato se traduz nos materiais de camadas de pavimentos, sendo sua degradação motivada por cargas de veículos, produtos químicos e ações ambientais como temperatura, umidades, etc.

Nesse sentido, com o objetivo de unificar as terminologias de manutenção em pavimentos, o DNIT (2006), apresenta algumas definições relativas às principais atividades e problemas típicos de conservação:

#### 1. Conservação

É o conjunto de operações preventivas ou corretivas destinadas a manter as características técnicas e operacionais da rodovia, até que tais operações se tornem antieconômicas.

#### 2. Remendos

É o conjunto de operações destinadas a corrigir manifestações de ruína específicas, ocorrentes no nível de revestimento betuminoso e em alguns casos extremos, atingindo frações da camada de base. Tais operações são bem definidas e de pequeno porte.

#### 3. Recuperação superficial (recargas)

É o conjunto de operações destinadas a corrigir falhas superficiais, tais como fissuração, desagregação, polimento das asperezas (rugosidade), desgaste (perda de agregados), exsudação e, eventualmente, também pequenas deficiências da geometria transversal do pavimento. Trata-se de recapeamentos com delgadas espessuras (2,5 cm aproximadamente), não apresentando, por conseguinte, efeito estrutural próprio.

#### 4. Reforço estrutural

É o conjunto de operações destinadas, fundamentalmente, a aumentar a capacidade estrutural do pavimento. Este objetivo é alcançado normalmente pela sobreposição de

uma ou mais camadas, as quais responderão ainda pela correção de deficiências superficiais (degradações e deformações) existentes.

#### 5. Restauração

É o conjunto de operações destinadas a restabelecer o perfeito funcionamento do pavimento. Processa-se normalmente pela substituição e/ou reconfecção de uma ou mais camadas existentes, complementadas por outras que deverão conferir ao pavimento o aporte de capacidade estrutural de um bem deteriorado ou avariado, e restabelecer, na íntegra, suas características originais.

#### 6. Melhoramentos

É o conjunto de operações que acrescentam ao pavimento características novas, ou que modifica as características existentes.

#### 7. Ações emergenciais

É o conjunto de ações a serem empreendidas em caráter excepcional e que caracterize uma emergência – com as finalidades de eliminar o risco real ou potencial à vida humana ou ao patrimônio público, ou então, de restabelecer as condições mínimas necessárias ao fluxo de tráfego de uma rodovia, interrompida ou na iminência de interromper, devido a manifestações de ruína e/ou colapso repentino.

A seguir, são descritas as principais patologias em pavimentos rígidos e flexíveis que demandam manutenção, monitoramento e intervenções.

### **3.4.1 Patologias em Pavimentos Rígidos**

Segundo Silva (2008), as patologias em pavimentos com comportamento rígido podem ser estruturais ou funcionais.

As patologias estruturais são aquelas que afetam a capacidade do pavimento em suportar as cargas do tráfego. As trincas transversais e a interseção de trincas são

exemplos destas patologias. As causas mais comuns de trincas são, dentre outros fatores: corte pouco profundo, atraso na serragem ou corte das juntas, desalinhamento das barras de transferência, reflexão de trincas do concreto compactado com rolo, restrição da sub-base, recalque da fundação e reação álcali-agregado.

Há alguns agregados (areia e brita) que na presença de elevados teores de álcalis do cimento ( $K_2O$ ,  $Na_2O$ ) geram uma reação expansiva, desde que a umidade relativa seja superior a 80%. Esta reação é denominada Álcali-Agregado e pode ser do tipo álcali-silica (agregado com sílica reativa) ou álcali-carbonato (rochas carbonáticas). As figuras a seguir ilustram os diversos tipos de patologias tal como descrição acima:



Figura 18 - Trinca longitudinal - Corte pouco profundo.  
(Silva, 2008)



Figura 19 - Trinca Diagonal - Atraso no corte das juntas.  
(Silva, 2008)



Figura 20 - Trinca transversal - Desalinhamento das barras.  
(Silva, 2008)

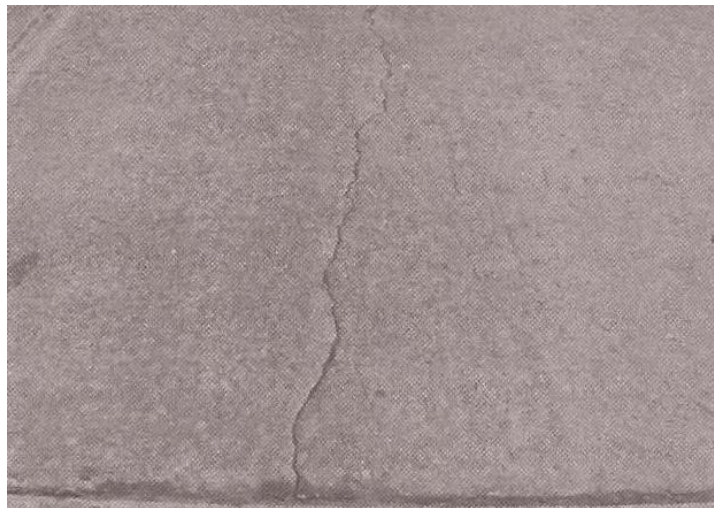


Figura 21 - Recalque de fundação.  
(Silva, 2008)

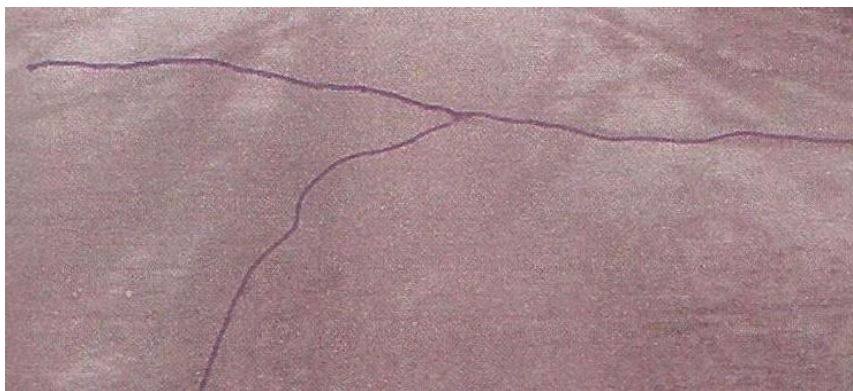


Figura 22 - Trinca em Y - Aderência concreto/sub-base.  
(Silva, 2008)

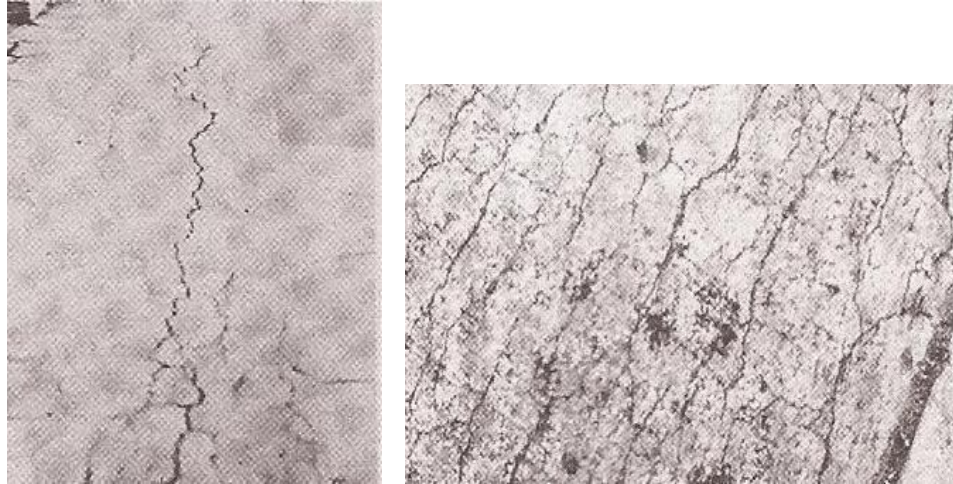


Figura 23 - Reação álcali-agregado.  
(Silva, 2008)

As patologias funcionais, por sua vez, são aquelas que afetam a segurança e a operacionalidade do pavimento. A rugosidade, o polimento da superfície, ruído e os defeitos de superfície são exemplos destas patologias, que não se estendem por toda a espessura da placa e em geral se situam no máximo no terço médio superior da espessura da placa de concreto (Silva, 2008). As figuras 24 e 25 apresentam algumas patologias, devido a erros executivos, de projeto e reparos mal executados.



Figura 24 - Trincas transversais nas placas de concreto.  
(Silva, 2008)

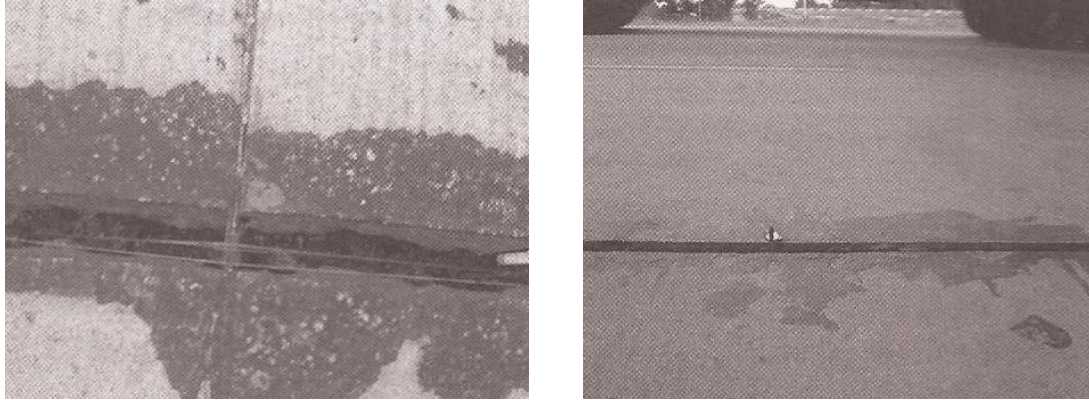


Figura 25 - Juntas de dilatação abertas com selante rompido.  
(Silva, 2008)

### 3.4.2 Patologias em Pavimentos Flexíveis

Segundo Greco (2010), a avaliação do desempenho estrutural de pavimentos flexíveis deve considerar:

Deformações plásticas ou permanentes: podem ser identificadas pela formação de depressões longitudinais ao longo das trilhas de rodagem, geralmente acompanhadas por elevações laterais. As deformações permanentes ocorrem devido à ação combinada de compressão e deformação por cisalhamento dos materiais constituintes das diversas camadas do pavimento, incluindo o subleito.

Deformações elásticas ou resilientes: São ocasionadas pela repetição das cargas, que gera as trincas por fadiga. Em condições normais, a camada de concreto asfáltico tende a voltar a sua posição original após o término do carregamento, recuperando parte considerável da deformação sofrida. Entretanto, quando ocorrem deformações cíclicas sob cargas repetidas, o concreto asfáltico sofre o fenômeno de fadiga.

Para a classificação dos defeitos em pavimentos flexíveis, utiliza-se a norma DNIT 005/2003, e Bernucci et. al. (2007) cita como sendo alguns dos principais defeitos: fendas (F), afundamentos (A), corrugação e ondulações transversais (O), exsudação (EX), desgaste ou desagregação (D), panela ou buraco (P) e remendos (R).

As fendas são aberturas na superfície asfáltica e podem ser classificadas como fissuras, quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior à 1,5m, ou como trincas, quando a abertura é superior à da fissura.

Os afundamentos são derivados de deformações permanentes sejam do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito. Os afundamentos podem ser classificados como por consolidação, quando as depressões ocorrem por densificação diferencial ou afundamentos plásticos, quando as depressões são decorrentes principalmente da fluência do revestimento asfáltico.

As corrugações são deformações transversais ao eixo da pista, em geral compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros. As ondulações são também deformações transversais ao eixo da pista, em geral decorrentes da consolidação diferencial do subleito, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda entre cristas da ordem de metros.

A exsudação é caracterizada pelo surgimento de ligante em abundância na superfície, como manchas escurecidas, decorrente em geral do excesso do mesmo na massa asfáltica.

O desgaste ou ainda desagregação decorre do desprendimento de agregados da superfície ou ainda da perda de mastique junto aos agregados.

A panela ou buraco é uma cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes.

Finalmente, o remendo é um tipo de defeito que apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície, caracteriza-se pelo preenchimento de painéis ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica. As figuras a seguir ilustram alguns exemplos de defeitos e possíveis causas.



Figura 26 - Trincas longitudinais causadas principalmente pelo envelhecimento do ligante asfáltico.

(Bernucci, 2007)

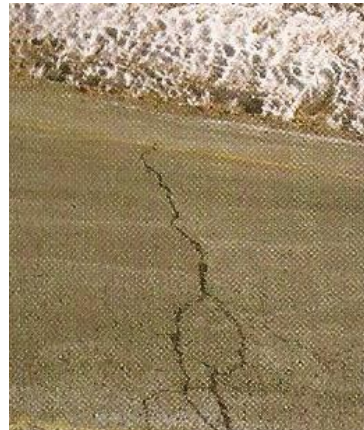


Figura 27 - Trincas de retração.

(Bernucci, 2007)



Figura 28 - (a) Afundamento plástico e (b) afundamento por consolidação localizado.

(Bernucci, 2007)





Figura 29 - Escorregamento de massa asfáltica por fluência decorrente do excesso de ligante.  
(Bernucci, 2007)



Figura 30 – Corrugação devido ao excesso de massa asfáltica ocorrente em áreas de aceleração e desaceleração.  
(Bernucci, 2007)



Figura 31 – Exsudação.  
(Bernucci, 2007)



Figura 32 - (a) Desgaste e (b) desagregação decorrentes da falta de aderência ligante-agregado ou da presença de água nos vazios das camadas.  
(Bernucci, 2007)



Figura 33 - Panelas causadas por deficiências na compactação, umidade excessiva nas camadas inferiores ou segregação.  
(Bernucci, 2007)



Figura 34 – Remendos (a) mal executado e (b) bem executado.  
(Bernucci, 2007)

### 3.5 Pavimentos em Aeroportos

Pavimentos de aeródromos e de rodovias têm alguns pontos em comum, dentro dos princípios gerais a que os dois se destinam. Porém, várias distinções fundamentais existem entre os dois tipos de pavimentos. Destacam-se entre elas a magnitude da carga aplicada, pressão e largura dos pneus, configurações dos trens de pouso, posicionamento do centro de gravidade da aeronave, seção geométrica e estrutura do pavimento e finalmente, mas não menos importante, o número de repetições de carga aplicada praticamente nas mesmas seções do pavimento.

A figura 35 ilustra os principais tipos de trens de pouso das aeronaves, já a figura 36 mostra a distribuição do peso ao longo do trem de pouso (Goldner, 2010).

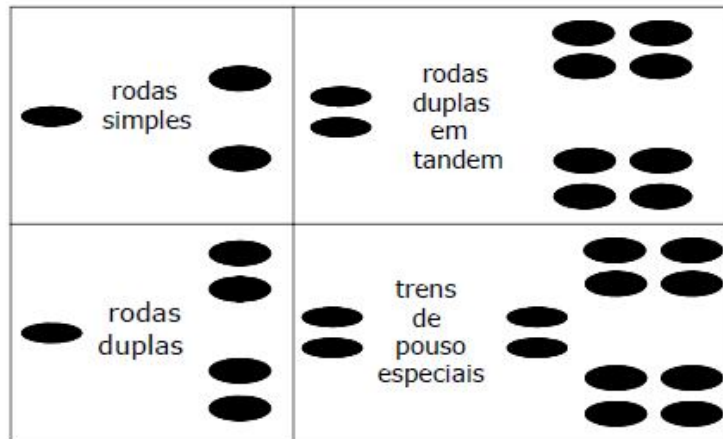


Figura 35 - Tipos de trens de pouso.  
(Goldner, 2010)

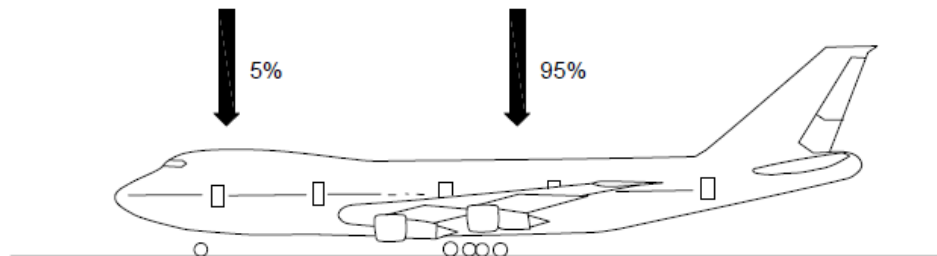


Figura 36 - Distribuição do carregamento em aeronave: 95% do peso bruto da aeronave é carregado pelo trem de pouso principal.  
(Goldner, 2010)

Segundo a FAA (1995), os pavimentos em aeroportos são planejados, projetados e construídos para suportar as cargas impostas por aeronaves e permitir seu deslocamento de forma adequada e segura nas áreas de pátio, pistas e interseções. Estes pavimentos devem apresentar bom desempenho e resistir às intempéries climáticas, aos impactos dos gases do escoamento dos motores; devem garantir superfície firme, estável, regular, livre de materiais e partículas que possam ser expelidas ou captadas pelo deslocamento de ar. Essencialmente, devem garantir superfícies não escorregadias diante de quaisquer condições meteorológicas adversas.

A escolha do tipo de pavimento a ser utilizado nas diversas áreas que compõem os sistemas de pistas e pátios de um aeródromo leva em consideração razões de ordem técnica e econômica. Desse modo, a tendência em aeroportos é usar pavimento flexível nas áreas destinadas ao pouso e ao rolamento das aeronaves, ou seja, pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi e, devido a uma maior resistência química do concreto-cimento a combustíveis, óleos e lubrificantes, geralmente usa-se pavimento rígido nos pátios, nas áreas de hangares e de estacionamento de aeronaves (Fonseca, 1990).

Segundo a ANAC (2008), o Brasil, como um país membro da ICAO, deve respeitar os padrões e práticas recomendadas constantes nos Anexos à Convenção Internacional de Aviação Civil e documentos complementares. O Anexo 14 à referida Convenção exige que cada país membro publique anualmente (e quando houver modificações significativas) informações sobre as características dos pavimentos de todos os aeroportos públicos em suas Publicações de Informações Aeronáuticas.

Diante todo o exposto neste presente trabalho, ficam evidente as exigências para a elaboração e execução de projetos de engenharia na área de pavimentação, especialmente pavimentação aeroportuária. Conforme já explicitado anteriormente, em alguns aeroportos tais como o AITN, o sistema de pavimentos é altamente demandado, exigindo um programa de manutenção preventiva constante e, por vezes, ações corretivas que assegurem a sua operacionalidade.

Nesse sentido, e com base na revisão da bibliografia sobre o tema pavimentos e suas patologias, será estudado o caso da manutenção ocorrida no pavimento da pista de taxiamento de aeronaves denominada FOX-2, no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins-MG. Após diagnóstico técnico que acusou avarias na estrutura de seu pavimento, a pista precisou ser recuperada para retornar à condição segura e satisfatória de uso em relação aos aspectos normativos.

#### 4. ESTUDO DE CASO

No ano de 2010, a INFRAERO deu início ao processo para recuperação das avarias encontradas em uma das pistas de taxiamento de aeronaves do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, denominada FOX-2. Este processo constituiu-se na contratação de empresa especializada para realizar diagnóstico global dos subsistemas de pavimentação do aeroporto, incluindo os resultados das pistas, vias de passagem (pistas de taxi) e pátios, bem como na contratação de empresa especializada para a recuperação do pavimento.

A foto 36 ilustra parte da área de pátios e pistas do AITN.

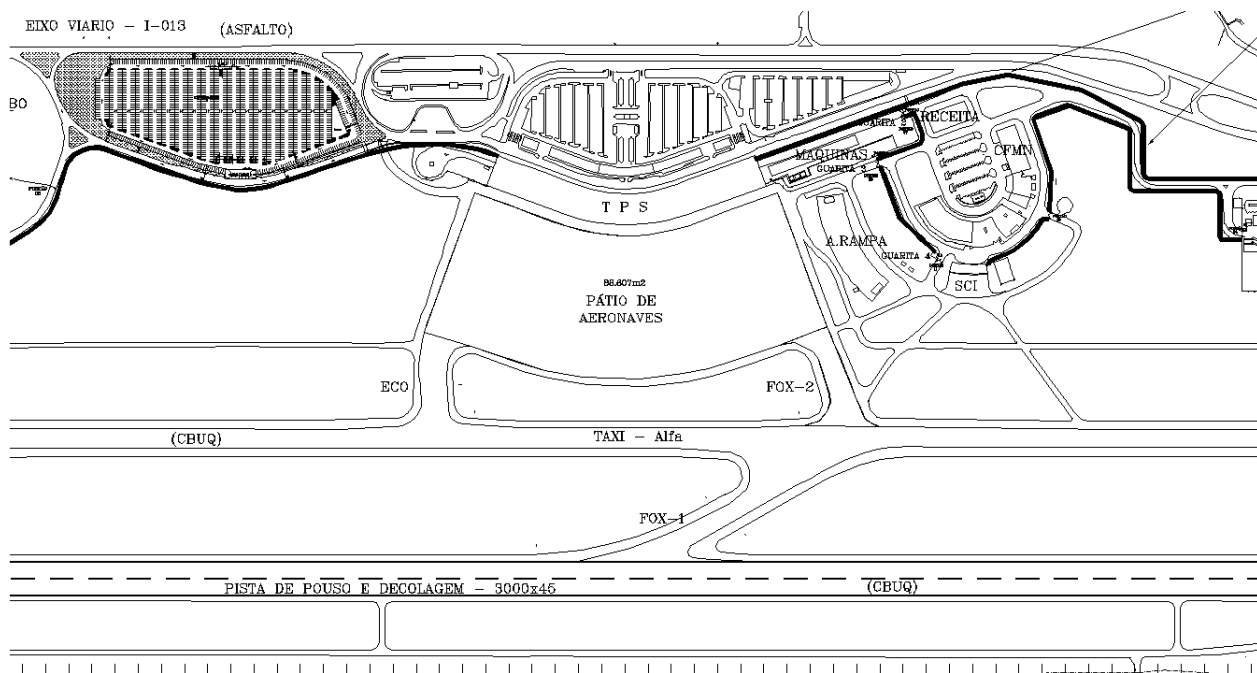


Figura 37 - Pistas e Pátio AITN.

(Fonte: INFRAERO)

#### 4.1 Diagnóstico

O diagnóstico para o subsistema de pavimentação foi elaborado pela STRATA ENGENHARIA e procurou avaliar a condição estrutural, irregularidades, texturas e outros fatores técnicos das pistas de taxis, pista de pouso de decolagem e pátio de manobras do AITN.

#### 4.1.1 Avaliação das Características Funcionais

Segundo o diagnóstico, de forma geral, os pavimentos existentes externavam um baixo índice de degradação superficial ao longo das áreas avaliadas, com exceção de alguns pontos localizados que apresentavam trincas interligadas, remendos emergenciais e também afundamentos ou depressões, como é o caso da pista FOX-2.

Os trincamentos observados nos pavimentos flexíveis eram na quase totalidade dos casos, incipientes e isolados, sem indícios de que podiam sofrer evolução repentina. Foi observado que as placas de concreto apresentavam somente desgaste superficial e fissuras de canto, que podiam ser recuperadas com intervenções típicas de manutenção, o que já havia sendo feito pela equipe da CFMN.

No entanto, na pista de taxi denominada FOX-2, foi encontrado um problema que mereceu maior atenção. Em área de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>, foi verificada depressão no pavimento que acarretou em ocorrência de fissuração, com predominância marcante nas fissuras em bloco, as quais externavam erosões acentuadas em suas bordas. A figura 38 ilustra a depressão encontrada.



Figura 38 - Depressão e trincamento – Pista FOX-2 AITN.

(Fonte: INFRAERO)

Das análises efetuadas, conclui-se que o padrão de trincamento refletia a ruína completa das camadas asfálticas pelo processo de fadiga, haja vista que este fenômeno se caracteriza, em seu estágio terminal, pela formação de uma malha composta por blocos irregulares. Este padrão de trincamento pode propiciar a penetração de águas pluviais, as quais em elevado percentual ficam retidas na superfície das camadas mais impermeáveis, afogando frações importantes da camada superior.

Ainda segundo a STRATA, a água retida, por se tratar de um líquido incompressível, não acumula qualquer energia recebida, ou seja, dissipa-a imediatamente através do bombardeio hidrodinâmico às superfícies que compõem sua câmara de retenção. O esforço por ela embutido tem, portanto, magnitude similar àquela imposta pelas cargas do tráfego. Neste sentido, deu-se origem ao fenômeno denominado “bombeamento”, o qual responde pela ação hidrodinâmica exercida pela água retida quando da aproximação e afastamento de uma carga móvel atuante nesta superfície, como uma aeronave por exemplo.

Em sua fase inicial, o bombeamento se processa apenas com a água pura de infiltração, sendo que os esforços de compressão e sucção da água no interior das camadas passam despercebidos ante a acuidade visual. Contudo, com a intermitência e a potência das cargas aplicadas a aeronaves e a magnitude formidável dos esforços por elas impingidos à água retida, o fenômeno de bombeamento começa a promover, concomitantemente, a desagregação superficial da camada subjacente e o “stripping” dos agregados das camadas betuminosas, que após serem bombardeados algumas milhões de vezes são submetidos a um processo de “descascamento”.

No âmbito das demais desagregações de caráter funcional, mereceu destaque apenas o desgaste superficial experimentado pela camada de desgaste existente, resultado da ação consorciada dos efeitos abrasivos das cargas do tráfego e dos processos de envelhecimento dos ligantes asfáltico de constituição, notadamente daqueles referentes à oxidação e volatilização do asfalto base de constituição. O quadro da figura 39 ilustra as condições funcionais e superficiais dos pavimentos diagnosticados da AITN.



<b>Resumo das Condições Funcionais e Estruturais do Pavimento</b> <b>Aeroporto Internacional Tancredo Neves</b> <b>Características Superficiais - Pavimentos Flexíveis</b>			
<b>Local</b>	<b>Conceito</b>	<b>Nota ou Valor</b>	<b>Observações</b>
Pista de Pouso	Excelente	5,0	Alguns pontos isolados de trincamento Classe 1 com alguma ondulação
Pista de Taxi	Bom	4,2	Uma faixa com trincamento Classe 2 em sua extensão e outras em pontos isolados, além de desgastes e remendos.
Taxi Alfa	Excelente	4,7	PAVIMENTO RÍGIDO - Com algumas placas apresentando desgastes superficiais, fissuras linear e de canto.
Taxi Bravo	Excelente	4,9	PAVIMENTO RÍGIDO - Com algumas placas apresentando desgastes e fissuras de canto.
Taxi Charlie-1	Excelente	5,0	Alguns pontos de desgastes.
Taxi Charlie-2	Excelente	5,0	Alguns pontos isolados de trincamento Classe 1, desgaste e ondulação.
Taxi Eco	Excelente	5,0	Alguns pontos com trincamento Classe 1 e desgaste.
Taxi Fox-1	Excelente	5,0	Alguns pontos com trincamento Classe 1, desgaste e ondulação. Ponto isolado com remendo.
Taxi Fox-2	Bom	3,8	Pontos isolados com trincamento Classe 1, desgaste e ondulação.
Taxi Hotel	Excelente	4,9	Alguns pontos com trincamento Classe 1, desgaste e ondulação. Pontos isolados com remendos.
Taxi Juliete	Excelente	5,0	Duas faixas com trincamento Classe 1 em sua extensão, as outras apenas com pontos isolados com alguma ondulação ou desgaste.
Taxi Lima	Excelente	5,0	Quatro faixas com trincamento Classe 1 em sua extensão, as outras apenas com pontos isolados com algum desgaste.
Pátio do Terminal de Passageiros	Excelente	4,9	PAVIMENTO RÍGIDO - Com pontos de desgastes e alguns locais isolados de fissuras isoladas lineares e pequenos reparos.
Pátio AVG	Excelente	5,0	Quatro faixas com trincamento Classe 1 em sua extensão, as outras apenas com pontos isolados com algum desgaste ou remendo.
Pátio TECA	Excelente	4,8	PAVIMENTO RÍGIDO - Desgastes superficiais, alguns pequenos reparos e defeitos de selagem nas juntas, pontos de fissuras.
Via de Passagem para TECA	Bom	4,2	Uma faixa com trincamento classe 2 em sua extensão e outra apenas em pontos isolados, de trinca Classe 1 e ondulação.
Acostamento TECA	Excelente	5,0	Uma faixa com trincamento Classe1 em sua extensão e outras em pontos isolados com algum desgaste e remendo.

Figura 39 - Resumo das Condições Funcionais do Pavimento.

(Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

#### 4.1.2 Avaliação das Características Estruturais

O diagnóstico da STRATA Engenharia permitiu avaliar também as condições estruturais compostas pelo sistema pavimento-solo de fundação através da análise combinada da estrutura física do sistema estratificado, da análise da natureza dos materiais constituintes e das condições de deformabilidade elástica avaliadas através do uso do equipamento *Falling Weight Deflectometer – FWD*.

O FWD é um deflectômetro de impacto que impõe ao pavimento um carregamento dinâmico, promovido através da aplicação de uma força transiente desenvolvida no impacto provocado por um peso que, após ser elevado a uma determinada altura, é liberado sobre uma placa circular de dimensões representativas das cargas solicitantes; a força transiente pode ser seleccionada, seja pela alteração da massa, seja pela altura da queda. O funcionamento e maiores detalhes deste equipamento não são objeto deste estudo, mas de qualquer maneira a figura 40 mostra esquematicamente um modelo do equipamento FWD e as linhas de influência (bacia de deformação) do pavimento analisado.

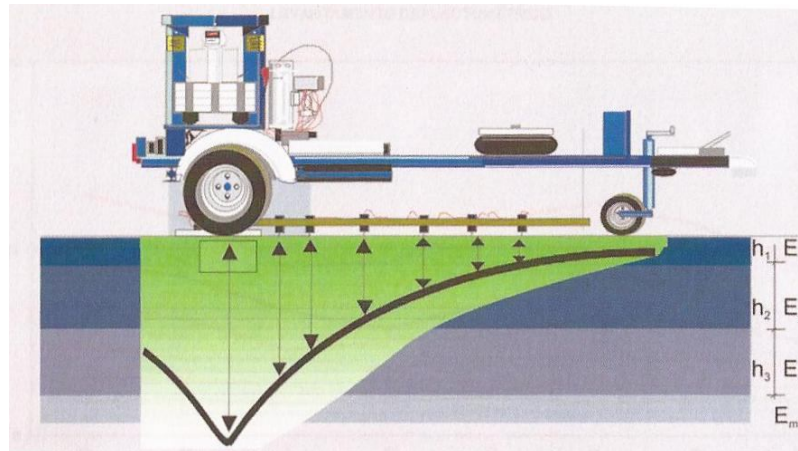


Figura 40 - Representação esquemática das linhas de influência do FWD.

(Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

Sob este aspecto não foram detectadas anomalias importantes. Os pavimentos apresentavam desempenho satisfatório e não houve indícios de inadequação de estruturas, com exceção da pista de taxi FOX-2 que apresentou a depressão com trincamento do revestimento devido à ruptura das camadas granulares e do pátio da Terminal de Aviação Geral – AVG, que apresentou valores mais elevados de deflexão,

porém sem chegar a patamares que pudessem por si só indicar problemas graves nas estruturas. O quadro da figura 41 ilustra a condição estrutural dos pavimentos diagnosticados no AITN.

Resumo das Condições Funcionais e Estruturais do Pavimento Aeroporto Internacional Tancredo Neves Características Estruturais - Pavimentos Flexíveis			
Local	Conceito	Nota ou Valor	Observações
Pista de Pouso	Bom	4,5	
Pista de Taxi	Bom	3,5	
Taxi Alfa	Bom	4,0	
Taxi Bravo	Bom	3,8	
Taxi Charlie-1	Excelente	5,0	
Taxi Charlie-2	Bom	3,9	
Taxi Eco	Excelente	4,7	
Taxi Fox-1	Bom	4,0	
Taxi Fox-2	Bom	3,9	Existe um problema localizado na junção do pavimento flexível com o pavimento rígido do pátio principal, onde houve ruptura das camadas granulares com consequente aumento da deflexão.
Taxi Hotel	Excelente	4,6	
Taxi Juliete	Bom	4,1	
Taxi Lima	Bom	4,4	
Pátio do Terminal de Passageiros	Bom	4,0	PAVIMENTO RÍGIDO
Pátio AVG	Regular	3,2	PAVIMENTO RÍGIDO
Pátio TECA	Bom	4,0	PAVIMENTO RÍGIDO
Via de Passagem para TECA	Excelente	4,5	
Acostamento TECA	Bom	4,1	

Figura 41 - Resumo das Condições Estruturais do Pavimento.

(Fonte: STRATA Engenharia e INFRAERO)

Com relação especificamente à pista de taxiamento FOX-2, objeto deste estudo, além do *Falling Weight Deflectometer* – FWD, foram analisadas também as imagens da estrutura existente obtidas através do *Ground Penetration Radar* – GPR.

O GPR, através da propagação de ondas eletromagnéticas, permite a prospecção e o conhecimento das camadas do pavimento, de forma não destrutiva. Sua aplicação abrange as principais atividades:

- Identificação das espessuras das camadas do pavimento;
- Verificação das condições dos materiais das camadas;
- Investigação da presença de vazios nas camadas constituintes do pavimento.

Nesse sentido, visando maior precisão no diagnóstico da pista FOX-2, foi proposta pela STRATA Engenharia a adoção de seis direções diferentes a serem analisadas pelo GPR, tal como ilustrado na figura 42.



Figura 42 - Localização FOX-2 e direções de análise do GPR.  
(Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

Nesse sentido, através dos caminhos indicados, foram gerados os perfis que mostram a presença de vazios nas camadas do pavimento da pista de taxi FOX-2. Os perfis são mostrados nas figuras 43 a 48 seguir.

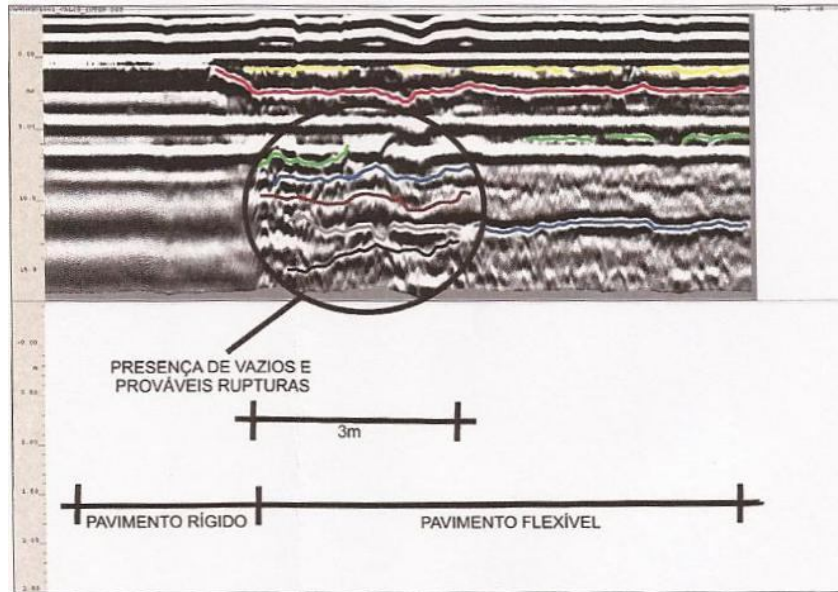


Figura 43 - Imagem de GPR - Caminho 1 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
 (Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

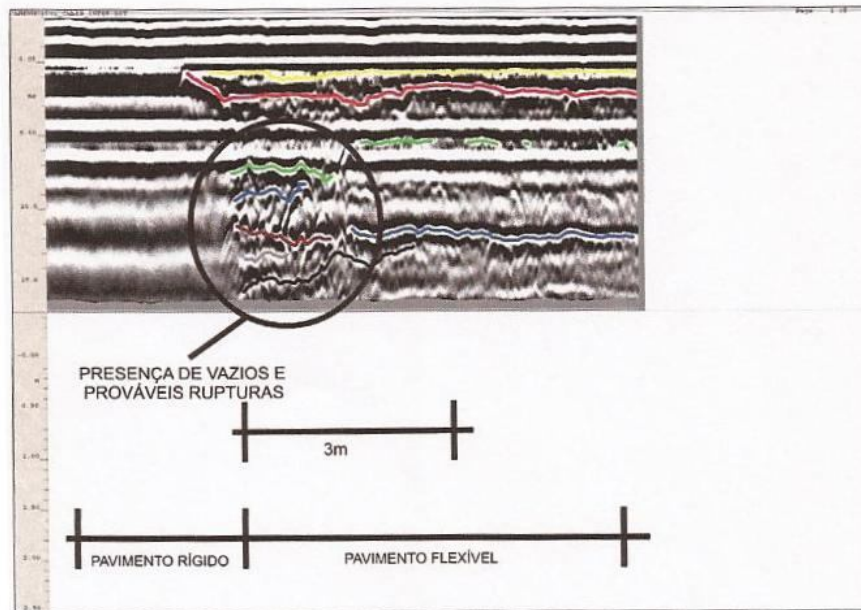


Figura 44 - Imagem de GPR - Caminho 2 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
 (Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

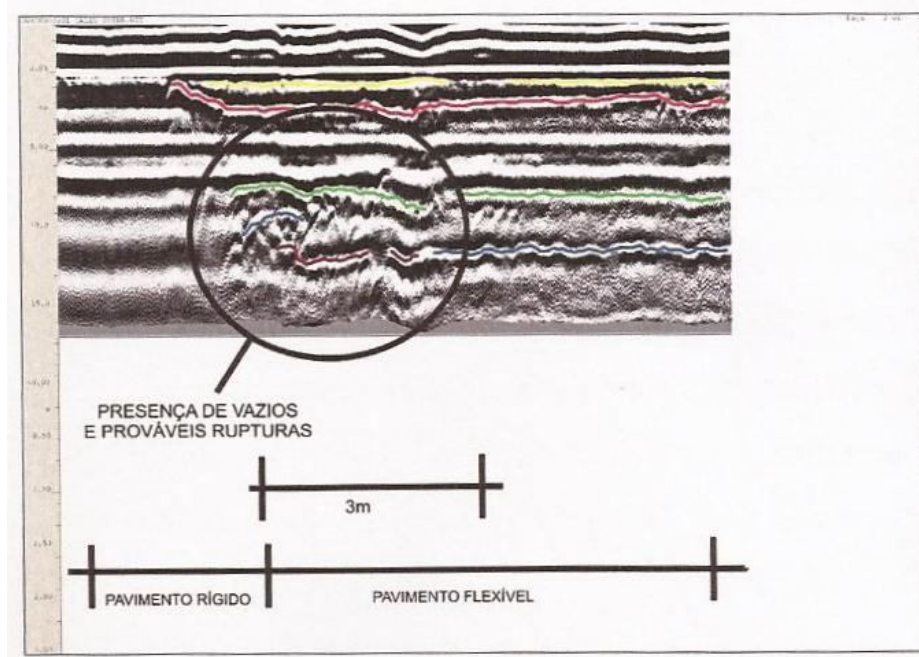


Figura 45 - Imagem de GPR - Caminho 3 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
(Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

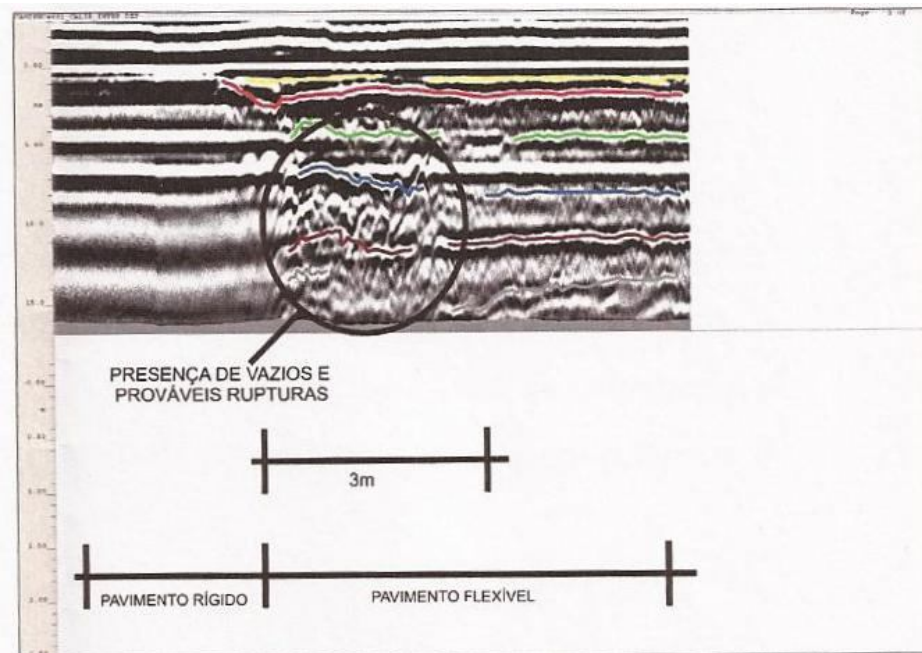


Figura 46 - Imagem de GPR - Caminho 4 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
(Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

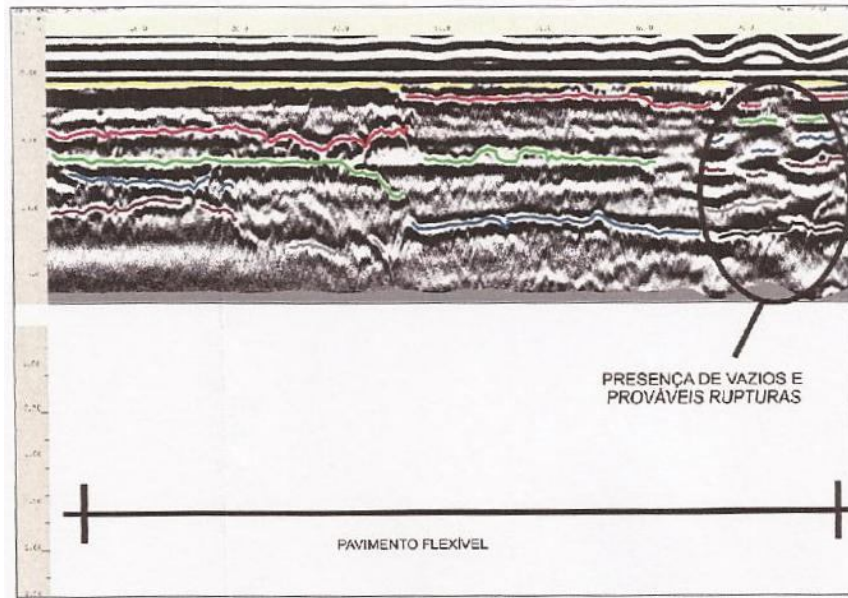


Figura 47 - Imagem de GPR - Caminho 5 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
 (Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

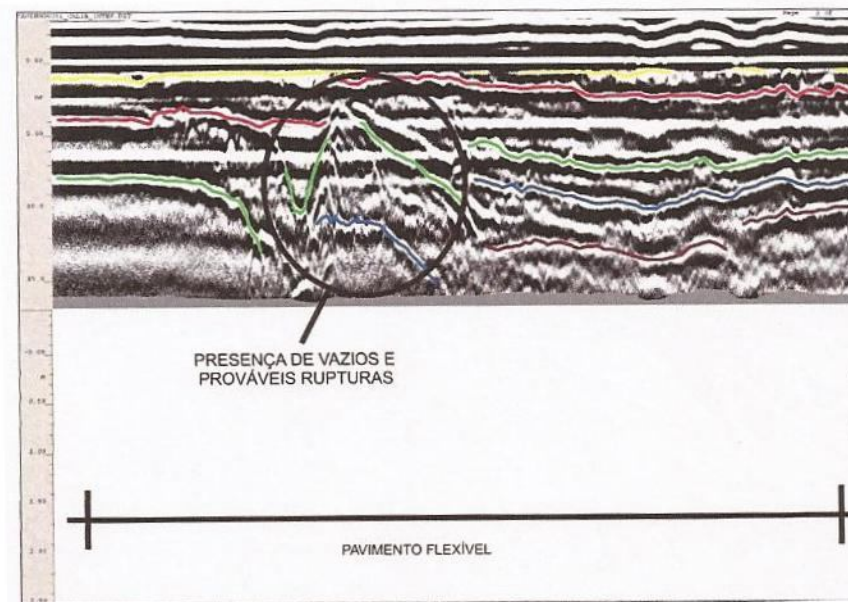


Figura 48 - Imagem de GPR - Caminho 6 - Indicação de presença de vazios e prováveis rupturas.  
 (Fontes: STRATA Engenharia e INFRAERO)

## **4.2 Reabilitação do Pavimento**

### **4.2.1 Concepção das Alternativas de Reabilitação**

O diagnóstico da STRATA Engenharia permitiu concluir que os problemas observados têm origem na incapacidade da estrutura em suportar as solicitações impostas pelas aeronaves. Na realidade, a estrutura seria adequada para o funcionamento como via de tráfego, caso não houvesse a necessidade de parada de aeronaves neste ponto para aguardar um posicionamento no pátio. Este fato implica o aumento do tempo de carregamento, fator decisivo no funcionamento da estrutura, visto que o dimensionamento é bastante direcionado ao comportamento reológico dos materiais.

A constatação final, segundo a empresa, é que neste ponto crítico ocorreu a ruptura do sistema de camadas do pavimento, que se tornou incapaz de proteger o subleito das ações das cargas, acarretando em depressões visíveis. A concepção mais tradicional seria a substituição do pavimento flexível por um pavimento rígido, que notadamente tem melhor desempenho no suporte de solicitações com tempo de carga elevado, não por acaso esta é a solução do pavimento adjacente, o pátio de aeronaves. No entanto, esta solução não coube no momento, visto que demandaria além de um tempo maior para execução um elevado investimento.

Uma segunda alternativa, de acordo com a STRATA Engenharia, seria a reconstrução total do segmento, adotando-se um pavimento flexível ou semi-rígido, que acarretaria um investimento bem inferior e poderia suportar as solicitações, mesmo com tempo de carga elevado. Contudo, tal alternativa implicaria um tempo de obra ainda elevado, com interdição do tráfego no local.

Diante de todo o exposto, foi concebida uma alternativa que pudesse aliar o desempenho necessário a suportar as solicitações, baixo investimento e menor tempo de interdição da via. A alternativa proposta pela STRATA Engenharia e aceita pela INFRAERO foi a utilização de grelhas de fibra de carbono embebidas em betume.

Ultimamente, as soluções em fibras de carbono “pré-betuminadas” têm sido aplicadas com sucesso como reforço intercalar, entre pavimentos existentes e novos pavimentos.



As fibras de carbono têm resistência à tração de aproximadamente 200 KN/m e uma extensão de ruptura de 1,5%. A aplicação da grelha pode ser comparada com o desenrolamento de telas betuminosas de impermeabilização. A grelha é revestida com uma folha plástica na parte inferior que é fundida por queima para controle da aplicação e, na parte superior tem um revestimento com cargas de quartzo. O efeito do calor durante a aplicação quebra a estrutura da grelha e o betume que fixa os cordões de fibra é então amolecido. Assim, não existe uma estrutura rígida na grelha durante a aplicação, possibilitando a aplicação em curvas, se necessário.

Para permitir a aplicação de pavimentos de desgastes sobre a grelha, é requerida uma emulsão betuminosa modificada, com temperatura mínima de amolecimento superior a 70 °C. Se for aplicada uma emulsão convencional, existe o risco da grelha ser removida durante o amolecimento da emulsão quando a superfície for transitada por caminhões durante a aplicação do CBUQ.

Assim, durante a fase da aplicação da camada de desgaste, a estrutura da grelha é quebrada novamente devido ao efeito do calor. Os cordões de fibra abrem-se localmente nos nós permitindo que os inertes da nova mistura betuminosa quente penetrem durante a compactação. A “ancoragem” mecânica da camada do novo pavimento com o existente através da grelha é enfim estabelecida. Os cordões de fibra ficam dispostos um arranjo ligeiramente ondulado na camada de pavimento após o endurecimento. Este fenômeno, segundo a STRATA Engenharia, induz forças de deflexão resultando uma ancoragem da fibra na nova camada mais eficaz, garantindo uma elevada aderência ao corte entre camadas.

#### **4.2.2 Recuperação do Pavimento**

A partir do diagnóstico elaborado pela STRATA Engenharia, a INFRAERO iniciou o processo licitatório para as obras de recuperação de pavimento. Ao final do processo foi habilitada a empresa PAVIBRÁS Engenharia, que iniciou a obra em dezembro de 2010.

## Atividades Preliminares

Devido ao serviço ser realizado em ambiente específico e regulado por órgãos nacionais e internacionais, como é o caso do sistema pátio/pista de um aeroporto, especial atenção foi dada à sinalização vertical e horizontal e ao isolamento da área, conforme figuras 49 a 56 a seguir.



Figura 49 - Placa de sinalização da obra – Pavibrás Engenharia.

(Fonte: INFRAERO)



Figura 50 - Sinalização vertical (balizamento de pista) de interdição da taxiway FOX-2.

(Fonte: INFRAERO)



Figura 51 - Sinalização horizontal na superfície asfáltica da taxiway FOX-2.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 52 - Sinalização horizontal na superfície asfáltica da taxiway FOX-2.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 53 - Delimitação da área a ser recuperada.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 54 - Delimitação da área a ser recuperada.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 55 – Área preparada para execução dos serviços.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 56 - Área preparada para execução dos serviços.  
(Fonte: INFRAERO)

### Fresagem, remoção e limpeza

Esta especificação se aplicou à remoção do revestimento asfáltico existente, objetivando a retirada de todo o material componente do revestimento antigo, localizado imediatamente acima da camada de base do pavimento. O objeto contratual desta especificação previu a execução de fresagem, na espessura total de 8cm, na área de 222m<sup>2</sup> no corpo da pista de taxi Fox 2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves.

A remoção do revestimento existente foi feita mediante utilização de equipamentos mecânicos adequados (fresadora, mini pá carregadeira e caminhão basculante), complementados com o emprego de serviços manuais, conforme figura 57.



Figura 57 – Equipamentos- fresadora e pá carregadeira.

(Fonte: INFRAERO)

A fresagem mecânica é um processo a frio, que produz uma superfície de textura aparentemente uniforme, sobre o qual o rolamento do tráfego é suave, isento de saliências diferenciadas, sulcos contínuos e outras imperfeições de construção. Entende-se o processo a frio, aquele sem qualquer pré-aquecimento. A remoção do

revestimento atingiu apenas a espessura do próprio revestimento, sem a destruição da base existente. A superfície fresada apresentou textura uniforme, sendo que o controle de espessura fresada foi realizado através de nivelamento topográfico. As figuras 58 a 60 ilustram o processo de fresagem e a área fresada finalizada.



Figura 58 – Fresadora.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 59 – Execução de fresagem.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 60 - Área fresada.  
(Fonte: INFRAERO)

A carga e transporte para depósito em local adequado foram orientados pela equipe da INRAERO.

#### Pintura de Ligação – Imprimação

Depois de executados os reparos localizados e a perfeita conformidade da superfície reparada com a já existente, foi feita a varredura da sua superfície, de modo a eliminar o pó e o material solto existente, para a aplicação da pintura de ligação.

A imprimação consiste na aplicação de material asfáltico sobre a superfície asfáltica inferior ou entre camadas de um pavimento, antes da execução de um pavimento asfáltico, objetivando impermeabilizar e promover a aderência entre este revestimento e a camada subjacente.

A distribuição do ligante foi feita por carros adequados com bomba reguladora de pressão e com sistema completo de aquecimento que permitiram a aplicação do



material betuminoso em quantidade uniforme. A figura 61 ilustra a área fresada já com a aplicação da pintura de ligação.



Figura 61 – Imprimação.  
(Fonte: INFRAERO)

Foram utilizados os asfaltos emulsionados catiônicos tipos RR-2C, diluídos em água, em quantidade adequada. A taxa de aplicação situou-se em torno de 0,5 l/m<sup>2</sup> a 1,0 l/m<sup>2</sup>.

Essa etapa foi realizada conforme especificação DNER ES 307-97.

#### Recomposição com CBUQ - 4 cm

A mistura de concreto asfáltico foi executada em usina apropriada, com total de 08 cm, sendo aplicada em 02 camadas de 04 cm, a primeira após a pintura de ligação sobre a superfície fresada e a segunda após a aplicação do reforço com grelhas de fibra de carbono características específicas, constituída de agregado, material de enchimento (fíler), e cimento asfáltico de petróleo, espalhada mecanicamente com acabadora de

asfalto e comprimida com rolos compressores a quente. A figura 62 ilustra a compactação da primeira camada de CBUQ aplicada.



Figura 62 – Aplicação e compactação da primeira camada de CBUQ.

(Fonte: INFRAERO)

Nesta etapa também foram utilizados serviços de topografia de forma a garantir a cota final do greide da pista, servindo de referência para a guia de orientação do dispositivo de regulação eletrônica da acabadora de asfalto.

Essa etapa foi realizada conforme especificação DNIT-031/2006-ES.

#### Aplicação de Grelha de Fibra de Carbono Pré-betuminada

A aplicação da grelha foi antecedida de colagem com emulsão catiônica de rotura rápida, rica em betume e polímero modificada. A grelha foi aplicada sobre o banho de aderência depois da ruptura da emulsão a fim de promover a adequada aderência entre a grelha e a mistura betuminosa.

A temperatura de aderência foi de aproximadamente 60°C e o tempo de quebra da emulsão de aproximadamente de 60 minutos. A figura 63 ilustra a grelha pré-betuminada antes da aplicação.



Figura 63 - Grelha de fibra de carbono embebida em betume.  
(Fonte: INFRAERO)

A grelha foi desenrolada sobre o pavimento passando sequencialmente por uma chama de queima amolecendo o betume polimérico que reveste a grelha e por uma bateria de rolos prensa que promovem o ajuste da grelha à superfície do pavimento, conforme figura 64.



Figura 64 - Aplicação de grelha de fibra de carbono.  
(Fonte: INFRAERO)

### Pintura de Ligação Secundária

Após a aplicação da grelha em todo o pavimento, foi executada nova pintura de ligação – imprimação, objetivando impermeabilizar e promover a aderência entre o sistema pavimento-grelha à camada subjacente. O procedimento adotado foi tal como descrito anteriormente.

### Revestimento em CBUQ - 4 Cm (Capa)

Finalmente, foi executado o revestimento em CBUQ, com espessura de 04 cm, conforme procedimento já descrito anteriormente. As figuras 65 a 68 ilustram a aplicação da massa asfáltica, compactação e o acabamento com os equipamentos adequados.



Figura 65 - Aplicação da segunda camada de CBUQ.

(Fonte: INFRAERO)



Figura 66 - Compactação da segunda camada de CBUQ.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 67 - Acabamento da segunda camada de CBUQ.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 68 - Piso final acabado.  
(Fonte: INFRAERO)

### **4.3 Monitoramento**

Após a finalização dos serviços pela PAVIBRÁS Engenharia, a INFRAERO passou a monitorar a área recuperada objetivando identificar possíveis recalques no novo pavimento em função da carga móvel a que o trecho está normalmente sujeito. A figura 69 ilustra a pista em condições operacionais.



Figura 69 - Trecho recuperado em operação.  
(Fonte: INFRAERO)

Durante 08 semanas a INFRAERO realizou medições em 04 trechos distintos da área recuperada, tomando 05 direções como referência. As direções foram tomadas tendo como referência régua de medição marcada em 05 pontos equidistantes entre si. As figuras 70 e 71 ilustram este monitoramento.



Figura 70 - Monitoramento de recalques no novo trecho recuperado.  
(Fonte: INFRAERO)



Figura 71 - Monitoramento de recalques no novo trecho recuperado.  
(Fonte: INFRAERO)

Todas as medições feitas pela equipe de manutenção da INFRAERO durante os dois meses de monitoramento foram anotadas em planilha, tal como quadro da figura 72.



Trecho nº	Semanas	Direção da régua (medidas em cm)					Data da Aferição
		1	2	3	4	5	
1	semana 1	0,00	0,00	1,40	0,20	0,00	23/12/2010
	semana 2	0,00	0,00	1,40	0,20	0,00	04/01/2011
	semana 3	0,00	0,00	1,40	0,20	0,00	13/01/2011
	semana 4	0,00	0,00	1,40	0,20	0,00	20/01/2011
	semana 5	0,00	0,00	1,40	0,20	0,00	26/01/2011
	semana 6	0,00	0,00	1,40	0,30	0,00	03/02/2011
	semana 7	0,00	0,00	1,40	0,30	0,00	24/02/2011
	semana 8	0,00	0,00	1,40	0,30	0,00	03/03/2011
	semana 9						
	semana 10						
	semana 11						
	semana 12						
	semana 13						
2	semana 1	0,30	0,00	0,70	1,00	0,00	23/12/2010
	semana 2	0,30	0,00	0,70	1,00	0,00	04/01/2011
	semana 3	0,30	0,00	0,70	1,00	0,00	13/01/2011
	semana 4	0,30	0,00	0,70	1,00	0,00	20/01/2011
	semana 5	0,30	0,00	0,70	1,00	0,00	26/01/2011
	semana 6	0,30	0,00	0,70	1,20	0,00	03/02/2011
	semana 7	0,30	0,00	0,70	1,20	0,00	24/02/2011
	semana 8	0,30	0,00	0,70	1,20	0,00	03/03/2011
	semana 9						
	semana 10						
	semana 11						
	semana 12						
	semana 13						
3	semana 1	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	23/12/2010
	semana 2	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	04/01/2011
	semana 3	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	13/01/2011
	semana 4	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	20/01/2011
	semana 5	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	26/01/2011
	semana 6	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	03/02/2011
	semana 7	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	24/02/2011
	semana 8	0,00	0,60	1,30	1,20	0,00	03/03/2011
	semana 9						
	semana 10						
	semana 11						
	semana 12						
	semana 13						
4	semana 1	0,00	1,00	1,30	1,00	0,20	23/12/2010
	semana 2	0,00	1,00	1,30	1,00	0,20	04/01/2011
	semana 3	0,00	1,00	1,30	1,00	0,20	13/01/2011
	semana 4	0,00	1,00	1,30	1,00	0,20	20/01/2011
	semana 5	0,00	1,00	1,30	1,00	0,20	26/01/2011
	semana 6	0,00	1,00	1,30	1,10	0,20	03/02/2011
	semana 7	0,00	1,00	1,30	1,10	0,20	24/02/2011
	semana 8	0,00	1,00	1,30	1,10	0,20	03/03/2011
	semana 9						
	semana 10						
	semana 11						
	semana 12						
	semana 13						

Figura 72 - Dados de monitoramento de recalque.

(Fonte: INFRAERO)

Foi possível concluir através de visitas técnicas ao local e dos dados da tabela que até o momento não haviam sido encontradas deformações no asfalto por fissura. No entanto, foram observados desnivelamentos da ordem de milímetros que indicaram recalques das camadas em alguns trechos e determinadas direções.

A direção 03, conforme pode ser constatado no quadro, foi a direção que apresentou maior recalque, em torno de 1,30cm em determinado trecho. Esta direção, central, é a direção por onde passam os eixos das aeronaves.

Pode ser observado também, que os recalques ocorreram logo na primeira semana, indicando que imediatamente após a conclusão dos serviços as camadas se acomodaram em função do alto peso das aeronaves. É importante ressaltar também que esta pista de taxi além do tráfego móvel, está sujeita a um peso concentrado, já que as aeronaves esperam neste local condições operacionais adequadas para o ingresso no pátio.

A INFRAERO conclui, após o monitoramento, que ambos, diagnóstico e recuperação do pavimento, atenderam ao objeto de seus respectivos contratos. O diagnóstico elaborado pela STRATA Engenharia de fato forneceu subsídios técnicos para a solução do pavimento avariado. Igualmente, tendo como base este diagnóstico, a PAVIBRÁS Engenharia executou os serviços de acordo com as normas de pavimentação e as normas aeronáuticas vigentes.

A INFRAERO conclui que os recalques observados logo na primeira semana não comprometeram a eficácia das soluções adotadas, visto que as medições nas semanas subsequentes indicaram a estabilização da camada de revestimento e das camadas inferiores. A pista de taxiamento FOX-2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves foi recuperada e suas condições de tráfego, segurança e conforto foram restabelecidas.

## 5. CONCLUSÕES

Pavimentar uma via de circulação é, portanto, uma obra civil que enseja antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), mais aderente (garantia de segurança em condições climáticas adversas) e uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental), seja qual for a melhoria física oferecida (Balbo, 2007).

Conforme já explicitado anteriormente, as estruturas do pavimento têm a função principal de suportar os esforços oriundos de cargas e de ações climáticas, sem que apresentem processos de deterioração de modo prematuro. Assim, o desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e as especificidades do tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários (Bernucci t. al., 2006).

No entanto, como toda estrutura, o pavimento também está sujeito a deformações decorrentes de diversos fatores tais como tempo de uso, uso inadequado, erros de execução ou até mesmo erros de projeto (concepção e dimensionamento).

No caso do Aeroporto Internacional Tancredo Neves foi identificada depressão na pista de taxiamento de aeronaves denominada FOX-2 que comprometia a integridade do pavimento e, portanto, a segurança dos usuários. No entanto, a avaliação das características estruturais de um pavimento exigiu a aplicação de critérios mais profícuos e consistentes que a simples consideração dos valores individuais de deflexões reversíveis.

Assim, foi adotada pela INFRAERO através de consultoria técnica especializada, a metodologia de análise e interpretação das linhas de influência dos assentamentos obtidas através de ensaios de cargas dinâmicos utilizando-se do equipamento FWD, devidamente policiadas por resultados obtidos através da análise das imagens produzidas pelo GPR.

Os resultados obtidos permitiram a adoção de soluções específicas para o trecho avariado, em função do elevado carregamento (móvel e estacionário) a que a interseção FOX-2 estava submetida.

A grande malha de pavimentos sejam eles rígidos ou flexíveis constituem-se, indiscutivelmente, como o principal fator que possibilita a movimentação de aeronaves e, conseqüentemente, o transporte aéreo. É de responsabilidade da administração aeroportuária a manutenção da segurança e a qualidade dessa grande malha de pavimentos aeroportuários, estabelecendo prioridades para as obras de manutenção e modernização de pátios e pistas e atenuando patologias decorrentes da intensa utilização desses pavimentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Terminologia e Classificação de Pavimentação – NBR 7207, 1982.

ANAC IAC 157-1001 – Instrução de Aviação Civil 157-1001. Resistência de Pavimentos dos Aeródromos, 2008.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração. Oficina de texto, 2007.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRÁS: ADEBA, 2006.

DNIT. Manual de pavimentação. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2006.

DNIT. Manual de pavimentos rígidos. Publicação IPR-714. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2005.

DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Publicação IPR-720. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2005.

DNIT 031/2004-ES. Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

DNER-ES 317/97. Pavimentação – Pré-misturado a frio. Norma Rodoviária. Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNER-ES 307/97. Pavimentação – Pintura de Ligação. Norma Rodoviária. Especificação de Serviço Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT 032/2005-ES. Pavimentos Flexíveis – Areia Asfalto a Quente – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Terminologia. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

FAA – Federal Aviation Administration – *Airport Pavement Design and Evaluation – Advisory Circular – 150/5320-6D*, 1995.

MELO FILHO, C. R. Evolução do Transporte Aéreo no Brasil e no Mundo no Período de 2001 a 2007. VII Simpósio de Transporte Aéreo. Rio de Janeiro, 2008.

GOLDNER, L. G. Apostila de Aeroportos. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

GOMES, A. F. S. S. Tecnologia aplicada à avaliação das estruturas dos pavimentos aeroportuários. UnB, 2008.

GRECO, J. A. S. Notas de Aula – Conceitos Básicos sobre Pavimentação. UFMG, 2010.

HORONJEFF, Robert. *Planning and Design of Airports*. 1 ed. New York. USAID, 1966.

INFRAERO – Documentos internos.

FONSECA, O. A. Atividades de Gerência de pavimentos de Aeroportos no Brasil – Retrospectiva e Perspectiva – II Reunião de Usuários de Sistema de Gerenciamento de pavimentos – Fortaleza/CE, 1998.

ICAO – *International Civil Aviation Organization - Annex 14 – Aerodrome*, 1995.

SILVA, Paulo Fernando A. Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos. 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

STRATA Engenharia – Diagnóstico completo do subsistema de pavimentação com avaliação da condição estrutural, PCN, perfil, irregularidade. Textura, drenagem, permeabilidade e outros fatores técnicos do ATIN, 2010.

STRATA Engenharia – Projeto de eliminação de ponto crítico na pista de taxi FOX-2 do AITN, 2010.