

GESTÃO SUSTENTÁVEL DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Luís Silva, Agostinho Benta e Joaquim Macedo

RESUMO

A utilização de novos materiais em substituição dos materiais existentes, sem que seja verificada a possibilidade de reutilização dos últimos, não é, de forma alguma, uma medida que vá de encontro à redução do consumo crescente dos recursos do planeta. Desta forma, perante metodologias de avaliação de Pavimentos Aeroportuários, identificam-se as diversas anomalias existentes e propõem-se opções de reparação que vão de encontro à utilização sustentável dos materiais necessários e técnicas utilizadas. Procura-se, perante a condição do pavimento, saber qual é a melhor altura para que uma intervenção no mesmo se traduza numa utilização de materiais tanto mais económica e sustentável quanto possível. Tal é exequível através do conhecimento da condição do pavimento ao longo da sua vida útil, procurando-se assim, com o reforço adequado, evitar o período na vida do pavimento em que a sua degradação sofre uma aceleração.

1 INTRODUÇÃO

O transporte aéreo tem um papel fundamental no desenvolvimento económico mundial. Para tal é necessário assegurar que a movimentação das aeronaves, nos aeroportos, é efectuada com a máxima segurança possível. Desta forma, torna-se essencial a preservação da condição dos pavimentos aeroportuários ao longo das diversas utilizações dos mesmos. Com os avanços das preocupações, quer ambientais quer económicas, é necessário, cada vez mais, procurar a altura certa para a intervenção adequada em cada tipo de pavimento, procurando minimizar a utilização de novos recursos materiais que são tanto mais necessários quanto maior é o estado de degradação do referido pavimento.

De encontro a uma intervenção o mais equilibrada quanto possível apresentam-se, neste trabalho, para os pavimentos aeroportuários, as principais anomalias e opções de reparação, e as metodologias de gestão dos mesmos de acordo com a evolução das suas degradações.

2 ANOMALIAS DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Após a abertura ao tráfego de um pavimento aeronáutico, inicia-se o processo de degradação que, na inexistência de acções de conservação, o conduzirá à ruína. A constante solicitação dos pavimentos, quer pelas aeronaves, quer pelos agentes atmosféricos (variações de temperatura e humidade, gelo-degelo), leva ao seu desgaste e ao aparecimento de pequenos defeitos. Quando estes não são imediatamente corrigidos, ampliam-se e aceleram a degradação do pavimento.

O desgaste superficial dos pavimentos, a acumulação de deformações permanentes e os fenómenos de fadiga provocados pela repetição de tensões aos vários níveis dos pavimentos, são alguns dos factores que levam ao aparecimento de anomalias devidas ao tráfego. Com o avanço da degradação dos pavimentos, o seu nível de serviço diminui. Esta diminuição é tanto maior quanto pior for o ajustamento dos pavimentos (dimensionamento, características dos materiais) ao tráfego aéreo.

Existem dois tipos de ruína no pavimento: a ruína estrutural e a ruína funcional. A ruína estrutural é caracterizada, ou pelo colapso total da estrutura do pavimento, ou pela rotura de um dos seus componentes, numa quantidade que o incapacite de suportar as cargas à superfície. A ruína funcional pode ser ou não acompanhada de ruína estrutural. A sua presença faz com que o pavimento não desempenhe a sua função correctamente, causando insegurança na utilização, desconforto aos passageiros e induzindo solicitações impróprias ao trem das aeronaves (Veloso, 2001, Silva, 2009).

Seguidamente falar-se-á das anomalias observadas nos pavimentos aeroportuários rígidos e flexíveis. Poder-se-ia considerar ainda um outro tipo de pavimento, o semi-rígido. Este seria composto por camadas rígidas cobertas por uma ou mais camadas de misturas betuminosas. No entanto, este último tipo de pavimento não será encarado, pois de acordo com as diferenças de espessuras entre as camadas rígidas e flexíveis do mesmo considerar-se-á um pavimento rígido ou flexível (Rodríguez, 2009).

2.1 Fendilhações e Fracturas

As diversas anomalias do grupo das fendilhações e das fracturas são as fendas longitudinais, transversais e diagonais; a fendilhação generalizada; as fendas de esquina e de bordo; a laje estilhaçada; e o canto partido.

As fendas longitudinais, transversais e diagonais surgem principalmente devido a factores como esforços de retracção, assentamentos, falta da capacidade de suporte das camadas, reflexão de fissuras das camadas inferiores, construção incorrecta de juntas entre lajes de betão, e excesso de largura e comprimento das lajes de betão.

A fendilhação generalizada surge na forma de fendas interligadas. Esta anomalia nos pavimentos rígidos é devida a sobrecargas excessivas ou á perda da capacidade de suporte das camadas do pavimento. Nos pavimentos flexíveis esta anomalia deve-se às retracções térmicas e pode dividir o pavimento em blocos rectangulares.

As fendas de esquina e de bordo estão associadas aos pavimentos rígidos e são causadas pelo ciclo gelo-degelo associado á dilatação das lajes de betão e á presença de materiais incompressíveis nas juntas, e pela combinação entre a repetição de cargas e a perda de suporte. O canto partido é devido ao sobrecarregamento da laje junto ao canto, resultante da perda de eficácia da camada da sub-base, do aumento das cargas actuantes, da transferência de carga inadequada feita pelos varões de transmissão de carga e ainda do empenamento da laje devido aos gradientes térmicos. A laje estilhaçada resulta principalmente do sobrecarregamento ou do suporte inadequado ao nível da fundação (Defense, 2001a, Rodríguez, 2009).



Fig. 2.1 Fendas longitudinais e transversais

2.2 Assentamentos

As anomalias pertencentes a este grupo são a elevação total ou parcial da laje e o assentamento das lajes ou escalonamento.

A elevação total ou parcial da laje é devida à expansão térmica excessiva na direcção horizontal da laje, conjuntamente com a existência de elementos incompressíveis nas juntas e nas fendas. Esta anomalia pode resultar também do dimensionamento incorrecto, quer da espessura e preenchimento das juntas, quer das dimensões em planta da laje.

O assentamento das lajes ou escalonamento é devido à consolidação ou ao enfraquecimento do solo. A elevação das lajes devido ao gelo ou devido à expansão do solo por aumento do teor em água (Veloso, 2001).

2.3 Cortes técnicos e Desagregações

Os cortes técnicos são devidos a remendos no pavimento para recuperação de anomalias. O problema existente poderá ser a má compactação do solo ou das camadas ligadas.

Os principais tipos de desagregações são o canto desagregado, a junta desagregada, a desagregação superficial. O canto desagregado e a junta desagregada provêm da ocorrência de tensões excessivas, devido à existência de elementos incompressíveis nas juntas e devido os ciclos de gelo-degelo da água no interior das mesmas. A desagregação superficial tem como principal causa o envelhecimento do pavimento agravado pela abrasão proveniente da circulação do tráfego (Shahin, 2005).

2.4 Deficiências de atrito

As anomalias pertencentes ao grupo das deficiências de atrito são a exsudação, o polimento dos agregados, a erosão devida ao escape dos motores a jacto, e o derrame dos combustíveis.

A exsudação é originada pelo excesso de betume associado ao baixo índice de vazios nas misturas betuminosas e às elevadas temperaturas.

O polimento dos agregados resulta da utilização de agregados de baixa qualidade associada à acção do tráfego.

A erosão devida ao escape dos motores a jacto é originada pelos gases de escape dos motores a jacto que carbonizam o ligante asfáltico (Silva, 2009).

O derrame de combustíveis resulta do derrame de óleo, de combustível, ou de outros solventes.

2.5 Distorções

As anomalias pertencentes ao grupo das distorções são a ondulação, as depressões, as rodeiras, o escorregamento lateral e o empolamento.

A ondulação é causada pela acção do tráfego combinada com a instabilidade das camadas ligadas e/ou da base do pavimento. As depressões são efeito da diminuição da capacidade resistente dos materiais ou da insuficiente compactação durante a construção. As rodeiras resultam do assentamento ou diminuição da capacidade resistente dos materiais ou da insuficiente compactação durante a construção. O escorregamento lateral é devido á presença de misturas betuminosas instáveis, com grandes pressões horizontais, que podem ser induzidas pelo tráfego ou pela expansão de um pavimento rígido adjacente. O empolamento é resultado da expansividade do solo de fundação devido à acção da água ou do gelo (Defense, 2001b).



Fig. 2.2 Escorregamento lateral (Shahin, 2005)

2.6 “Popouts” e “Pumping”

As Desincrustações (*Popouts*) são causadas pelos ciclos gelo-degelo, conjuntamente com agregados expansivos, onde a sílica reage com substâncias alcalinas, provocando a desincrustação dos agregados.

A ejeção de água e elementos finos (*Pumping*) resulta da selagem incorrecta das juntas e da drenagem deficiente associados ao intenso tráfego. Quando o tráfego solicita a laje nas zonas descontínuas, esta exerce pressão no seu suporte. Se o suporte estiver saturado em água, esta sai a alta pressão para a superfície arrastando os elementos finos com ela e deixa a laje sem apoio (Shahin, 2005).

3 MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO QUE VISAM AUMENTAR A VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

Após o aparecimento das primeiras anomalias, a degradação dos pavimentos sofre uma aceleração. Uma forma de contrariar esse acontecimento é proceder, no tempo certo, à reparação de tais anomalias. De acordo com o tipo de anomalia existem diversas opções de reparação. Estas podem contribuir para um melhor comportamento funcional (condições de circulação), para um melhor comportamento estrutural ou para os dois.

As diversas opções de reparação são a selagem das fendas (Figura 3.1), da superfície e das juntas; a aplicação de calor, espalhamento e compactação de areia; a aplicação de rejuvenescedor; a criação de atrito na superfície; a fresagem; as reparações localizadas; a substituição de remendos; o revestimento superficial; a reciclagem da camada superficial e/ou das camadas estruturais; a protecção do suporte da laje; a reconstrução do pavimento ou das juntas; o reforço do pavimento; e a substituição da laje (Defense, 2001b, Defense, 2001a, Veloso, 2001, Shahin, 2005).



Fig. 3.1 Selagem de fendas

4 RECICLAGEM DE MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Com as preocupações ambientais e económicas da actualidade torna-se necessário recorrer a técnicas de reabilitação de pavimentos que recorram em grande percentagem a materiais que já foram usados e que podem ser transformados e reincorporados no pavimento. Desta forma tornam-se preponderantes as técnicas de reciclagem de pavimentos. Estas técnicas consistem na obtenção de novas misturas betuminosas com a adição de novos materiais, como agregados e ligante, ao material fresado proveniente dos pavimentos a reabilitar. Para além da obtenção de novas misturas betuminosas poderá proceder-se à estabilização de camadas granulares com ligante e eventual correcção granulométrica. Os diversos materiais usados na reciclagem são materiais de camadas granulares, materiais de camadas betuminosas, e materiais de camadas estabilizadas com ligantes hidráulicos. Os tipos de ligantes usados nestas técnicas são os ligantes hidráulicos, os ligantes betuminosos e os aditivos químicos. A reciclagem de pavimentos pode ser usada tanto em camadas superficiais como em camadas estruturais do pavimento.

A reciclagem pode ser classificada, quanto ao local, em “*in situ*” e em central, e, quanto modo de formulação das misturas, a frio e a quente.

A reciclagem “*in situ*” tem vantagens técnico-económicas e ambientais pois, ao contrário da reciclagem em central, não necessita do transporte do material fresado para central. Desta forma minimiza-se os impactes para os utentes (perturbação das condições de circulação), para os pavimentos (maior agressividade imputada pelo tráfego pesado de obra) e para o ambiente (poluição atmosférica). Por outro lado a reciclagem “*in situ*” face à reciclagem em central tem desvantagens tais como a desigualdade no rigor de tratamento ao longo de toda a obra, a afectação do rigor das fórmulas de trabalho devido à heterogeneidade das camadas existentes, a afectação da qualidade do trabalho pelas condições locais de execução e a dificuldade de resolução de avarias no local da obra.

No que respeita à formulação de misturas, a frio ou a quente, deve ter-se em atenção as condições meteorológicas pois estas influenciam fortemente o comportamento dos dois tipos de reciclagem. No processo de reciclagem a frio, usado em central ou em obra, os ligantes utilizados poderão ser o cimento, a cal, a emulsão betuminosa, ou o betume espuma. No que respeita ao consumo energético, o processo de reciclagem a frio é mais económico que o processo de reciclagem a quente, sendo que na reciclagem a quente o consumo energético é ainda maior para formulações “*in situ*”.

Numa posição intermédia entre os processos de reciclagem a quente e a frio existe a reciclagem semi-quente. Esta permite, ao contrário da reciclagem a quente, reciclar 100% do material fresado. Permite ainda o armazenamento da mistura fabricada durante 24 horas, desde que mantida a 60°C (Branco et al., 2006, Santos et al., 2009).

Na Figura 4.1, a título de exemplo, apresenta-se uma fresadora de pavimentos flexíveis. Esta tem a função de transformar determinada camada ligada em material granular passível de utilização em novas camadas de pavimento.



Fig. 4.1 Fresadora de pavimentos

5 GESTÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

A maioria dos aeroportos tem adoptado estratégias de manutenção e reabilitação dos pavimentos baseadas na necessidade imediata de intervenção (estado actual do pavimento) e na experiência em vez de adoptarem estratégias a longo prazo, baseadas na documentação do comportamento e do estado do pavimento ao longo da sua vida. A escolha de estratégias de manutenção e reabilitação baseadas na experiência resulta,

geralmente, da aplicação repetida de uma escolha com poucas alternativas não permitindo a adopção de uma estratégia que considere uma análise de desempenho e de custos durante o ciclo de vida dos pavimentos (LCCA – *Life Cycle Cost Analysis*). Quando se utiliza uma abordagem que considera o estado actual do pavimento são seleccionadas alternativas de manutenção e reabilitação baseadas na análise de vários indicadores de condição do mesmo. Esta metodologia, por intervir em função do estado actual do pavimento, pode não ser a melhor no que respeita aos custos das intervenções durante o ciclo de vida do mesmo.

Tendo as abordagens anteriores funcionado razoavelmente no passado, tornaram-se parte do processo de normal de funcionamento de várias agências. Contudo, face a limitações económicas e face às novas tecnologias, estas abordagens tornam-se obsoletas. Perante isto, é necessário procurar saber quais as melhores acções a tomar e quais são as consequências imediatas e futuras das mesmas.

Cada acção de manutenção e reabilitação deverá ser efectuada considerando os efeitos previsíveis da mesma. Por exemplo, a colocação de uma fina camada de revestimento em todos os pavimentos a reabilitar levará a uma melhoria imediata nos mesmos, no entanto, a rápida deterioração da mesma trará a necessidade de nova reabilitação num curto espaço de tempo. Desta forma a adopção de várias intervenções em períodos curtos acabará por deteriorar o estado geral dos pavimentos. Por outro lado, se alguns pavimentos receberem uma camada de revestimento suficientemente espessa não necessitarão de intervenção durante um longo espaço de tempo. Há medida a que os restantes pavimentos vão necessitando de intervenção procede-se de igual forma, sendo cada vez menor o número de intervenções. Com a estratégia deste exemplo, a condição global do pavimento será pior a curto prazo, pois os pavimentos que não sofreram intervenção vão continuar a deteriorar-se até que sejam reabilitados.

A previsão das consequências para os vários cenários de reabilitação requer uma engenharia com capacidade crítica no processo de tomada de decisão. Quando, com determinada metodologia, as consequências são previsíveis, torna-se possível, independentemente da gestão ou da rotatividade do pessoal, a análise de previsões anteriores e a melhoria da previsão sobre os procedimentos ao longo de um período de tempo. Uma dessas metodologias é designada por *Airport Pavement Management System* (APMS), ou seja, é uma metodologia para gestão de pavimentos aeroportuários. Esta metodologia avalia não só a condição actual do pavimento mas também, através de um indicador de condição do pavimento, prevê o seu estado futuro. Com esta metodologia é possível, face à taxa de deterioração do pavimento adoptada, encontrar várias alternativas para a análise de custos do ciclo de vida do pavimento, sendo possível determinar a altura mais conveniente para executar a melhor alternativa de reabilitação.

A Figura 5.1 ilustra a velocidade de deterioração do pavimento e os custos relativos da reabilitação ao longo da sua vida. Os pavimentos, geralmente, apresentam bom desempenho para a maioria da sua vida útil. Quando estes atingem o estado crítico começam a deteriorar-se rapidamente. Vários estudos têm demonstrado que a manutenção dos pavimentos em boas condições é 4 a 5 vezes menos dispendiosa que a reabilitação dos mesmos em mau estado (Shahin, 2005, FAA, 2006).

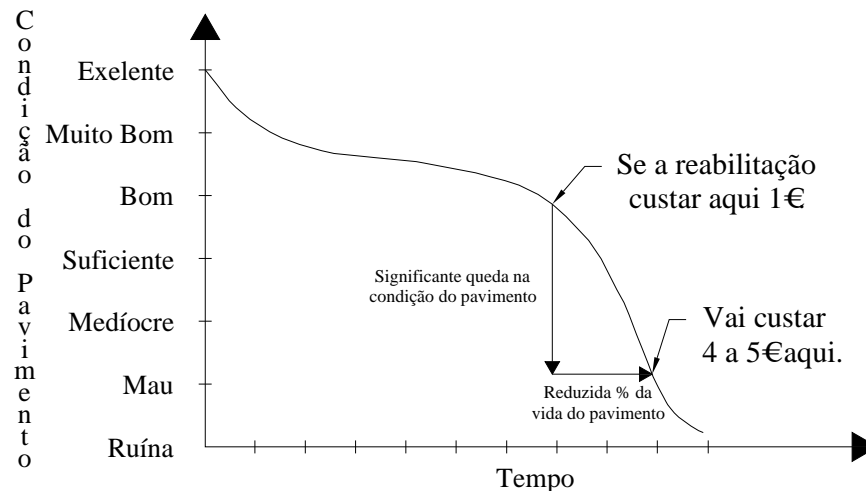


Fig. 5.1 Condição do pavimento durante o ciclo de vida (adaptado de Shahin, 2005)

Um APMS tem a função inicial de disponibilizar um inventário completo e bem estruturado da rede de pavimentos a ser gerida. Tal é possível dividindo a rede em zonas homogéneas (zonas que representam a mínima fracção da malha para a qual é definida a principal intervenção de conservação e reabilitação - C&R). Para cada zona homogénea deverão apresentar-se características referentes à estrutura e às condições estruturais e funcionais do pavimento, ao histórico de construção e manutenção, e à classificação e volume do tráfego. A determinação da condição do pavimento, do ponto de vista da avaliação estrutural, visa o conhecimento de tensões limites, de deformações e deflexões; do ponto de vista da avaliação funcional, visa o conhecimento de factores que interferem na segurança e conforto das movimentações das aeronaves.

Para além da disponibilização de um inventário da rede e das condições do pavimento, um APMS deverá possuir modelos de previsão de desempenho dos pavimentos. Estes modelos podem ser determinísticos – prevendo um único valor para a vida restante, para o nível de defeitos, e para a condição do pavimento – ou podem ser probabilísticos – prevendo não num único valor mas sim uma distribuição descrevendo possíveis condições futuras.

De forma sucinta, um sistema de gestão de pavimentos permite (Macedo, 2005):

- Proporcionar uma avaliação objectiva e coerente da condição de uma rede de pavimentos.
- Proporcionar uma sistemática e documentável base técnica capaz de determinar as necessidades de manutenção e reabilitação.
- Identificar as necessidades orçamentais à manutenção dos pavimentos para diversos níveis de operacionalidade.
- Fornecer documentação sobre o estado presente e futuro dos pavimentos de uma rede.
- Determinar o custo do ciclo de vida dos pavimentos para várias alternativas de manutenção e reabilitação.
- Identificar o impacto de pequenas reparações, no desempenho geral da rede de pavimentos.

A organização geral de um APMS é baseada no relacionamento, descrito seguidamente, de um conjunto de subsistemas (Figura 5.2). Estes são o subsistema de planeamento, de

projecto, de construção e manutenção, de avaliação e monitorização, e de pesquisa (Macedo, 2005).

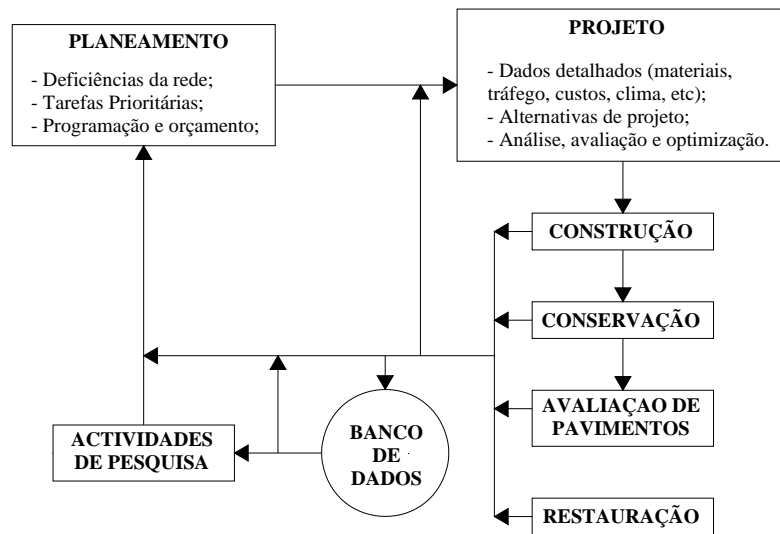


Fig. 5.2 Fluxograma de um de um APMS

O subsistema de planeamento (Figura 5.3) analisa a rede como um todo, de forma a: avaliar as consequências de diversas estratégias de alocação de recursos; analisar as implicações, em termos de custos de manutenção e de custos operacionais do transporte, da disponibilidade de diferentes níveis de restrições orçamentárias para os próximos anos; a partir de restrições orçamentárias e operacionais conhecidas, dar prioridade às obras de construção e às intervenções de manutenção na rede, de modo a obter o máximo retorno possível para esses investimentos.

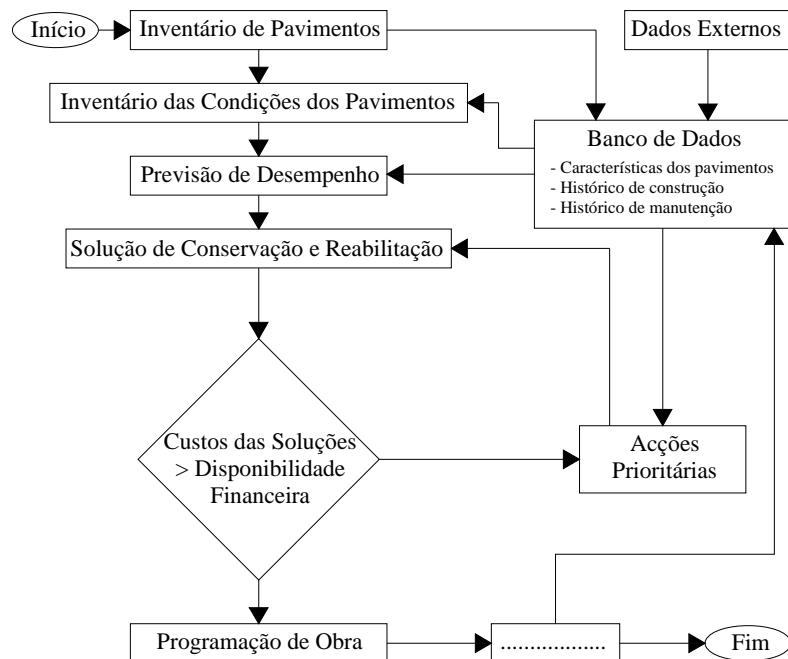


Fig. 5.3 Fluxograma simplificado do Subsistema de Planeamento (Macedo, 2005)

O subsistema de projecto é o responsável pela execução de projectos de engenharia para obras de conservação, de manutenção ou de construção de pavimentos. O melhor aproveitamento possível dos recursos disponibilizados para cada trecho é a principal funcionalidade deste subsistema. Para tal finalidade é necessário proceder ao levantamento e análise de forma a caracterizar o estado estrutural, funcional e de degradação dos pavimentos, determinar o tráfego anual e futuro, e verificar a disponibilidade de materiais de construção. Após o levantamento adoptam-se soluções técnicas que uniformizam o desempenho e maximizam a vida de serviço dos pavimentos.

Quanto ao subsistema de construção e manutenção pode dizer-se que é o responsável pela implementação das obras que foram programadas pelo subsistema de planeamento e que foram detalhadas pelo subsistema de projecto, e inclui o acompanhamento dos contratos, com o registo dos custos efectivamente envolvidos, os quais são inseridos no Banco de Dados (características dos pavimentos, histórico de construção, histórico de manutenção). Neste subsistema a designação manutenção refere-se também à conservação e à reabilitação.

O subsistema de avaliação e monitorização executa o levantamento periódico de dados acerca da condição dos pavimentos em toda a rede, de modo a manter o Banco de Dados permanentemente actualizado para utilização dos restantes subsistemas. Os tipos de levantamentos mais usuais são os contínuos, realizados em toda a rede, e os localizados, que consistem de levantamentos mais detalhados que são realizados em secções de pavimento amostradas ao longo da rede, cujo acompanhamento é realizado pelo Subsistema de Pesquisa. O subsistema de pesquisa procede à execução sistemática de pesquisas direccionadas para o aperfeiçoamento de todo o processo do APMS ou de qualquer de seus subsistemas constituintes, incluindo (Macedo, 2005):

- Técnicas de avaliação de pavimentos.
- Modelos de previsão de desempenho.
- Materiais de construção.
- Funcionamento do APMS e sua relação com a estrutura organizacional.
- Problemas específicos que envolvam custos significativos, para a administração ou para o público usuário.

As actividades que executam funções essenciais à operação dos subsistemas podem ser divididas em três módulos: o inventário da rede, os modelos de previsão de desempenho e a fase de programação. O inventário da rede e os modelos de previsão de desempenho já foram referidos atrás. Falar-se-á seguidamente da fase de programação.

A fase de programação é a que possibilita à administração das agências determinar qual é a acção de C&R que deve ser realizada, face quer á condição actual e prevista do pavimento quer aos recursos colocados a sua disposição. É nesta fase que se pode estabelecer um programa de acções a realizar e planear os futuros investimentos em C&R, com o objectivo de manter ou melhorar as condições da rede. Face à situação económica actual, com restrições orçamentais apertadas, os sistemas de programação tomam-se essenciais, desde que apresentem a melhor ferramenta que os engenheiros têm para justificar os conflitos orçamentais. A gestão dos de pavimentos segue dois níveis de programação, com diferentes objectivos: projecto e rede. No nível de projecto, as decisões referem-se ao tipo de intervenção e a quando é que o pavimento deve sofrer essa. Ao nível de rede, o

problema alarga para a questão de onde, quando e o qual a acção de C&R deve ser realizada com o objectivo de otimizar um determinado critério, enquanto se satisfazem algumas restrições (FAA, 2006, Macedo, 2005).

6 CONCLUSÕES

Para o melhor conhecimento possível dos pavimentos aeroportuários é necessário ter em conta não só as anomalias presentes no momento mas também a forma como elas evoluem ao longo do tempo para determinado tipo de solicitação. Uma intervenção que minimize os custos económicos e ambientais terá que ter por suporte, um conjunto de dados que permita o inter-relacionamento de todos os agentes intervenientes no pavimento e de todas as possíveis situações causadoras de rotura funcional e estrutural do mesmo.

7 REFERÊNCIAS

- BRANCO, F., FERREIRA, P. & SANTOS, L. P. 2006. *Pavimentos Rodoviários*, Coimbra, Almedina.
- DEFENSE, D. O. 2001a. UFC 3-270-05: Paver Concrete Surfaced Airfields Pavement Condition Index (PCI) Washington: U. S. Department of Defense.
- DEFENSE, D. O. 2001b. UFC 3-270-06: Paver Asphalt Surfaced Airfiels Pavement Condition Index (PCI). Washington: U. S. Department of Defense.
- FAA 2006. Airport Pavement Management Program. *In: ADMINISTRATION, F. A. (ed.) Advisory Circular N.º 150/5380-7A*. U.S. Department of Transportation.
- MACEDO, M. D. C. 2005. *Estudo para a base técnica de um sistema de gerência de pavimentos para redes regionais de aeroportos*.
- RODRÍGUEZ, P. P. C. 2009. *Evaluatción estructural de pavimentos aeroportuarios*, Aena Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea.
- SANTOS, A., BENTA, A. & MACEDO, J. 2009. Bases Granulares de Agregados Reciclados - Um Estudo Sobre a Sua Aplicabilidade. *Congresso Ibero-LatinoAmericano do Asfalto*. Lisboa: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- SHAHIN, M. Y. 2005. *Pavement management for airports, roads, and parking lots*, New York, Springer.
- SILVA, L. F. A. 2009. *Pavimentos Aeroportuários: Análise de Soluções Rígidas e de Soluções Flexíveis*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- VELOSO, J. J. C. B. 2001. *Gestão de pavimentos aeronáuticos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Transportes, Universidade Técnica de Lisboa.