

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Pedro Henrique Santos Cavalcante

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL
DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO COM A
INCORPORAÇÃO DE RAP - *RECLAIMED
ASPHALT PAVEMENT* - COMO SOLUÇÃO PARA
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS AEROPORTUÁRIOS
SUSTENTÁVEIS**

Trabalho de Graduação
2023

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Pedro Henrique Santos Cavalcante

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL
DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO COM A
INCORPORAÇÃO DE RAP - *RECLAIMED
ASPHALT PAVEMENT* - COMO SOLUÇÃO PARA
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS AEROPORTUÁRIOS
SUSTENTÁVEIS**

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Cláudia Azevedo Pereira (ITA)

Coorientador

2T Eng. Me. Matheus Silva Oliveira (DTINFRA-SJ)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Cavalcante, Pedro Henrique Santos

Avaliação do comportamento estrutural de pavimento aeroportuário com a incorporação de RAP - *Reclaimed Asphalt Pavement* - como solução para pavimentos asfálticos aeroportuários sustentáveis / Pedro Henrique Santos Cavalcante.

São José dos Campos, 2023.

83f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2023. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Azevedo Pereira. Coorientador: 2T Eng. Me. Matheus Silva Oliveira.

1. Aeroporto. 2. Pavimentos. 3. Pavimentos flexíveis. 4. Pistas (de pouso e decolagem). 5. Desenvolvimento sustentável. 6. Propriedades mecânicas. 7. Geotecnia. 8. Engenharia civil. 9. Engenharia estrutural. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAVALCANTE, Pedro Henrique Santos. **Avaliação do comportamento estrutural de pavimento aeroportuário com a incorporação de RAP - *Reclaimed Asphalt Pavement* - como solução para pavimentos asfálticos aeroportuários sustentáveis.** 2023. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

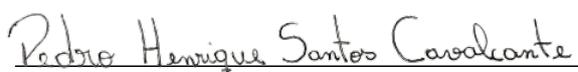
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pedro Henrique Santos Cavalcante

TÍTULO DO TRABALHO: Avaliação do comportamento estrutural de pavimento aeroportuário com a incorporação de RAP - *Reclaimed Asphalt Pavement* - como solução para pavimentos asfálticos aeroportuários sustentáveis.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2023

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Pedro Henrique Santos Cavalcante

Rua H8B, 239

12.228-461 – São José dos Campos-SP

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO COM A INCORPORAÇÃO DE RAP - *RECLAIMED* *ASPHALT PAVEMENT* - COMO SOLUÇÃO PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS AEROPORTUÁRIOS SUSTENTÁVEIS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



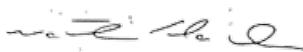
AspOf QOEng Pedro Henrique Santos Cavalcante

Autor



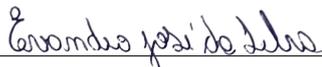
Prof.ª. Dr.ª. Cláudia Azevedo Pereira (ITA)

Orientadora



2T Eng Me. Matheus Silva Oliveira (DTINFRA-SJ)

Coorientador



Prof. Dr. Evandro José da Silva

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 13 de novembro de 2023.

Dedico este trabalho à minha mãe Maria, ao meu pai Vilmar e, em especial, ao meu irmão João Pedro por tornarem este sonho possível.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, a Ele toda honra e toda glória. Aos meus pais por, mesmo não tendo a melhor das condições financeiras, terem me dado a oportunidade de estudar e decidir meu próprio futuro. A minha doce mãe, Maria, por me ensinar o valor dos detalhes mais simples da vida. Ao meu resiliente pai, Vilmar, por ter se sacrificado inúmeras vezes pelo bem da nossa família. Agradeço ao meu singular irmão, João Pedro, por sempre ser meu exemplo e me mostrar que éramos capazes de muito. À minha amada namorada, Lígia, por ser tão paciente, carinhosa e compreensiva.

Meus agradecimentos se estendem a todos os professores da Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica pelas incontáveis lições durante o curso. Em especial, à minha orientadora e amiga, Cláudia Azevedo, por todos os conselhos e puxões de orelhas necessários para o meu desenvolvimento como engenheiro. Também agradeço ao meu co-orientador, Matheus Oliveira, por todo o conhecimento e sabedoria repassados.

Agradeço a todos os colegas que compartilharam a jornada no ITA, tornando-a não apenas suportável, mas verdadeiramente memorável. A Fernando Rodrigues, Luiz Borges, Thomas Castro, Hugo Barbosa, Gilvan Gouvêa, Luiz Eduardo, Pedro Lustosa, Gabriel Maia, Igor Galhano e tantos outros, minha mais sincera gratidão.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas, conhecidas ou desconhecidas, que contribuíram para a conclusão desta jornada. O resultado final encanta e se materializa em um título, porém o verdadeiro valor foi forjado dia após dia no decorrer deste longo percurso. Muito obrigado!

“Tudo vale a pena se a alma não é pequena.”

— FERNANDO PESSOA

Resumo

A busca por soluções eficientes e duradouras na área da engenharia de pavimentação asfáltica é uma demanda constante. Tais ações têm o mesmo objetivo: criar estruturas de pavimentos que sejam funcionais ao longo de sua vida útil, com a menor necessidade de restauração e reconstrução. Embora tenham ocorridos avanços significativos nas últimas décadas no que diz respeito aos parâmetros de durabilidade das estruturas de pavimentos, com vida útil em termos de fadiga e deformação permanente, ainda ocorrem intervenções frequentes na malha rodoviária do país. Isso resulta em uma alta taxa de geração de resíduos decorrentes do desbaste de camadas de revestimentos de pavimentos deteriorados. O material obtido exclusivamente do corte da camada de rolamento, denominado como *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), é um recurso valioso que pode ser utilizado em várias composições de misturas asfálticas. Este trabalho buscou analisar a viabilidade, do ponto de vista estrutural, da incorporação do RAP na camada de revestimento de pistas de pouso e decolagem (PPD), como parte integrante da mistura asfáltica, substituindo parte dos agregados e ligantes convencionais. Para alcançar esse fim, foram realizadas retroanálises das estruturas das PPD's de três aeroportos (Caldas Novas/GO, Poços de Caldas/MG e Rio Verde/GO), por meio de ensaios destrutivos, ensaios não destrutivos e utilizando o software BAKFAA 3.3.0. Posteriormente foram propostas novas estruturas, nas quais houve a substituição do revestimento tradicional por misturas asfálticas recicladas com RAP, combinadas com uma camada de microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF) para prevenir a desagregação de material. Essa substituição foi feita de maneira a garantir a mesma capacidade de suporte, mediante a metodologia ACR/PCR, tanto para os pavimentos reais quanto para os pavimentos fictícios, permitindo a mensuração dos benefícios da utilização do RAP. Os resultados obtidos mostraram que o desempenho mecânico das misturas recicladas foram superiores aos limites estabelecidos pelas misturas convencionais, resultando em uma economia significativa na espessura da camada de revestimento, com reduções de 22,5% em Caldas Novas e de 18,9% em Poços de Caldas. No entanto, em Rio Verde, foi constatado que podem existir aeroportos que apresentam pavimentos precários, nos quais uma intervenção não resultaria em economia de material do ponto de vista de projeto, devido à demasiada delgadez das camadas de revestimento e ao baixo nível de operação.

Abstract

The search for efficient and long-lasting solutions in the field of asphalt pavement engineering is a constant demand. These actions share the same objective: to create pavement structures that remain functional throughout their service life with minimal need for restoration and reconstruction. Although significant advancements have occurred in recent decades regarding the durability parameters of pavement structures, such as fatigue life and permanent deformation, frequent interventions still take place in the country's road network. This results in a high rate of waste generation due to the removal of deteriorated pavement layers. The material obtained exclusively from the cutting of the surfacing layer, known as Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), is a valuable resource that can be used in various asphalt mixture compositions. This work aimed to analyze the viability, from a structural perspective, of incorporating RAP into the pavement's surfacing layer for runways, as an integral part of the asphalt mixture, replacing part of the conventional aggregates and binders. To achieve this goal, retro-analyses of the structures of the runways at three airports (Caldas Novas/GO, Poços de Caldas/MG, and Rio Verde/GO) were carried out, using destructive and non-destructive tests, and utilizing the BAKFAA 3.3.0 software. Subsequently, new structures were proposed in which the traditional surfacing layer was replaced by recycled asphalt mixtures with RAP, combined with a layer of cold asphalt micro-coating to prevent material disaggregation. This replacement was done to ensure the same load-bearing capacity, following the ACR/PCR methodology, for both real and hypothetical pavements, allowing the measurement of the benefits of using RAP. The results showed that the mechanical performance of the recycled mixtures exceeded the limits set by conventional mixtures, resulting in a significant reduction in the thickness of the surfacing layer, with reductions of 22.5% in Caldas Novas and 18.9% in Poços de Caldas. However, in Rio Verde, it was observed that there are airports with simple pavements, where an intervention would not result in material savings from a project perspective, due to the excessively thin layers of pavement and low operating levels.

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 – Poço de Inspeção realizado em um pavimento flexível (STRATO SON- DAGENS, 2014).	23
FIGURA 2.2 – Modelo esquemático de Sondagem SPT (ABGE, 1998).	24
FIGURA 2.3 – Esquema simplificado de um <i>Ground Penetrating Radar</i> (SMEMOE, 2000).	25
FIGURA 2.4 – Modelo esquemático de um <i>Falling Weight Deflectometer</i> (NAZZAL <i>et al.</i> , 2004).	26
FIGURA 2.5 – Comportamento de um material qualquer sob cargas transientes (RODRIGUES, 2022a).	27
FIGURA 2.6 – Interface do software BAKFAA 3.3.0 (Autor, 2023).	29
FIGURA 2.7 – Exemplo de CDF para um mix genérico de aeronaves (FAA, 2021).	30
FIGURA 2.8 – Interface do software FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).	31
FIGURA 3.1 – Resumo da metodologia proposta (Autor, 2023).	34
FIGURA 3.2 – Interface dos dados obtidos no ensaio com FWD no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	35
FIGURA 3.3 – Dados relevantes para a retroanálise (Autor, 2023).	36
FIGURA 3.4 – Exemplo de desenvolvimento de planilha para o Método das diferen- ças acumuladas (Autor, 2023).	38
FIGURA 3.5 – Seções homogêneas determinadas na faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	39
FIGURA 3.6 – Parâmetros relevantes de um diagrama de caixa (STATPLACE, 2019).	40
FIGURA 3.7 – Exemplo de desenvolvimento de planilha para o tratamento estatís- tico dos dados obtidos pelo GPR (Autor, 2023).	40
FIGURA 3.8 – Exemplo de análise granulométrica da base (Autor, 2023).	42

FIGURA 3.9 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson por material (DER-DF, 2021).	44
FIGURA 3.10 – Estimativas dos Módulos de Resiliência por material (DER-DF, 2021).	44
FIGURA 3.11 – Interface do software BAKFAA (Autor, 2023).	45
FIGURA 3.12 – Dados do ensaio com FWD importados para o BAKFAA (Autor, 2023).	46
FIGURA 3.13 – Informações físicas do pavimento importadas para o BAKFAA (Autor, 2023).	47
FIGURA 3.14 – Ajuste de curva deflectométrica no BAKFAA 3.3.0 (Autor, 2023).	48
FIGURA 3.15 – Intervalo de Confiança de 95% (OMNI CALCULATOR, 2023).	49
FIGURA 3.16 – Resumo do processo de retroanálise na faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	49
FIGURA 3.17 – Dados sobre operações no aeroporto de Caldas Novas/GO no ano de 2022 (Autor, 2023).	50
FIGURA 3.18 – Definição de Seção Homogênea no FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).	52
FIGURA 3.19 – Dados sobre operações no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	53
FIGURA 3.20 – Comando para o Cálculo de PCR no FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).	53
FIGURA 3.21 – Proposição de pavimento com revestimento de mistura asfáltica com RAP e agente rejuvenescedor (Autor, 2023).	55
FIGURA 3.22 – Adição dos parâmetros da nova camada de revestimento (Autor, 2023).	56
FIGURA 4.1 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	58
FIGURA 4.2 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	58
FIGURA 4.3 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	60
FIGURA 4.4 – Economia esperada de revestimento no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	62
FIGURA 4.5 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	63
FIGURA 4.6 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	64

FIGURA 4.7 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	66
FIGURA 4.8 – Economia esperada de revestimento no aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	68
FIGURA 4.9 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	69
FIGURA 4.10 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	70
FIGURA 4.11 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	72
FIGURA A.1 – Parâmetros utilizados para calcular o PCR da SH1 da faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	81
FIGURA A.1 – Biblioteca de Camadas do FAARFIELD. (FAA, 2021)	82
FIGURA B.1 – Seleção de parâmetros para codificação do PCR. (ANAC, 2022b)	83

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – Lista de deformações existentes em um pavimento solicitado por uma carga transiente (RODRIGUES, 2022a).	27
TABELA 3.1 – Lista de variáveis retiradas do ensaio com FWD (Autor, 2023).	36
TABELA 3.2 – Valores máximos e mínimos obtidos pelo diagrama de caixa e as médias determinadas após o tratamento de dados para a faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	41
TABELA 3.3 – Características dos solos de acordo com sua classificação (BALBO, 2007).	43
TABELA 3.4 – Frotas de aeronaves de cada companhia aérea que operou em SBCN (AVIACAOCOMERCIAL, 2023) (GOL, 2023) (LATAM, 2023).	51
TABELA 3.5 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas/GO com base no ano de 2022 (Autor, 2023).	51
TABELA 3.6 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD (Autor, 2023).	54
TABELA 4.1 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	59
TABELA 4.2 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	59
TABELA 4.3 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	60
TABELA 4.4 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas/GO com base no ano de 2022 (Autor, 2023).	61
TABELA 4.5 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	61
TABELA 4.6 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).	62

TABELA 4.7 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	64
TABELA 4.8 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	65
TABELA 4.9 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	65
TABELA 4.10 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Poços de Caldas/MG com base no ano de 2018 (Autor, 2023).	66
TABELA 4.11 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	67
TABELA 4.12 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).	67
TABELA 4.13 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	70
TABELA 4.14 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	71
TABELA 4.15 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).	71
TABELA 4.16 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Rio Verde com base no ano de 2022 (Autor, 2023).	72
TABELA 4.17 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Rio Verde considerando uma camada de revestimento com 2 polegadas (51 mm) de espessura (Autor, 2023).	73
TABELA 4.18 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Rio Verde (Autor, 2023).	73

Lista de Abreviaturas e Siglas

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABEAR	Associação Brasileira das Empresas Aéreas
ACN	Aircraft Classification Number
ACR	Aircraft Classification Rating
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CDF	Cumulative Damage Factor
CF/88	Constituição Federal de 1988
COMAER	Comando da Aeronáutica
COMARA	Comissão de Aeroportos da Região Amazônica
DER-DF	Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal
FAA	Federal Aviation Administration
FAB	Força Aérea Brasileira
FOD	Foreign Object Debris
FWD	Falling Weight Deflectometer
GPR	Ground Penetrating Radar
ICAO	International Civil Aviation Organization
MR	Módulo de Resiliência
MRAF	Microrrevestimento Asfáltico a Frio
PCN	Pavement Classification Number
PCR	Pavement Classification Rating
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement
SAC	Secretaria de Aviação Civil
SH	Seção Homogênea
SPT	Standard Penetration Test
TSCE	Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas

Lista de Símbolos

A_i	Área longitudinal de deflexão entre a estaca i-1 e a estaca i
A_T	Área longitudinal de deflexão acumulada em toda a PPD
D_1	Deformação medida no primeiro geofone
D_2	Deformação medida no segundo geofone
D_3	Deformação medida no terceiro geofone
D_4	Deformação medida no quarto geofone
D_5	Deformação medida no quinto geofone
D_6	Deformação medida no sexto geofone
D_7	Deformação medida no sétimo geofone
L_c	comprimento longitudinal da PPD
\overline{D}_i	Deflexão média entre a estaca i-1 e a estaca i
ϵ_E	Deformação elástica
ϵ_{PI}	Deformação plástica instantânea
ϵ_{VE}	Deformação viscoelástica
ϵ_{VP}	Deformação viscoplástica

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Contextualização	18
1.2	Motivação	19
1.3	Objetivo	21
1.4	Estrutura da Tese de Graduação	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Poço de inspeção	23
2.2	Sondagem SPT	24
2.3	GPR - <i>Ground Penetrating Radar</i>	24
2.4	FWD - <i>Falling Weight Deflectometer</i>	25
2.5	Mecânica dos Pavimentos	26
2.6	BAKFAA	28
2.7	FAARFIELD	29
2.8	Método ACN/PCN	31
2.9	Método ACR/PCR	32
2.10	RAP - <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	Base de Dados	34
3.2	Determinação dos módulos de resiliência das camadas dos pavimentos com o BAKFAA 3.3.0	35
3.2.1	Determinação de dados de entrada	35
3.2.2	Retroanálise pelo BAKFAA 3.3.0	45

3.2.3	Tratamento dos resultados da retroanálise	48
3.3	Definição do mix de aeronaves	50
3.4	Cálculo do PCR de pavimento aeroportuário com o FAARFIELD 2.1	52
3.5	Definição de pavimento flexível com revestimento reciclado	54
3.6	Definição de pavimento flexível incorporado com RAP incorporado por meio do FAARFIELD 2.1	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Caldas Novas/GO	57
4.2	Poços de Caldas/MG	63
4.3	Rio Verde/GO	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.1	Conclusão	75
5.2	Sugestões de trabalhos futuros	76
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – RELATÓRIO FAARFIELD	81
	ANEXO A – FAARFIELD	82
A.1	Biblioteca de Camadas do FAARFIELD	82
	ANEXO B – PARÂMETROS PCR	83
B.1	Codificação do PCR	83

1 Introdução

Neste Capítulo são discutidas as circunstâncias e os objetivos que levaram este Trabalho de Graduação a ser realizado. Além disso, também é exposto a forma na qual os capítulos foram organizados com o intuito de dar um panorama geral do documento.

1.1 Contextualização

O Brasil conta com uma área aproximada de 8,5 milhões de km² (IBGE, 2022), o que o caracteriza como um país de dimensões continentais. Para se ter noção de sua grandeza pode-se, a título de comparação, verificar que os 27 países que formam a União Europeia têm uma área de aproximadamente 4,1 milhões de km² (EUROSTAT, 2022). É evidente que, mesmo internamente, enfrentar grandes distâncias é uma realidade do brasileiro. Portanto, o setor de aviação passa a ser um dos principais trunfos neste desafio de mobilidade, potencializando o crescimento dos negócios e do turismo.

A Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR) também menciona outros benefícios do setor aéreo: ajuda humanitária e de saúde, serviços essenciais, oportunidades educacionais e melhoria da qualidade de vida (ABEAR, 2020). Segundo a PGL (2023), o Brasil é o 2º país com mais aeroportos no mundo, são cerca de 2700 aeródromos que operam em média 35 mil toneladas de cargas por mês. Estes dados demonstram o quanto a aviação civil está arraigada na economia e o tamanho de sua relevância para o desenvolvimento nacional.

Nesse contexto, é de vital importância o desenvolvimento de estudos que possibilitem a melhoria da infraestrutura aeroportuária nacional, a fim de viabilizar o crescimento desse setor. Dentro dessa esfera, os pavimentos aeroportuários, na figura das Pistas de Pouso e Decolagem (PPD), desempenham um papel fundamental ao garantir a segurança e a eficiência das operações das aeronaves que operam nesses locais.

Os desafios existentes no desenvolvimento de infraestrutura não consistem apenas na expansão das facilidades, mas também na manutenção da infraestrutura já construída. De acordo com Oliveira (2020), as ações de manutenção e reabilitação dos pavimentos

geram uma quantidade significativa de resíduos, o que levanta preocupações ambientais. O crescente interesse pela sustentabilidade e pela redução do impacto ambiental tem impulsionado a busca por soluções inovadoras na área da engenharia de pavimentos. Sob essa ótica, surgem pesquisas sobre a reciclagem de pavimentos e o reuso de material fresado, ampliando as possibilidades de atuação nesse campo.

Segundo Bernucci *et al.* (2022), o RAP pode ser utilizado em diversos tipos de misturas asfálticas e a reciclagem desse material é importante por trazer benefícios econômicos e por ser uma prática adequada para disposição ambientalmente correta desses elementos. Portanto, o estudo de estruturas rodoviárias e aeroportuárias ligadas ao RAP podem trazer diversos benefícios para as gerações presentes e futuras.

Em síntese, a infraestrutura dos pavimentos aeroportuários desempenha um papel crucial para as operações aéreas no Brasil. A melhoria contínua desses pavimentos e do sistema aeroportuário é fundamental para garantir a segurança e a eficiência das operações aéreas em todo o país, possibilitando um fluxo suave de voos e impulsionando o desenvolvimento do setor de transporte aéreo. Assim, o estudo do RAP oferece oportunidades de reutilização de recursos não renováveis, redução de resíduos e impacto ambiental, além de permitir práticas sustentáveis na construção e manutenção de pavimentos.

1.2 Motivação

A Força Aérea Brasileira (FAB) é uma das três forças militares federais estabelecidas no país. De acordo com a Constituição Federal de 1988 (CF/88) sua finalidade é a defesa da Pátria, a garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem, de onde derivam a missão e as atribuições do Comando da Aeronáutica (COMAER). A missão pode ser sintetizada em:

Manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria. (FAB, 2018)

Na administração pública, existem diversos princípios que norteiam suas atividades, e dois deles são fundamentais no contexto jurídico brasileiro: a Supremacia do Interesse Público e a Indisponibilidade do Interesse Público. O primeiro garante que os interesses da coletividade sempre terão prioridade sobre os interesses individuais. Já o segundo garante que os agentes ajam sempre em benefício do interesse público, ou seja, suas devem buscar o bem comum (DI PIETRO, 2022).

O artigo 37, caput, da CF/88 cita os Princípios Constitucionais da Administração Pública (BRASIL, [1988]):

Art. 37. A administração pública direta e indireta de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios obedecerá aos princípios de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência.

O princípio da legalidade estabelece que a Administração Pública só pode fazer aquilo que estiver previsto em lei. O princípio da Impessoalidade exige que a atuação da Administração Pública seja transparente, sem favorecimentos para os agentes públicos e com o claro objetivo de alcançar a finalidade pública. O princípio da moralidade é caracterizado pela existência de probidade, de decoro e de boa fé na administração. O princípio da publicidade está relacionado à necessidade de transparência e de divulgação apropriada dos atos administrativos. Por fim, o princípio da eficiência busca a otimização dos recursos disponíveis para alcançar os melhores resultados na prestação do serviço público (DI PIETRO, 2022).

Sem dúvidas, um dos maiores desafios da FAB como agente público é continuamente um nível superior de eficiência em suas atividades. Um exemplo clássico desse princípio no contexto militar foi a criação da Pesquisa Operacional como método de otimização de recursos durante a Primeira Guerra Mundial, o leitor interessado pode ver Chaves (2011) para mais detalhes.

Como esse dever se estende a todas as atividades da FAB, é natural que a área de engenharia civil também busque aprimorar seu funcionamento. Com isso em mente, pode-se citar a Comissão de Aeroportos da Região Amazônica (COMARA) que é uma organização militar especializada em executar projetos de infraestrutura na região norte do país. A COMARA se empenha diariamente em aprimorar seus métodos operacionais para tornar possível a integração de áreas isoladas, conforme expresso em sua missão:

Projetar, construir e recuperar aeroportos em regiões inóspitas e de difícil acesso na Amazônia Legal e em outras regiões do País, desde que sejam de interesse do Comando da Aeronáutica, contribuindo para a soberania nacional e o progresso do Brasil, com sustentabilidade ambiental. (COMARA, 2023)

Outra preocupação crescente, tanto para a administração pública quanto para a engenharia, é a atenção em relação ao Meio Ambiente. Com a inserção do artigo 5º, §3º, da CF/88 (BRASIL, [1988]), todos os tratados e convenções internacionais sobre direitos humanos que forem aprovados, em cada Casa do Congresso Nacional, em dois turnos, por três quintos dos votos dos respectivos membros, serão equivalentes às emendas constitucionais.

Nesse contexto, é relevante notar que os tratados e convenções sobre Meio Ambiente são considerados, no sistema jurídico brasileiro, como tratados e convenções sobre Direitos

Humanos. Isso significa que a preservação do meio ambiente passa a ser pauta de defesa de um patamar civilizatório mínimo, em que se considera esses direitos como absolutos. Além disso, o artigo 225, caput, da CF/88 estabelece:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, [1988])

Em outras palavras, a responsabilidade de preservar os recursos naturais é de todos. Nesta conjuntura, a Engenharia Civil desempenha um papel fundamental ao desenvolver técnicas e materiais que, assim como estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), busquem a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Assim, a reutilização do resíduo gerado na manutenção de pavimentos rodoviários e aeroportuários representa uma grande oportunidade para Engenharia da Força Aérea contribuir com conhecimentos que podem impactar em larga escala a cadeia nacional de recursos. Para se ter uma base de comparação, apenas nos Estados Unidos, em 2018, foram gerados cerca de 76,2 milhões de toneladas de resíduos provenientes de revestimento asfáltico fresado (MARTIN *et al.*, 2019).

O material desbastado da camada de rolamento de pavimentos flexíveis, também conhecido como *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), é um insumo versátil que pode ser utilizado nos mais diversos tipos de misturas asfálticas. A utilização de materiais com um certo percentual de RAP vem aumentando consideravelmente por apresentar economia de recursos naturais, redução de custos e por representar uma deposição adequada para os resíduos sólidos gerados na restauração e reconstrução de pavimentos (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Portanto, a motivação deste Trabalho de Graduação surgiu da necessidade de aprimorar a eficiência operacional da Engenharia Civil da FAB, principalmente visando promover o corte de gastos e economia de material na execução de pistas de pouso e decolagem, em especial, em áreas isoladas. O objetivo é realizar um estudo, sob o ponto de vista estrutural, sobre a utilização de uma mistura asfáltica reciclada na infraestrutura aeroportuária nacional, com o intuito de contribuir com o desenvolvimento da nação.

1.3 Objetivo

O objetivo do estudo é analisar a viabilidade da utilização de misturas asfálticas com RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) em pavimentos aeroportuários, com o propósito de

fundamentar cientificamente uma solução de material mais sustentável para os aeroportos brasileiros.

Para alcançar esse objetivo, será necessário passar pelos seguintes objetivos específicos:

1. Fazer a retroanálise, por meio do **BAKFAA 3.3.0**, de aeroportos brasileiros para determinação dos parâmetros físicos de cada camada para entende-se as condições de operação de pavimentos aeroportuários reais;
2. Calcular o PCR dos pavimentos reais estudados;
3. Propor um pavimento com mistura asfáltica com **RAP** que possua propriedades mecânicas compatíveis, mediante o método **ACR/PCR**, com as estruturas utilizadas nos pavimentos aeroportuários previamente estudados; e
4. Realizar uma análise, através do **FAARFIELD 2.1**, para comprovar economia de material devido a utilização da mistura asfáltica reciclada na camada de revestimento do pavimento.

1.4 Estrutura da Tese de Graduação

Os capítulos desta tese foram organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introdução - Aborda os motivos que levaram à realização desta Tese de Graduação.
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica - Apresenta uma breve discussão sobre o conhecimento existente que será relevante para o desenvolvimento deste Trabalho de Graduação.
- Capítulo 3: Metodologia - Explica como o conhecimento existente foi aplicado para alcançar o objetivo proposto no Capítulo 1.
- Capítulo 4: Resultados e Discussões - Expõe e interpreta os resultados obtidos.
- Capítulo 5: Considerações finais - Faz uma conclusão geral do trabalho e sugere temas para futuros trabalhos que possam complementar a monografia.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, será apresentado uma síntese dos estudos e pesquisas relevantes relacionados ao tema desta Tese de Graduação. Serão abordados os principais conceitos, teorias e avanços recentes na área, proporcionando uma base teórica sólida para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Poço de inspeção

Poço de inspeção é uma escavação em solo com o objetivo de permitir a observação do material e a coleta de amostras deformadas ou indeformadas do material presente na área escavada. A NBR-9604/2016 (ANBT, 2016) define os procedimentos adequados para a escavação do poço e a retirada das amostras. Na Figura 2.1, apresentada a seguir, é possível visualizar um exemplo de poço de inspeção:



FIGURA 2.1 – Poço de Inspeção realizado em um pavimento flexível (STRATO SONDAgens, 2014).

2.2 Sondagem SPT

O ensaio de sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) consiste na cravação de um barrilete, tubo oco de 45 cm, a cada metro da perfuração, a fim de medir a resistência do solo e coletar uma amostra pouco deformada. A cravação ocorre após sucessivos impactos de uma massa metálica de 65 kg que cai em queda livre de 75 cm de altura sobre um ressalto conectado ao barrilete por uma haste. O parâmetro determinado pelo ensaio corresponde à quantidade de golpes necessários para fazer com que o barrilete perfure os seus últimos 30 cm de comprimento (ABGE, 1998). Devido a padronização dos equipamentos e dos procedimentos, é possível correlacionar os resultados obtidos com estudos feitos no Brasil e no exterior. O esquema do ensaio pode ser visto na Figura 2.2.

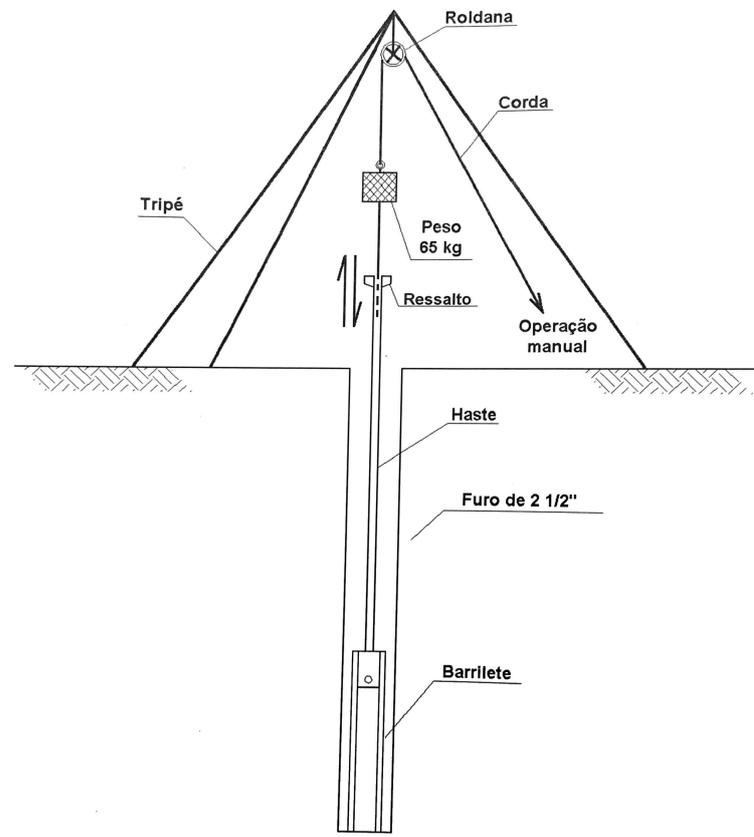


FIGURA 2.2 – Modelo esquemático de Sondagem SPT (ABGE, 1998).

2.3 GPR - *Ground Penetrating Radar*

O *Ground Penetrating Radar* (GPR) ou Georadar é um equipamento de estudo geológico não destrutivo que permite a coleta de dados subterrâneos, como diferenças de materiais subsuperficiais, objetos enterrados e determinação de vazios, entre outras aplicações. Esse método funciona através da interpretação de ondas eletromagnéticas refletidas

que são enviadas e captadas pelo próprio equipamento (GEOSCAN, 2020). A Figura 2.3 ilustra um modelo simplificado do funcionamento do aparelho.

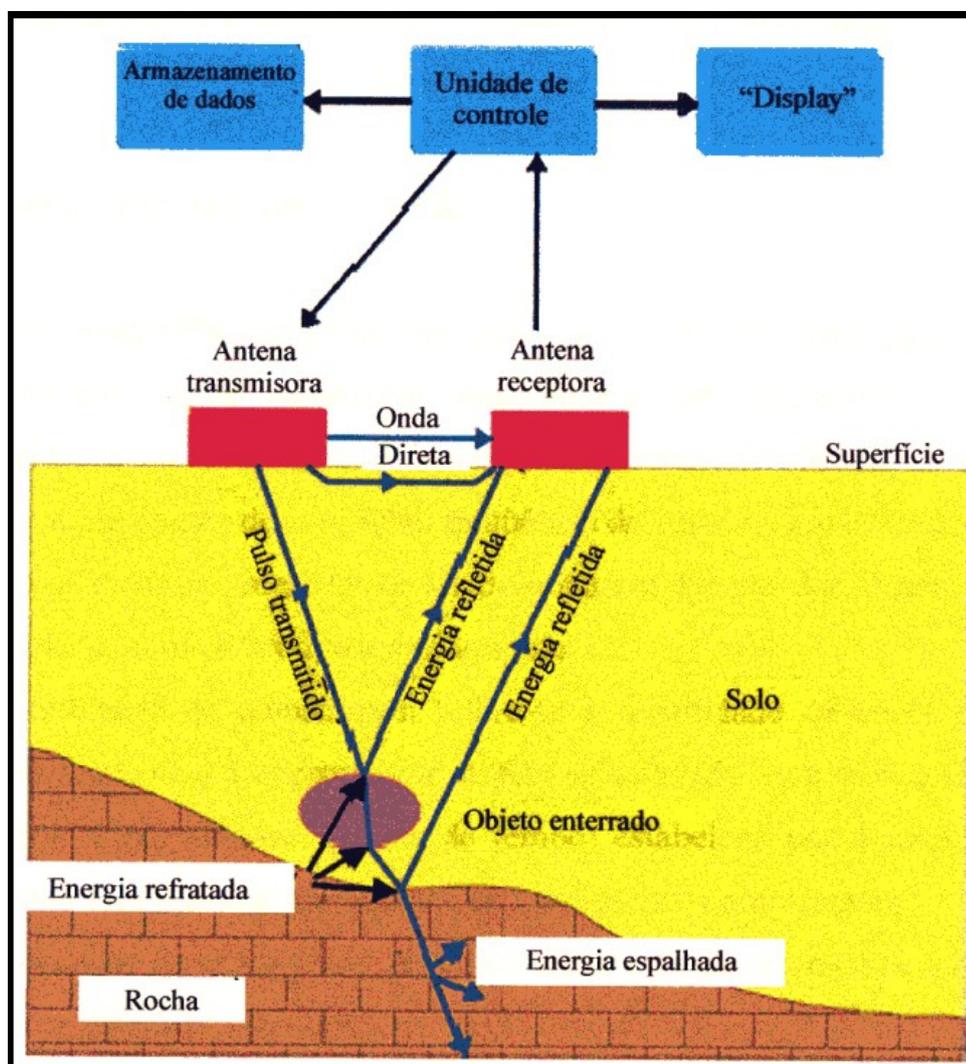


FIGURA 2.3 – Esquema simplificado de um *Ground Penetrating Radar* (SMEMOE, 2000).

2.4 FWD - *Falling Weight Deflectometer*

O *Falling Weight Deflectometer* (FWD) é um equipamento utilizado em um ensaio não destrutivo nos quais são aplicadas cargas impulsivas por meio da queda de um conjunto de pesos sobre um sistema que amortece e transfere as cargas aplicadas a uma placa circular, apoiada no pavimento. A duração do pulso de carga resultante é tal que simula os efeitos, no pavimento, de cargas de roda a velocidades em torno de 70 km/h. Não requerem aplicação de uma pré-carga estática e permitem cargas cuja magnitude e área de contato simulam os eixos dos caminhões ou os trens-de-pouso das aeronaves. O FWD pode ser utilizado em qualquer tipo de pavimento, inclusive para a avaliação de juntas e detecção de solapamentos em placas de concreto (RODRIGUES, 2022b).

Atualmente, o FWD é o equipamento mais eficaz para simular as tensões e deformação que são produzidas nos pavimentos pelas cargas de roda em movimento dos caminhões (RODRIGUES, 2022b). A Figura 2.4 representa um modelo esquemático desse método.

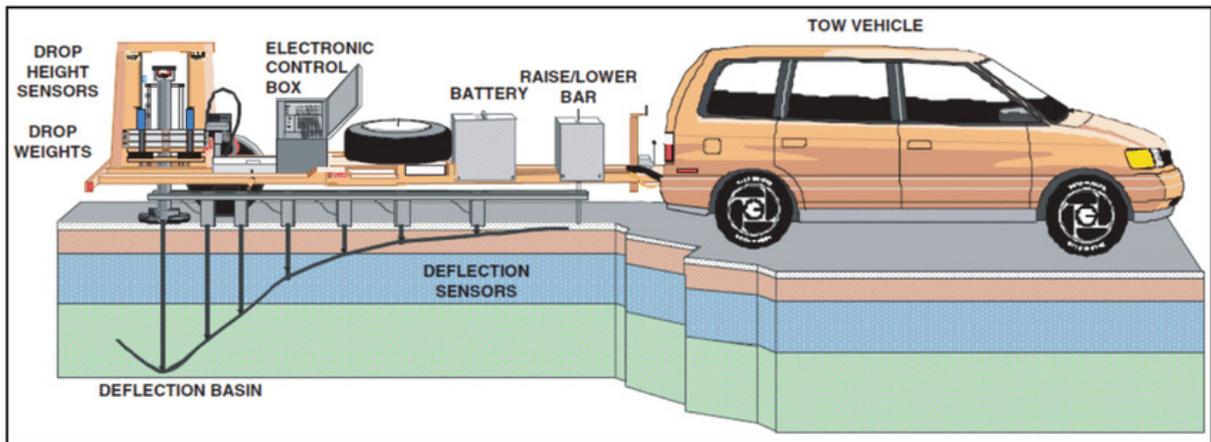


FIGURA 2.4 – Modelo esquemático de um *Falling Weight Deflectometer* (NAZZAL *et al.*, 2004).

2.5 Mecânica dos Pavimentos

A Mecânica dos Pavimentos foi desenvolvida pela combinação dos conhecimentos existentes na Mecânica do Contínuo, na Mecânica dos Solos e na Mecânica da Fratura, com o objetivo de fornecer fundamentos para o dimensionamento estrutural e previsão de desempenho dos pavimentos. A Mecânica do Contínuo é utilizada para determinar o estado de tensões e de deformações das camadas, a Mecânica dos Solos é empregada para caracterizar o comportamento dos solos e dos materiais granulares, e a Mecânica da Fratura é aplicada para estimar de forma mais confiável as fissuras nas camadas (RODRIGUES, 2022a).

Em um pavimento real, o carregamento exercido pela passagem de uma carga de roda é transiente e tanto os solos quanto os materiais granulares da fundação apresentam comportamento tensão-deformação não linear, sendo influenciados por várias variáveis. Por sua vez, os materiais asfálticos possuem propriedades sensíveis à velocidade de aplicação das cargas e à temperatura (RODRIGUES, 2022a). Quando um corpo de prova de qualquer material é submetido a um ciclo de carga de roda, ele experimentará as deformações indicadas na Figura 2.5, variando apenas em relação à sua proporção relativa, de acordo com a natureza do material, suas condições e o tempo de aplicação da carga.

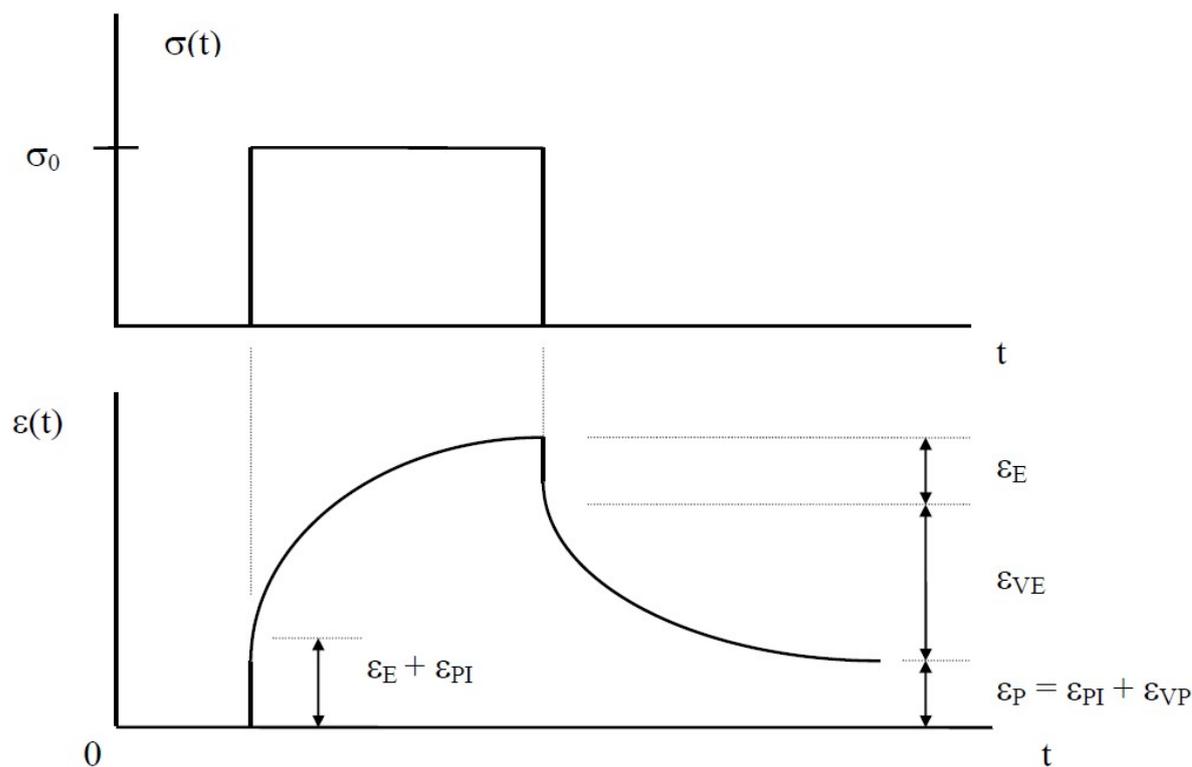


FIGURA 2.5 – Comportamento de um material qualquer sob cargas transientes (RODRIGUES, 2022a).

onde:

TABELA 2.1 – Lista de deformações existentes em um pavimento solicitado por uma carga transiente (RODRIGUES, 2022a).

Variável	Descrição
ε_E	deformação elástica (recuperável instantaneamente)
ε_{PI}	deformação plástica instantânea
ε_{VE}	deformação viscoelástica (recuperável, mas apenas ao longo do tempo)
ε_{VP}	deformação viscoplástica

As deformações resultantes da carga de roda podem ser divididas em duas componentes: uma parcela recuperável, também conhecida como deformação elástica ou resiliente, e outra parcela irrecuperável, denominada deformação plástica. Em um pavimento que suporte adequadamente as cargas, as deformações plásticas tendem a ser significativamente menores do que as deformações resilientes. Portanto, nessas situações, é possível considerar que o pavimento se comporta como uma estrutura elástica (RODRIGUES, 2022a).

Em 1885, Joseph Boussinesq publicou o trabalho intitulado *Application des potentiels a l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*, no qual tratou das inter-relações entre forças de contato sobre o contorno de um sólido semi-infinito. A teoria de Boussinesq foi desenvolvida considerando um material homogêneo, isotrópico e com

tensões que são determinadas por duas propriedades do material, seguindo a Lei de Hooke generalizada (BALBO, 2007).

Donald Burmister, em 1945, estabeleceu as diretrizes da Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas (TSCE), partindo da Teoria da Elasticidade em três dimensões para resolver o problema de Boussinesq com duas camadas. Para isso, ele definiu as seguintes hipóteses (BALBO, 2007):

1. Hipótese sobre os materiais: Cada camada é homogênea, elástica e isotrópica, sendo a Lei de Hooke aplicável aos materiais que as constituem;
2. Hipótese sobre as dimensões de camada: A primeira camada tem espessura finita, sendo, porém, horizontalmente infinita, já o subleito é infinito em todas as direções;
3. Hipótese sobre a condição de superfície: Na superfície, não existem tensões de cisalhamento, sendo livre de tensões normais fora dos limites de aplicação da carga circular distribuída.

Posteriormente, com o cálculo computacional foi possível aplicar a TSCE para uma estrutura com múltiplas camadas. Os dados de entrada necessários para o cálculo das deformações, tensões e deflexões em softwares próprios para retroanálise são (BALBO, 2007):

1. Materiais: coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade de cada material de cada camada;
2. Construtivos: espessuras de cada camada;
3. Esforços: magnitude e distribuição de cargas.

2.6 BAKFAA

Para se estimar os módulos de resiliência de cada camada de um pavimento, é necessário processar os dados de entradas enumerados na Seção 2.5. Existem diversos softwares utilizados para realizar a retroanálise e determinar os parâmetros físicos em questão, tais como: BAKFAA, BACKMEDINA, EVERCALC, entre outros. No Brasil, costuma-se utilizar o software BAKFAA, desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA).

O BAKFAA compara os valores da bacia deflectométrica, da tensão de pico aplicada pelo FWD, da espessura de cada camada e dos seus respectivos coeficientes com base na Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas [2.5], a fim de calcular os valores de módulo de

resiliência que correspondam aos dados de entrada (FAA, 2011). A Figura 2.6 mostra a interface do software BAKFAA em sua versão 3.3.0.

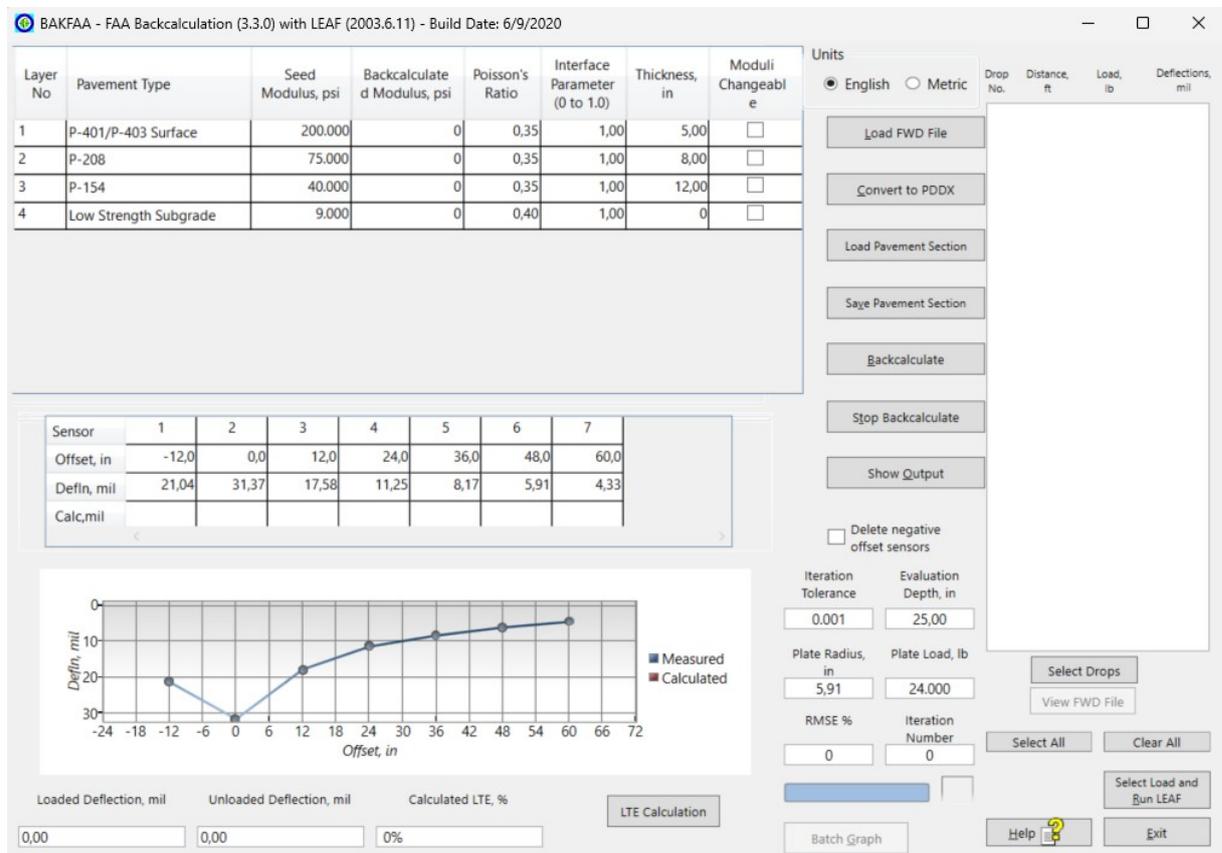


FIGURA 2.6 – Interface do software BAKFAA 3.3.0 (Autor, 2023).

2.7 FAARFIELD

Diversos softwares são utilizados para o dimensionamento da PPD (Pista de Pouso e Decolagem) em aeroportos e aeródromos. Alguns exemplos desses softwares são: FAARFIELD, PCASE, ALIZE-LCPC, APSDS, entre outros. No Brasil, o software amplamente utilizado é o FAARFIELD, desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA), com o principal objetivo de auxiliar no dimensionamento dos pavimentos flexíveis em aeroportos e aeródromos. É importante ressaltar que o dimensionamento fornecido pelo FAARFIELD é determinado para a área crítica, que corresponde aos 15 metros centrais em torno do eixo da pista. Portanto, cabe ao projetista buscar soluções que otimizem economicamente o projeto (FAA, 2021).

O FAARFIELD opera por meio de um método de dimensionamento chamado *Cumulative Damage Factor* (CDF), que busca definir as espessuras das camadas ao ajustar o tempo de projeto ao critério de falha por fadiga. Para isso, é necessário definir previamente os seguintes parâmetros do pavimento (FAA, 2021):

1. Parâmetros relativos à pista: tipo de material de cada camada (especificado pela FAA), a espessura de cada camada e o módulo de resiliência de cada camada;
2. Parâmetros relativos ao tráfego de aeronaves: tipo de cada aeronave, o peso de decolagem, o número de decolagens anuais de cada tipo de aeronave e a taxa de crescimento da operação de cada tipo de aeronave.

Para calcular o CDF, o software divide a estrutura transversalmente em segmentos de igual largura, a fim de determinar as tensões e deformações geradas por cada configuração de carga de aeronave. Como diferentes aeronaves possuem geometrias de trem de pouso e cargas distintas, é necessário somar o dano acumulado em cada trecho para calcular o CDF (FAA, 2021). A Figura 2.7 ilustra o gráfico de dano acumulado ao longo do eixo transversal de uma PPD.

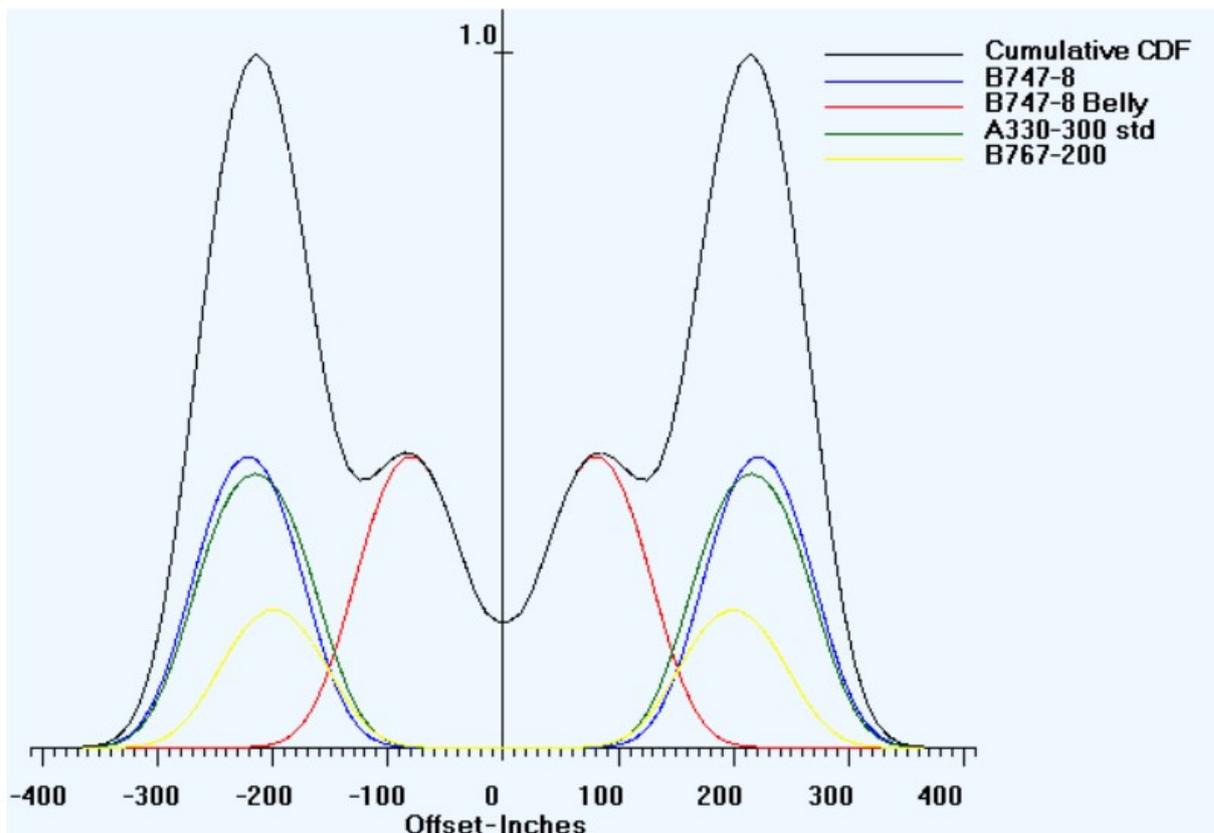


FIGURA 2.7 – Exemplo de CDF para um mix genérico de aeronaves (FAA, 2021).

No dimensionamento, o objetivo do FAARFIELD é calcular as espessuras das camadas do pavimento de forma que o valor máximo do CDF em um ponto transversal da PPD seja igual a 1. Isso indica que a vida útil do pavimento só será exaurida após todas as operações esperada para o projeto (FAA, 2021).

O FAARFIELD também se destaca por apresentar outras funções relevantes, tais como o cálculo da vida útil de um pavimento e o cálculo do PCR (*Pavement Classification*

Rating) para determinado conjunto de operações planejadas no local. A Figura 2.8 mostra a interface do software FAARFIELD em sua versão 2.1.

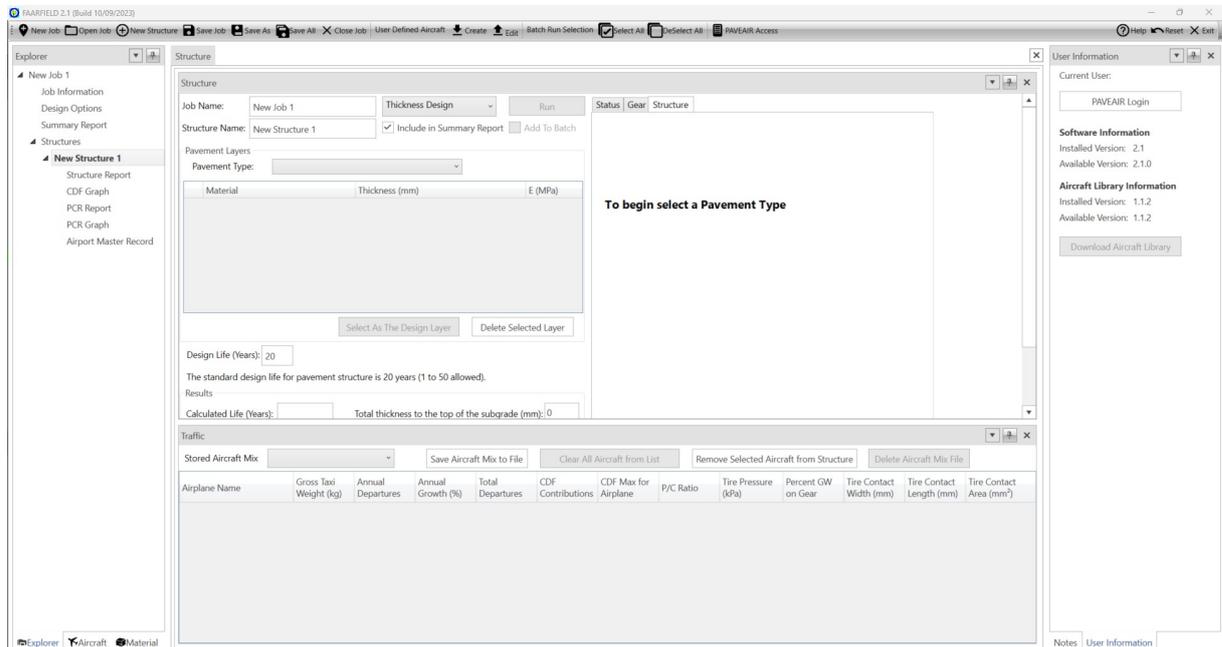


FIGURA 2.8 – Interface do software FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).

2.8 Método ACN/PCN

Como os aeroportos e aeródromos são operados por profissionais das mais diversas áreas de conhecimento, surgiu-se a necessidade de criar uma forma de classificar a operacionalidade de cada PPD por meio de uma linguagem simples. Com essa intenção originou-se o método ACN/PCN. O método ACN/PCN foi desenvolvido em 1981 pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) na tentativa de padronizar e de simplificar a avaliação estrutural. A lógica consiste em determinar o PCN (*Pavement Classification Number*) da PPD, número que reflete a capacidade portante de determinado pavimento. Em seguida, compara-se esse PCN com o ACN (*Aircraft Classification Number*) da aeronave, número que reflete o esforço solicitado do pavimento durante a operação da respectiva aeronave. Caso o PCN seja maior que o ACN, espera-se que a aeronave possa operar naquele pavimento sem restrições. No entanto, se o PCN for menor que o ACN, são necessárias avaliações adicionais para verificar se a operação pode ocorrer sem comprometer a integridade da estrutura (ANAC, 2020).

O PCN não é uma propriedade inerente do pavimento, ele é estimado a partir do mix de aeronaves, da frequência de operações, da estrutura do pavimento e de sua respectiva vida útil. Para uma explicação mais detalhada desse processo, o leitor pode consultar o Manual de Cálculo de PCN de Pavimentos Aeroportuários com COMFAA 3.0 disponibilizado pela

ANAC (2020).

2.9 Método ACR/PCR

A partir de novembro/2024, a metodologia ACN/PCN será substituída pelo método ACR/PCR. Essa mudança se deve ao fato da metodologia atual possuir certas limitações que não são justificáveis por causa do avanço de ferramentas computacionais. O método ACN/PCN se baseia em modelos empíricos que não conseguem representar adequadamente algumas distribuições de cargas causadas por configurações de trem de pouso mais complexas. Além disso, os modelos não levam em consideração as variações transversais do trem de pouso das aeronaves sobre o pavimento e não conseguem expressar satisfatoriamente certas características de materiais que são utilizados atualmente (ANAC, 2022b).

Aprovado pelo Conselho da ICAO em 2020, o método ACR/PCR traz a adoção de modelos empírico-mecanísticos com o objetivo de corrigir as deficiências conhecidas do método ACN/PCN. A utilização de modelos de falha baseados no dano acumulado permite a eliminação do excesso de conservadorismo próprio do método anterior e uma maior previsibilidade de manutenção e reabilitação dos pavimentos. Para mais detalhes, por favor confira o Manual de cálculo de PCR de Pavimentos Aeroportuários (ANAC, 2022b).

O processo de avaliação estrutural da metodologia ACR/PCR é semelhante a metodologia vista no ACN/PCN. Primeiro, determina-se o valor do PCR (*Pavement Classification Rating*), assim como o PCN, é um valor que reflete a capacidade portante de determinado pavimento. Depois, confronta-se o valor do PCR com o valor do ACR (*Aircraft Classification Rating*) da aeronave que, assim como o ACN, é um valor que reflete o esforço solicitado do pavimento durante a operação da respectiva aeronave. Caso o PCR seja maior que o ACR, espera-se que a aeronave possa operar naquele pavimento sem restrições. No entanto, se o PCR for menor que o ACR, são necessárias avaliações adicionais para verificar se a operação pode ocorrer sem comprometer a integridade da estrutura (ANAC, 2022b)

2.10 RAP - Reclaimed Asphalt Pavement

No processo de manutenção de um pavimento asfáltico danificado, costuma-se remover a camada de revestimento e substituí-la por uma nova. Segundo Oliveira (2020), o material gerado no corte pode ser classificado em duas categorias:

1. Fresado: proveniente do corte e/ou debaste de duas ou mais camadas, assim contendo material da capa de rolamento e também das camadas granulares.

2. *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP): material fresado apenas da camada de rolamento, portanto não contém resíduos de solo das camadas granulares (Base, Sub-base e Reforço).

A utilização do RAP nas misturas asfálticas apresenta diversos benefícios. Primeiramente, contribui para a preservação dos recursos naturais, uma vez que reduz a necessidade de extração de materiais virgens, como agregados e ligantes asfálticos. Secundariamente, o RAP diminui a quantidade de resíduos de construção e demolição depositados em botaforas, promovendo a sustentabilidade ambiental (ABDEL-JABER *et al.*, 2022). Ademais, a reciclagem de materiais traz uma diminuição de custos e trata-se de um fim adequado para o resíduo sólido gerado (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Nos Estados Unidos, a utilização do RAP vem se mostrando uma medida de grande sucesso. A Associação Nacional de Pavimentos de Asfalto (NAPA) estimou que a economia de custos ficou em torno US\$ 2,9 bilhões de dólares, só no ano de 2018, devido a substituição de materiais virgens por materiais reciclados (NAPA, 2018). De acordo com (MARTIN *et al.*, 2019) vem ocorrendo uma larga utilização de materiais reciclados nas rodovias americanas. No ano de 2020, 99% das 76,2 milhões de toneladas de revestimento asfáltico fresado foram reutilizadas nas misturas asfálticas.

Embora a utilização do RAP traga muitos benefícios, costuma-se limitar a porcentagem de incorporação do RAP em misturas asfálticas devido a preocupações relacionadas à qualidade do material. A grande variabilidade das propriedades mecânicas do material podem vir a ocasionar problemas de desempenho (BERNUCCI *et al.*, 2022). Por isso, na AC 150/5370-10 (FAA, 2018) a FAA deixa claro que não admite a utilização de RAP no revestimento de pavimentos aeroportuários.

3 Metodologia

Neste capítulo, será apresentado de maneira lógica a sucessão de etapas que foram fundamentais para entender e avaliar mecanicamente o emprego do RAP em pavimentos aeroportuários. Serão explicadas as ideias, hipóteses e adaptações que tornaram o Trabalho de Graduação possível. Na Figura 3.1 pode-se ver um esquema que simplifica o passo a passo da seção.

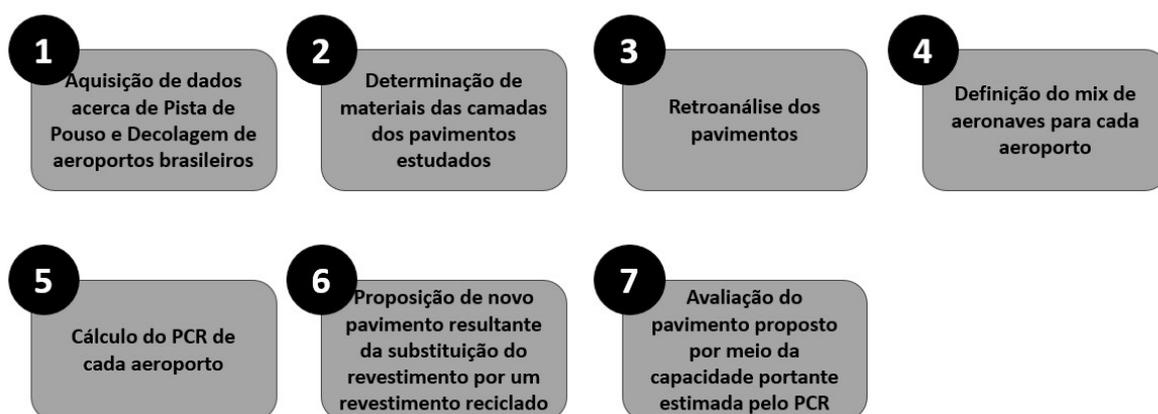


FIGURA 3.1 – Resumo da metodologia proposta (Autor, 2023).

3.1 Base de Dados

Foi fornecido pela Secretaria de Aviação Civil (SAC) dados de ensaios realizados em três aeroportos públicos: Caldas Novas/GO, Poços de Caldas/MG e Rio Verde/GO. A base de dados inclui resultados obtidos em quatro tipos de ensaios:

- Poço de Inspeção: é uma escavação que busca determinar os materiais que compõem as camadas do pavimento por meio de classificação tátil-visual em conjunto com as curvas granulométricas das amostras;
- Sondagem SPT: visa determinar o material que compõe o subleito por meio de correlações e classificação tátil-visual;

- GPR - *Ground Penetrating Radar*: aparelho que tem como objetivo obter com precisão a espessura das camadas do pavimento estudado; e
- FWD - *Falling Weight Deflectometer*: equipamento que simula a aplicação de cargas de roda para verificar o comportamento deflectométrico do pavimento.

3.2 Determinação dos módulos de resiliência das camadas dos pavimentos com o BAKFAA 3.3.0

3.2.1 Determinação de dados de entrada

Com o intuito de ilustrar o processo de retroanálise aplicado nesta monografia, foi utilizado o exemplo da retroanálise aplicada na avaliação da faixa direita da Pista de Pouso e Decolagem (PPD) do aeroporto de Caldas Novas/GO. Foram fornecidos pela Secretaria de Aviação Civil (SAC) os dados de um ensaio com FWD realizado no local. Na Figura 3.2 pode-se observar a interface do software *Microsoft Access*, onde estão explicitados todos os tipos de dados coletados no ensaio.

StationID	DropID	Histo	Stres	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
1	1	567	40,06	505,2	331,8	236,1	153,2	105,4	69,8	56,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	2	1111	78,55	978,1	668,0	495,5	336,3	235,4	150,8	107,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	3	579	40,95	441,6	285,7	197,6	123,6	87,0	58,1	41,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	4	1136	80,28	867,3	563,8	411,2	271,5	187,6	118,1	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	5	577	40,77	540,5	332,0	224,9	140,1	94,2	62,5	44,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	6	1151	81,35	1038,2	670,2	485,5	320,4	214,0	138,2	95,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	7	569	40,24	519,2	346,7	240,3	153,5	106,8	78,0	56,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	8	1136	80,32	1068,6	736,8	541,6	363,5	252,2	170,0	120,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	9	571	40,33	624,8	407,9	286,9	190,2	133,8	94,2	66,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	10	1128	79,73	1204,1	837,6	629,2	439,8	309,2	211,5	142,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	11	565	39,92	627,6	439,9	322,1	230,6	162,0	109,6	74,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	12	1131	79,95	1252,0	918,0	703,8	516,1	361,1	237,6	156,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	13	567	40,06	565,7	354,8	241,1	160,8	115,3	84,4	62,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	14	1143	80,76	1004,7	683,0	503,5	354,2	261,1	187,6	135,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	15	577	40,75	609,5	395,5	239,1	145,2	99,8	68,4	49,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	16	1145	80,94	999,1	654,0	469,6	304,1	212,1	141,6	103,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	17	568	40,15	485,1	290,5	193,0	135,5	96,5	66,9	48,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	18	1146	80,97	874,3	574,0	406,5	284,2	204,5	133,8	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	19	568	40,14	554,7	335,0	224,8	145,2	96,2	58,2	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	20	1137	80,33	927,0	633,2	443,6	291,4	189,2	110,7	77,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	21	574	40,54	538,5	345,2	228,9	150,1	104,6	70,1	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	22	1143	80,79	977,3	662,4	464,3	313,1	218,8	146,3	101,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	23	567	40,06	533,0	336,7	209,0	122,6	76,4	51,9	35,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	24	1139	80,51	894,6	614,3	400,9	243,9	157,7	103,0	76,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	25	572	40,42	451,5	292,9	185,3	117,0	79,6	46,3	32,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	26	1130	79,87	835,4	562,2	374,2	244,1	164,2	101,3	66,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	27	574	40,54	488,7	295,1	183,6	109,5	71,4	43,1	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	28	1142	80,71	792,8	526,6	342,0	215,1	138,2	81,8	55,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	29	572	40,40	538,3	317,2	200,2	115,0	69,4	39,8	25,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	30	1130	79,90	961,1	607,6	411,5	251,1	154,1	84,1	51,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	31	569	40,22	445,2	265,5	166,0	95,5	58,2	33,6	22,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	32	1135	80,23	791,7	490,5	323,8	196,3	123,2	69,9	46,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	33	572	40,45	565,2	330,0	211,3	117,0	66,2	31,6	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	34	1129	79,77	931,8	600,5	402,4	240,7	141,2	67,1	38,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	35	565	39,96	489,5	290,6	181,5	101,5	60,1	32,1	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	36	1147	81,10	870,9	550,5	368,6	224,3	135,4	71,3	41,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	37	574	40,57	505,6	309,8	200,3	109,8	65,5	35,3	20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	38	1146	81,03	873,6	557,7	383,6	225,8	138,6	73,3	43,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FIGURA 3.2 – Interface dos dados obtidos no ensaio com FWD no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Os dados relevantes para o estudo estão explicitados na Figura 3.3:

	A	B	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Position (m)	StationID	Stress (MPa)	Force (kN)	D ₁ (μm)	D ₂ (μm)	D ₃ (μm)	D ₄ (μm)	D ₅ (μm)	D ₆ (μm)	D ₇ (μm)			
2	0	1	1111,00	78,55	978,10	668,00	495,50	336,30	235,40	150,80	107,90			
3	20	2	1136,00	80,28	867,30	563,80	411,20	271,50	187,60	118,10	85,20			
4	40	3	1151,00	81,35	1018,20	670,20	485,50	320,40	214,00	138,20	95,10			
5	60	4	1136,00	80,32	1068,60	736,80	541,60	363,50	252,20	170,00	120,10			
6	80	5	1128,00	79,73	1204,10	837,60	629,20	439,80	309,20	211,50	142,70			
7	100	6	1131,00	79,95	1252,00	918,00	703,80	516,10	361,10	237,60	156,60			
8	120	7	1143,00	80,76	1004,70	683,00	503,50	354,20	261,10	187,60	135,00			
9	140	8	1145,00	80,94	999,10	654,00	469,60	304,10	212,10	141,60	103,00			
10	160	9	1146,00	80,97	874,30	574,00	406,50	284,20	204,50	133,80	95,70			
11	180	10	1137,00	80,33	927,00	633,20	443,60	291,40	189,20	110,70	77,70			
12	200	11	1143,00	80,79	977,30	662,40	464,30	313,10	218,80	146,30	101,00			
13	220	12	1139,00	80,51	894,60	614,30	400,90	243,90	157,70	103,00	76,90			
14	240	13	1130,00	79,87	835,40	562,20	374,20	244,10	164,20	101,30	66,40			
15	260	14	1142,00	80,71	792,80	526,60	342,00	215,10	138,20	81,80	55,60			
16	280	15	1130,00	79,90	961,10	607,60	411,50	251,10	154,10	84,10	51,00			
17	300	16	1135,00	80,23	791,70	490,50	323,80	196,30	123,20	69,90	46,10			
18	320	17	1129,00	79,77	931,80	600,50	402,40	240,70	141,20	67,10	38,40			
19	340	18	1147,00	81,10	870,90	550,50	368,60	224,30	135,40	71,30	41,70			

FIGURA 3.3 – Dados relevantes para a retroanálise (Autor, 2023).

a Tabela 3.1 explica a correspondência de cada variável da Figura 3.3

TABELA 3.1 – Lista de variáveis retiradas do ensaio com FWD (Autor, 2023).

Variável	Descrição	Unidade
Position	Posição da estaca na Pista de Pouso e Decolagem	Metro (m)
StationID	Número da estaca	-
Stress	Tensão de pico aplicada	Megapascal (MPa)
Force	Força de pico aplicada	Quilonewton (kN)
D ₁	Deflexão medida no primeiro geofone	Micrômetro (μm)
D ₂	Deflexão medida no segundo geofone	Micrômetro (μm)
D ₃	Deflexão medida no terceiro geofone	Micrômetro (μm)
D ₄	Deflexão medida no quarto geofone	Micrômetro (μm)
D ₅	Deflexão medida no quinto geofone	Micrômetro (μm)
D ₆	Deflexão medida no sexto geofone	Micrômetro (μm)
D ₇	Deflexão medida no sétimo geofone	Micrômetro (μm)

Inicialmente, é necessário determinar quais trechos do pavimento possuem um comportamento mecânico semelhante, uma vez que as exigências de suporte em diferentes pontos da pista são variadas devido às diferentes etapas da operação das aeronaves. Portanto, é esperado que, devido à fadiga, existam trechos com capacidades portantes diferentes no momento do ensaio. Então, de acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), recomenda-se utilizar o "Método das Diferenças Acumuladas"

(AASHTO, 1993) para a determinação das seções homogêneas (SH).

O Método das Diferenças Acumuladas baseia-se no seguinte algoritmo:

1. Calcula-se o valor médio para toda a rodovia do parâmetro a ser analisado (neste estudo será utilizado a deflexão máxima);
2. Calcula-se a diferença entre o valor pontual e o valor médio;
3. Calcula-se os valores acumulados das diferenças; e
4. Esboça-se um gráfico onde a abcissa é a referência de posição ao longo da PPD e a ordenada o valor acumulado das diferenças.

Dessa forma, faz-se um estudo a partir das deflexões medidas no primeiro geofone (deflexão máxima) para se analisar os valores acumulados da diferença. Como as medidas de deflexão são discretas, ou seja, são conhecidas apenas em pontos específicos (na posição das estacas) é necessário adaptar esses dados para que eles sejam tratados como contínuos ao longo de toda a extensão da PPD. Para isso, cria-se o conceito de deflexão média. A deflexão média entre estacas $i-1$ e i é dado por 3.1 e por 3.2.

$$\bar{D}_1 = D_1 \quad (3.1)$$

$$\bar{D}_i = \frac{D_{i-1} + D_i}{2}; \quad i \geq 2 \quad (3.2)$$

Daí, pode-se calcular a área longitudinal de deflexão ao longo da PPD por 3.3 e por 3.4.

$$A_i = \bar{D}_i \Delta l_i \quad (3.3)$$

$$A_T = \sum_{i=1}^N A_i \quad (3.4)$$

onde A_i é a área longitudinal de deflexão entre a estaca $i-1$ e a estaca i , A_T a área longitudinal de deflexão acumulada ao longo de toda PPD e Δl_i a distância entre a estaca $i-1$ e a estaca i . Com isso, pode-se determinar os valores acumulados das diferenças (Z_i) por 3.5.

$$Z_i = \sum_{k=1}^i A_k - \left(\frac{A_T}{L_c} \right) P_i \quad (3.5)$$

onde P_i é a posição da estaca e L_c o comprimento total da PPD. A organização da planilha desenvolvida na aplicação do Método das Diferenças Acumuladas pode ser visualizada na Figura 3.4.

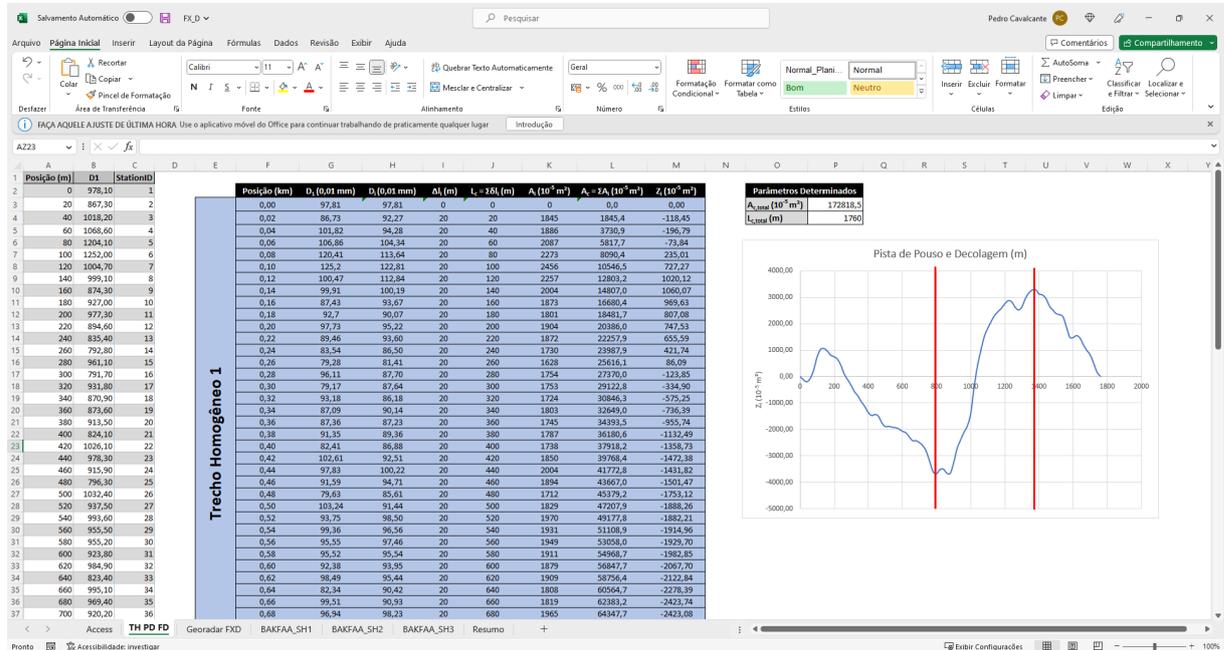


FIGURA 3.4 – Exemplo de desenvolvimento de planilha para o Método das diferenças acumuladas (Autor, 2023).

Em seguida, é traçado o gráfico dos valores acumulados das diferenças pela posição na PPD. Verificando esse perfil pode ser notado alguns pontos de inflexão ao longo da pista, estes pontos indicam a ocorrência de uma descontinuidade nas propriedades mecânicas da pista. Em outras palavras, ocorrem em transições de trechos homogêneos. No caso em particular pôde ser notado a existência de três trechos homogêneos, como está demarcado na Figura 3.5.

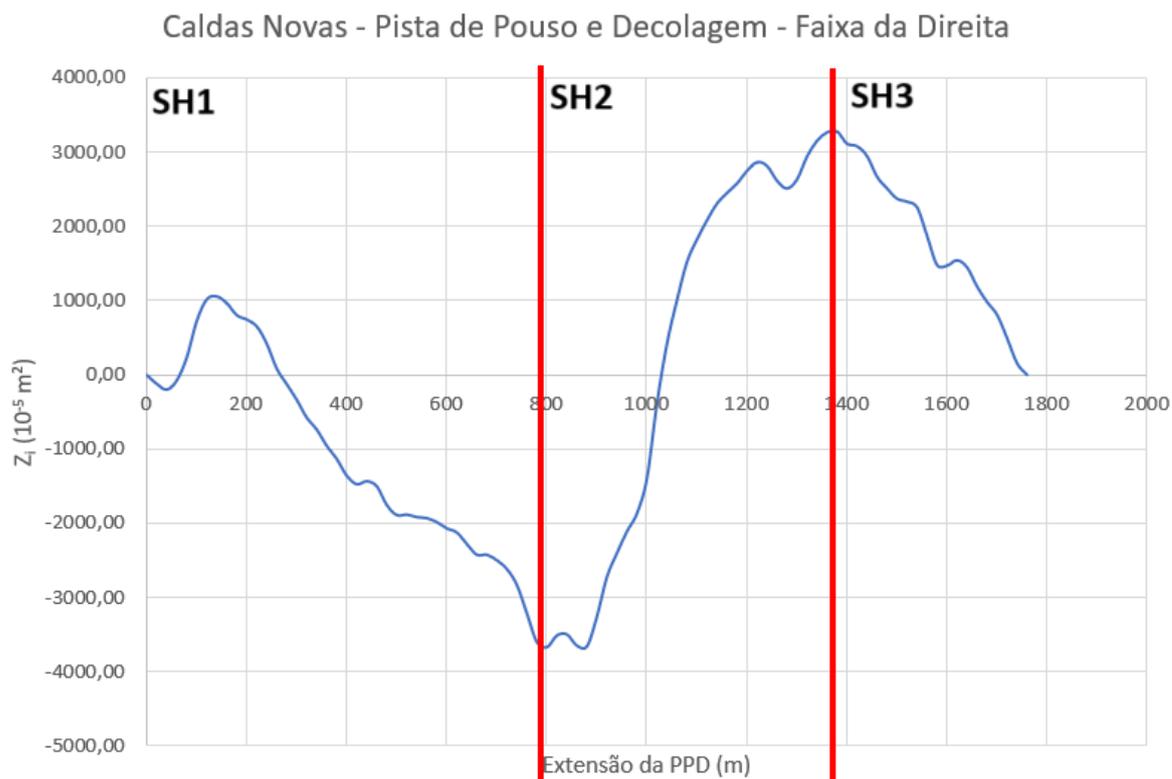


FIGURA 3.5 – Seções homogêneas determinadas na faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Outra etapa importante da retroanálise, é determinar o valor médio das espessuras de cada camada em cada trecho homogêneo, ou seja, os dados captados pelo GPR devem passar por um tratamento de dados onde serão eliminados os valores atípicos para em seguida calcular-se as espessuras médias em cada trecho homogêneo. O ensaio foi aplicado em toda a extensão da PPD com o objetivo de determinar a espessura de cada camada do pavimento ao longo de sua extensão. Em seguida, houve um tratamento estatístico para definir as espessuras médias de cada camada, visando à retroanálise. Foi utilizado o diagrama de caixa como metodologia (Figura 3.6) para classificar os valores discrepantes, onde os valores de espessura que estão entre o máximo e o mínimo do diagrama são considerados coerentes. Na Figura 3.7 pode-se ver a organização imposta para o tratamento estatístico dos dados relativos às espessuras.

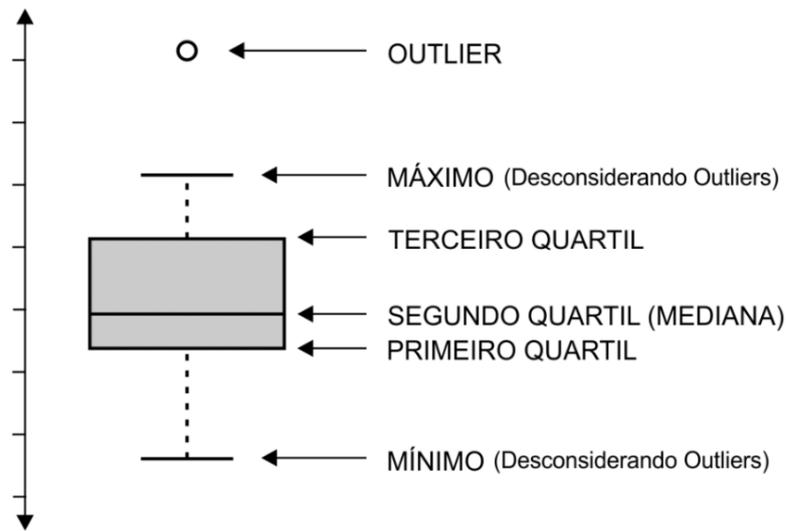


FIGURA 3.6 – Parâmetros relevantes de um diagrama de caixa (STATPLACE, 2019).

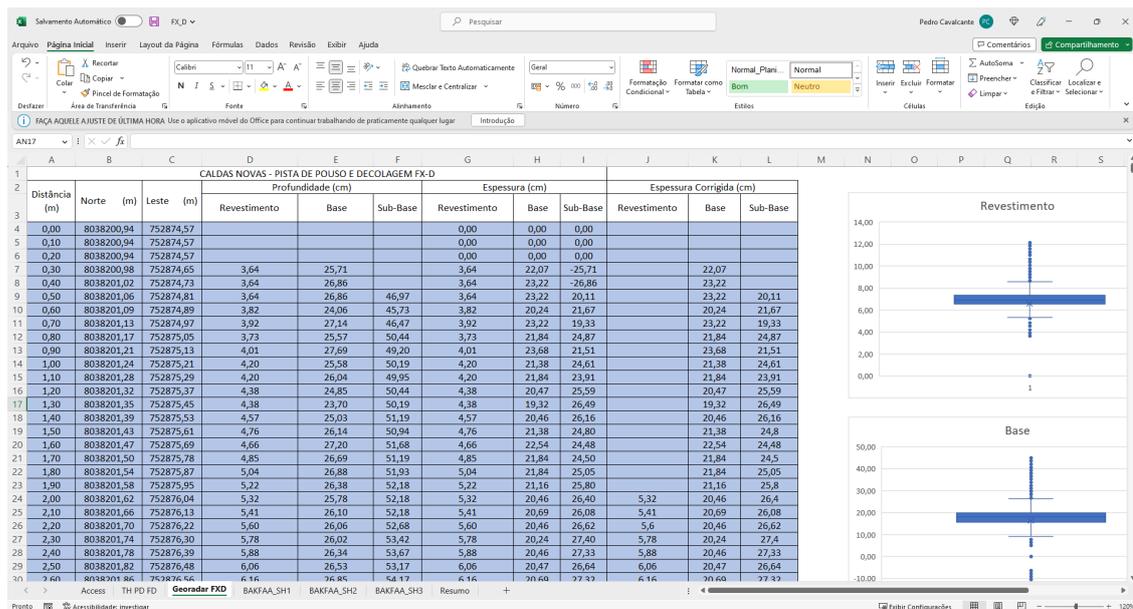


FIGURA 3.7 – Exemplo de desenvolvimento de planilha para o tratamento estatístico dos dados obtidos pelo GPR (Autor, 2023).

Então, para o aeroporito em estudo pôde-se determinar que os valores máximos, mínimos e médios para as camadas em cada trecho homogêneo foram os seguintes:

TABELA 3.2 – Valores máximos e mínimos obtidos pelo diagrama de caixa e as médias determinadas após o tratamento de dados para a faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Valor	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-Base (cm)
Máximo	8,58	26,44	45,17
Mínimo	5,32	9,19	9,03
Trecho	Valores Médios		
Trecho Homogêneo 1	6,8	19,0	25,2
Trecho Homogêneo 2	7,2	17,1	27,3
Trecho Homogêneo 3	7,1	18,2	26,0

Com as espessuras médias em mãos, pode-se prosseguir para a próxima etapa. Na fase seguinte, é necessário estimar os módulos de resiliência das camadas da PPD. A estimativa será feita a partir da adoção de valores típicos de módulos de resiliência tabelados para cada material. Sendo conhecida as curvas granulométricas de cada camada do pavimento, pode-se usá-las para determinação do material na camada em questão. Como exemplo, na Figura 3.8 pode ser observado uma curva granulométrica da base.

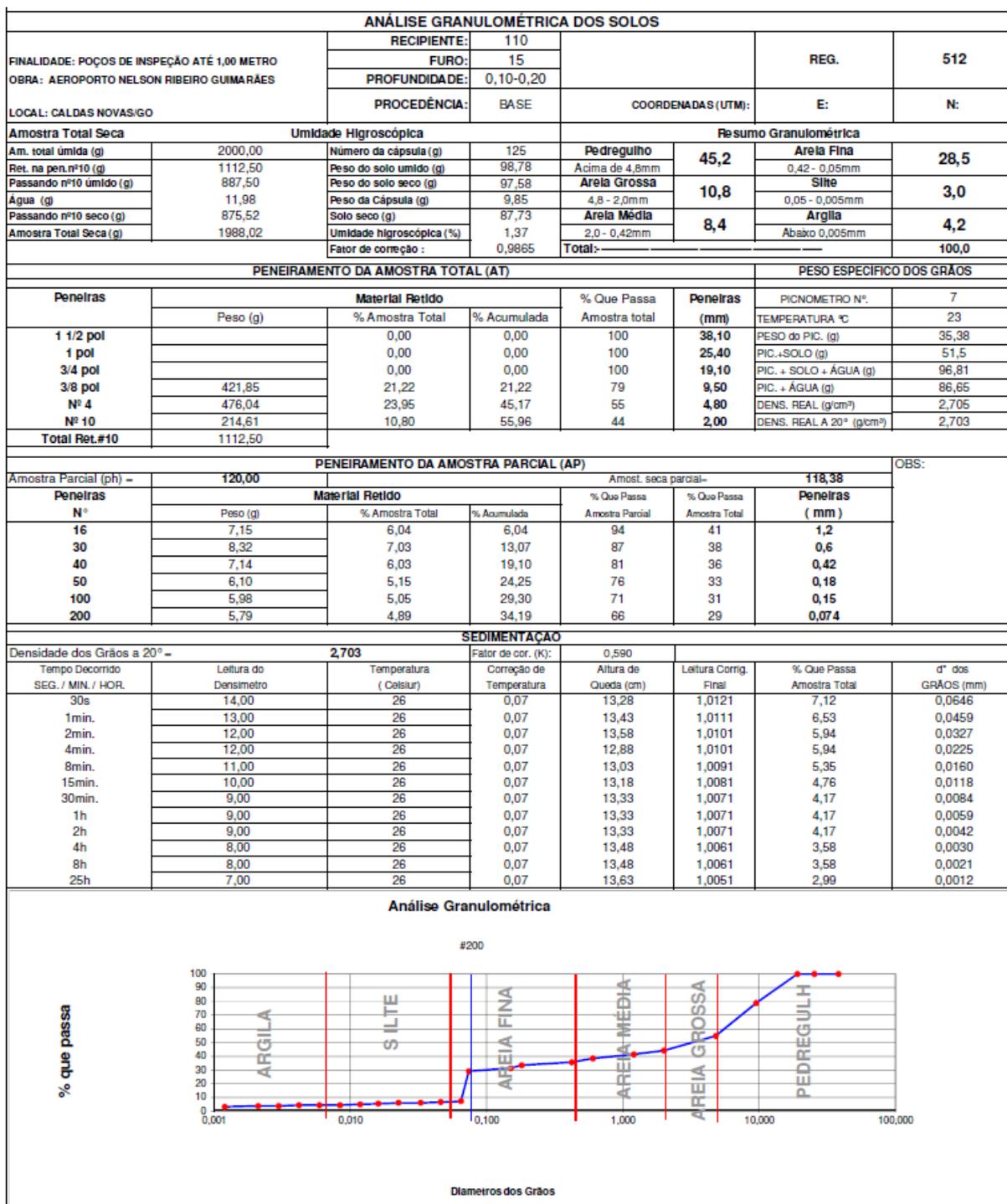


FIGURA 3.8 – Exemplo de análise granulométrica da base (Autor, 2023).

Comparando a curva granulométrica da base com o Sistema de Classificação de Solos (*Unified Soil Classification System*) (BALBO, 2007), pode-se inferir o enquadramento da base e sub-base, tendo em vista suas propriedades mecânicas e hidráulicas. O Sistema de Classificação de Solos é detalhado na Tabela 3.3. No caso em questão, foi considerado que a base como uma brita bem graduada (GW).

TABELA 3.3 – Características dos solos de acordo com sua classificação (BALBO, 2007).

Grupo	Critério de Classificação
GW	Menos de 5% passando pela #200; D_{60}/D_{10} superior ou igual a 4; $(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 e 3
GP	Menos de 5% passando pela #200; não atendendo aos demais critérios para GW
GM	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem abaixo da Linha A ou IP inferior a 4
GC	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem abaixo da Linha A; IP superior a 7
GC-GM	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem na área marcada como CL-ML
GW-GM	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de GW e GM
GW-GC	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de GW e GC
GP-GM	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de GP e GM
GP-GC	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de GP e GC
SW	Menos de 5% passando pela #200; D_{60}/D_{10} superior ou igual a 6; $(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ entre 1 e 3
SP	Menos de 5% passando pela #200; não atendendo aos demais critérios para GW
SM	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem abaixo da Linha A ou IP inferior a 4
SC	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem abaixo da Linha A; IP superior a 7
SC-SM	Mais de 12% passando pela #200; Limites de Atterberg caem na área marcada como CL-ML
SW-SM	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de SW e SM
SW-SC	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de SW e SC
SP-SM	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de SP e SM
SP-SC	5 a 12% passando na #200; atende aos critérios de SP e SC
CL	Inorgânico; $LL < 50$; $IP > 7$; cai sobre ou acima da Linha A (Zona CL)
ML	Inorgânico; $LL < 50$; $IP < 4$ ou cai acima da Linha A (Zona ML)
OL	Orgânico; (LL seco em estufa/LL não seco) $< 0,75$; $LL < 50$ (Zona OL)
CG	Inorgânico; $LL \geq 50$; IP cai sobre ou abaixo da Linha A (Zona CH)
MH	Inorgânico; $LL \geq 50$; IP cai abaixo da Linha A (Zona MH)
OH	Orgânico; (LL seco em estufa/LL não seco) $< 0,75$; $LL \geq 0,50$ (Zona OH)
CL-ML	Inorgânico; recai sobre a área marcada como CL-ML
Pt	Solos altamente orgânicos

Por fim, um ensaio SPT foi feito com o objetivo de identificar o material predominante no subleito e, conseqüentemente, obter uma estimativa da capacidade portante do material por meio das tabelas fornecidas pelo DER-DF (DER-DF, 2021) para fins de retroanálise. O estudo em campo foi conduzido pela empresa *ATP Engenharia LTDA.*, seguindo toda a metodologia aplicada para a realização da Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT da NBR-6484/2020 (ABNT, 2020). No aeroporto de Caldas Novas/GO foi informado no relatório que o subleito é composto de um silte argiloso (solo de comportamento laterítico).

Finalmente, com os materiais da base, sub-base e subleito definidos foi possível consultar a tabela de valores usuais de coeficiente de Poisson (Figura 3.9) e de Estimativa dos Módulos de Resiliência (Figura 3.10) disponibilizada pelo DER-DF (2021).

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento <i>Portland</i>	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

FIGURA 3.9 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson por material (DER-DF, 2021).

Materiais	Intervalo de Valores de Módulos de Resiliência (Mpa)
Concretos Asfálticos:	
Revestimento (CAP 50/70)	2000 – 5000
Revestimento (CAP 30 /45)	2500 – 4500
Binder (CAP 50/70)	2000 – 3000
Binder (CAP 30 /45)	2500 – 4000
Materiais Granulares:	
Brita Graduada	150 – 300
Macadame Hidráulico	250 – 450
Materiais Estab. Quimicamente	
Solo Cimento	5000 – 10000
Brita Graduada Tratada com Cimento	7000 – 18000
Concreto Compactado com Rolo	7000 – 22000
Concreto de Cimento Portland	30000 – 35000
Solos Finos em Base e Sub-base	150 – 300
Solos Finos em Subleito e Reforço do Subleito	
Solos de Comportamento Laterítico LA, LA', LG'	100 – 200
Solos de Comportamento não Laterítico	25 – 75
Solos Finos Melhorados com Cimento para Reforço de Subleito	200 – 400
Concreto de Cimento Portland	28000 – 45000

FIGURA 3.10 – Estimativas dos Módulos de Resiliência por material (DER-DF, 2021).

Assim, uma vez determinados todos os dados de entradas necessários, o processo de retroanálise pode ser iniciado no BAKFAA.

3.2.2 Retroanálise pelo BAKFAA 3.3.0

Para aplicar a retroanálise do BAKFAA 3.3.0 em um pavimento, são necessários os seguintes parâmetros físicos da estrutura estudada:

1. Carga de pico aplicada pelo FWD;
2. Espessura de cada camada que compõe o pavimento;
3. Coeficiente de Poisson de cada camada; e
4. Estimativa inicial do valor do Módulo de Resiliência de cada camada.

A estimativa inicial dos valores de módulo de resiliência de cada camada será posteriormente refinada pelo próprio software. No entanto, é importante ressaltar a relevância de escolher valores coerentes para esses parâmetros, uma vez que o algoritmo é iterativo e os resultados podem ser sensíveis às condições iniciais. A metodologia para determinar esses parâmetros físicos foi discutida na Seção 3.2.1.

A etapa seguinte da retroanálise consiste na inicialização do BAKFAA, que é realizado por meio da interface mostrada na Figura 3.11.

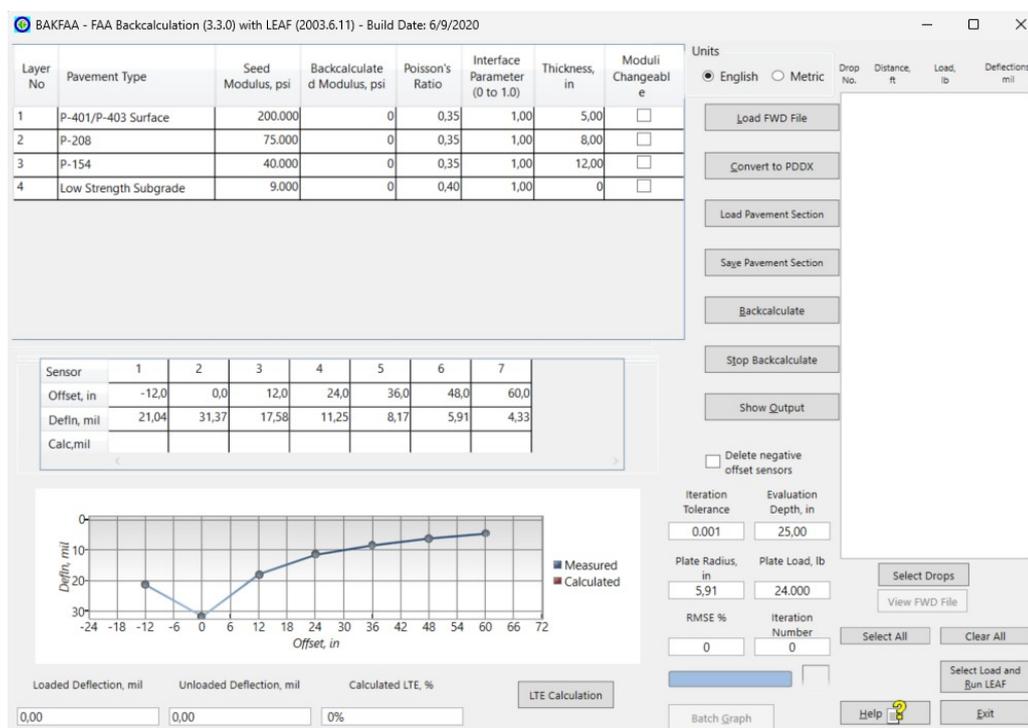


FIGURA 3.11 – Interface do software BAKFAA (Autor, 2023).

Em seguida, utilizando o comando "Load FWD File" é possível importar os dados de um ensaio deflectométrico com FWD. É importante ter o cuidado de manter apenas os

dados correspondentes à seção homogênea objeto da retroanálise. Em outras palavras, a retroanálise de cada seção homogênea deve ser feita separadamente, uma vez que, naturalmente, serão determinados valores diferentes de módulo de resiliência para cada trecho. A Figura 3.12 exemplifica os dados do ensaio que deverão ser importados nessa etapa.

Sensors	1	2	3	4	5	6	7	
Offset, mm	0	200	300	450	600	900	1200	

Delete Drop	Test Number	Drop Number	Distance, m	Load, KN	Defln, mc 1	Defln, mc 2	Defln, mc 3	Defln, mc 4	Defln, mc 5	Defln, mc 6	Defln, mc 7
<input type="checkbox"/>	1	2	0	79	978	668	496	336	235	151	108
<input type="checkbox"/>	2	2	20	80	867	564	411	272	188	118	85
<input type="checkbox"/>	3	2	40	81	1018	670	486	320	214	138	95
<input type="checkbox"/>	4	2	60	80	1069	737	542	364	252	170	120
<input type="checkbox"/>	5	2	80	80	1204	838	629	440	309	212	143
<input type="checkbox"/>	6	2	100	80	1252	918	704	516	361	238	157
<input type="checkbox"/>	7	2	120	81	1005	683	504	354	261	188	135
<input type="checkbox"/>	8	2	140	81	999	654	470	304	212	142	103
<input type="checkbox"/>	9	2	160	81	874	574	407	284	205	134	96
<input type="checkbox"/>	10	2	180	80	927	633	444	291	189	111	78
<input type="checkbox"/>	11	2	200	81	977	662	464	313	219	146	101
<input type="checkbox"/>	12	2	220	81	895	614	401	244	158	103	77
<input type="checkbox"/>	13	2	240	80	835	562	374	244	164	101	66
<input type="checkbox"/>	14	2	260	81	793	527	342	215	138	82	56
<input type="checkbox"/>	15	2	280	80	961	608	412	251	154	84	51

FIGURA 3.12 – Dados do ensaio com FWD importados para o BAKFAA (Autor, 2023).

Depois, deve-se adicionar ao software a composição do pavimento em questão, definindo a quantidade de camadas, suas espessuras, os módulos de resiliência estimados e seus respectivos coeficientes de Poisson. A Figura 3.13 identifica a posição em que essas informações devem ser adicionadas.

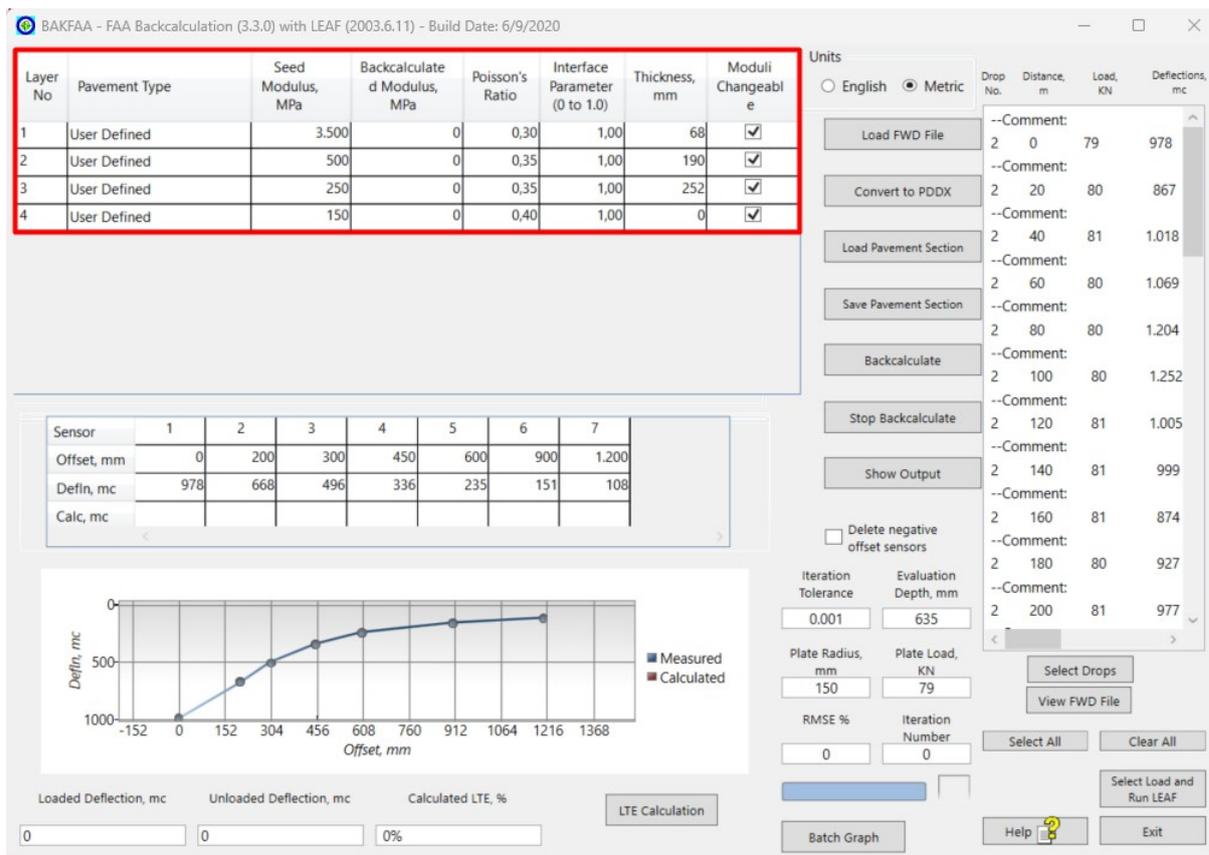


FIGURA 3.13 – Informações físicas do pavimento importadas para o BAKFAA (Autor, 2023).

Por fim, é possível utilizar o comando "Backcalculate" para que o software estime o módulo de resiliência para cada medida de deflexão e carga. Na Figura 3.14 é ilustrado o método do BAKFAA, que consiste em realizar iterações sucessivas, ajustando a combinação de módulos de resiliência para que a curva teórica se adeque à curva medida em campo.

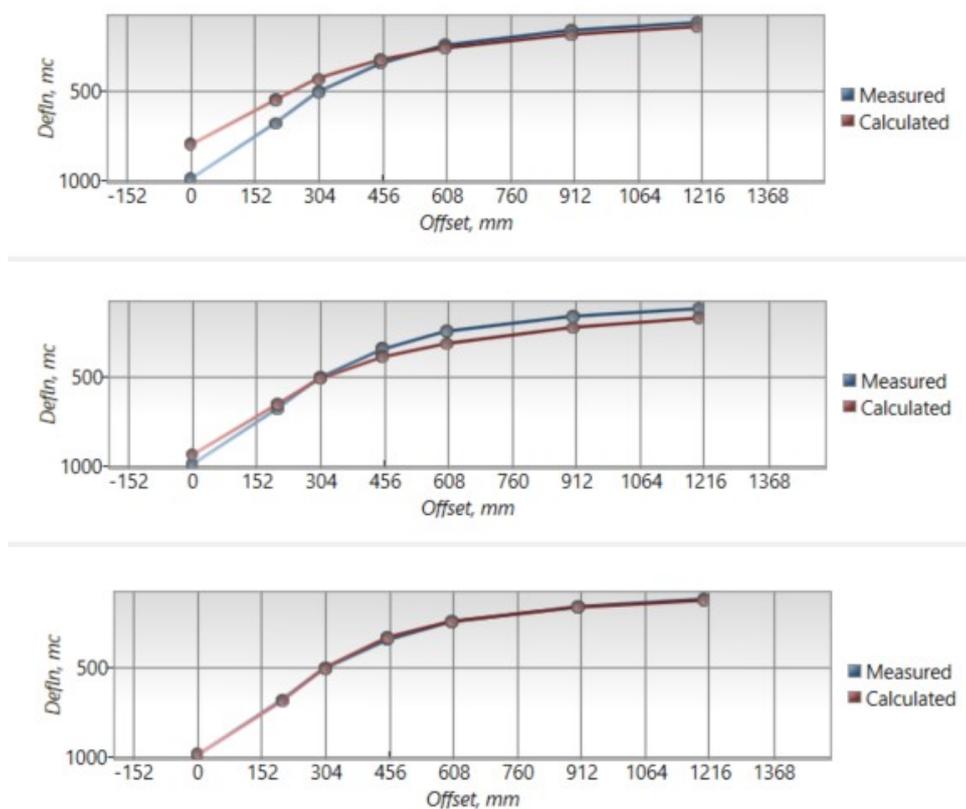


FIGURA 3.14 – Ajuste de curva deflectométrica no BAKFAA 3.3.0 (Autor, 2023).

Agora, é necessário realizar a análise estatística dos dados de saída gerados pelo BAKFAA.

3.2.3 Tratamento dos resultados da retroanálise

O BAKFAA estima o módulo de resiliência de cada camada para cada medida do FWD. Com os módulos determinados, ele pode estimar o RMSE (Root Mean Squared Error, em português, erro quadrático médio) que é um parâmetro que indica a coerência da curva teórica com a colhida em campo. Na última etapa, os dados são tratados utilizando o software *Microsoft Excel*. Nesse processo, são retomados os dados que não estão dentro do intervalo de confiança de 95%, considerando uma distribuição normal. Em seguida, é calculada a média dos valores que não foram considerados como outliers. A definição de um intervalo de confiança de 95% pode ser observado na Figura 3.15.

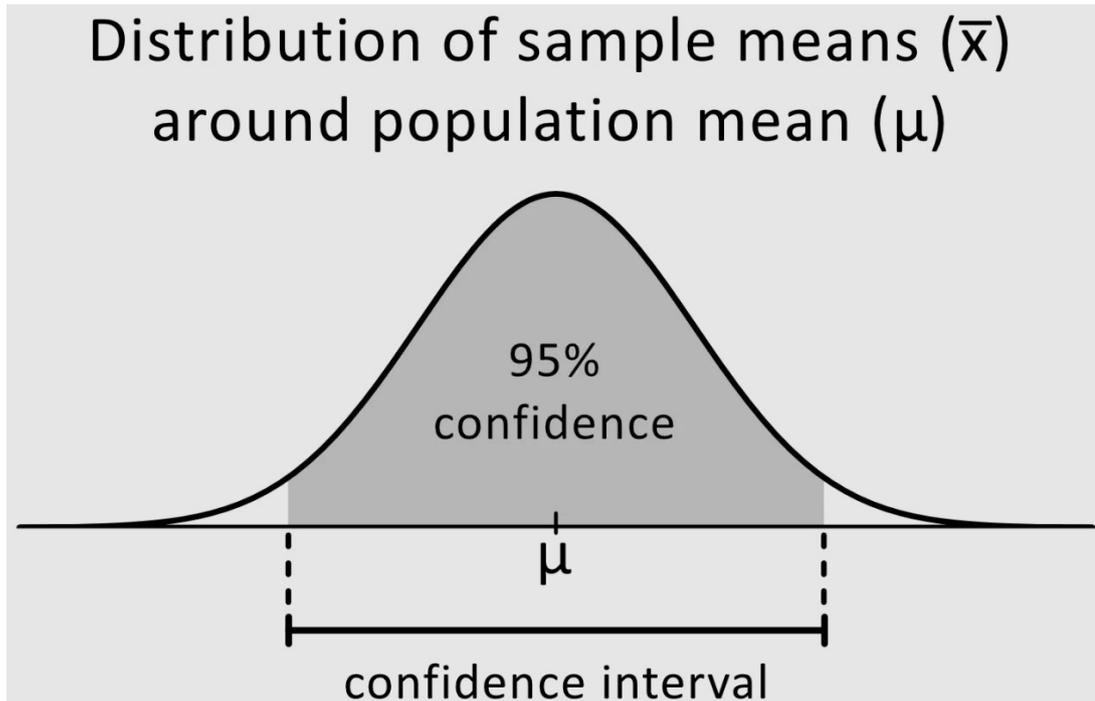


FIGURA 3.15 – Intervalo de Confiança de 95% (OMNI CALCULATOR, 2023).

Dessa forma, foi possível determinar os parâmetros mecânicos de cada camada. O resumo do processo para a faixa direita da PPD do Aeroporto de Caldas Novas, com os dados de entrada e dados de saída, pode ser visualizado na Figura 3.16.

Quadro Resumo - Caldas Novas - FXD									
SH	Início	Fim	Camada	Espessura (mm)	Espessura Total (mm)	Materiais	Módulo Inicial (MPa)	Médias Corrigidas (MPa)	Médias dos Erros (%)
1	0	800	Revestimento	68	510	Revestimento (CAP 50/70)	3500	4191	6
			Base	190		Brita Bem Graduada	500	278	
			Sub-base	252		Brita Graduada Simples	250	120	
			Sub-leito	0		Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	150	249	
2	800	1380	Revestimento	72	516	Revestimento (CAP 50/70)	3500	3686	4
			Base	171		Brita Bem Graduada	500	236	
			Sub-base	273		Brita Graduada Simples	250	148	
			Sub-leito	0		Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	150	123	
3	1380	1760	Revestimento	71	513	Revestimento (CAP 50/70)	3500	4305	4
			Base	182		Brita Bem Graduada	500	235	
			Sub-base	260		Brita Graduada Simples	250	168	
			Sub-leito	0		Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	150	225	

FIGURA 3.16 – Resumo do processo de retroanálise na faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

3.3 Definição do mix de aeronaves

Em seu portal eletrônico (ANAC, 2023), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) disponibiliza uma série de dados abertos sobre as operações realizadas em aeroportos brasileiros. As informações mais importantes disponibilizadas nessa base de dados são: Empresa Aérea responsável pela operação, Ano e Mês das operações, Aeroporto de Origem, número de Decolagens, Assentos Disponíveis, Passageiros Pagos, Passageiros Grátis, entre outros. No presente estudo, será utilizado o quantitativo das operações do ano de 2022 como valor base para as operações do mix de aeronaves para o referido período de projeto.

Novamente, será utilizado o exemplo do aeroporto de Caldas Novas (SBCN) como forma de ilustrar o procedimento. Primeiramente, filtra-se na base de dados as operações por aeroporto para o ano de 2022. Com isso, é possível calcular o número médio de assentos por voo dividindo a variável ASSENTOS pela variável DECOLAGENS como pode ser visto na Figura 3.17

EMPRESA_SIGLA	EMPRESA_NOME	ANO	MES	AEROPOR	GRUPO_DE_VOO	PASSAGEIROS_PAGOS	PASSAGEIROS_GRATIS	DECOLAGENS	ASSENTOS	Assentos por Voo
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	1	SBCN	REGULAR	1158	23	13	1484	114
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	1	SBCN	NÃO REGULAR	1384	18	16	1888	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	2	SBCN	REGULAR	628	7	8	944	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	3	SBCN	REGULAR	946	11	9	1062	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	4	SBCN	REGULAR	822	6	8	944	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	5	SBCN	REGULAR	968	15	9	1062	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	6	SBCN	REGULAR	888	24	9	1062	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	7	SBCN	REGULAR	930	6	8	944	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	8	SBCN	REGULAR	878	9	8	944	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	9	SBCN	REGULAR	936	1	9	1062	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	10	SBCN	REGULAR	745	15	8	944	118
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	11	SBCN	NÃO REGULAR	104	0	1	174	174
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	11	SBCN	REGULAR	623	4	8	896	112
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	12	SBCN	NÃO REGULAR	82	0	2	190	95
AZU	AZUL LINHAS AÉREAS	2022	12	SBCN	REGULAR	796	21	9	1062	118
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	1	SBCN	REGULAR	753	15	8	1200	150
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	2	SBCN	REGULAR	745	12	8	1248	156
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	3	SBCN	REGULAR	215	2	2	372	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	3	SBCN	REGULAR	814	13	8	1248	156
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	4	SBCN	REGULAR	1095	34	8	1488	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	5	SBCN	REGULAR	1239	31	9	1603	178
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	6	SBCN	NÃO REGULAR	102	0	1	160	160
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	6	SBCN	REGULAR	1248	24	9	1495	166
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	7	SBCN	NÃO REGULAR	1695	23	13	2364	182
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	7	SBCN	REGULAR	1315	21	9	1674	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	8	SBCN	NÃO REGULAR	454	3	3	558	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	8	SBCN	REGULAR	1199	43	8	1488	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	9	SBCN	REGULAR	1231	34	9	1578	175
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	10	SBCN	REGULAR	974	26	8	1248	156
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	10	SBCN	REGULAR	146	1	1	186	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	11	SBCN	REGULAR	893	29	8	1488	186
GLO	GOL LINHAS AÉREAS	2022	12	SBCN	REGULAR	806	29	9	1290	143
TAM	TAM LINHAS AÉREAS	2022	1	SBCN	REGULAR	1173	0	9	1602	178
TAM	TAM LINHAS AÉREAS	2022	6	SBCN	REGULAR	800	0	8	800	100

FIGURA 3.17 – Dados sobre operações no aeroporto de Caldas Novas/GO no ano de 2022 (Autor, 2023).

Depois, surge a necessidade de definir quais são as aeronaves que operaram no aeroporto no ano de 2022. Para isso, foi feito o levantamento das frotas de aviões utilizadas pelas companhias aéreas como pode ser observado na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Frotas de aeronaves de cada companhia aérea que operou em SBCN (AVIACAOCOMERCIAL, 2023) (GOL, 2023) (LATAM, 2023).

Companhia Aérea	Aeronave	Capacidade
Azul	Airbus A320neo	174
	Airbus A321neo	214
	Airbus A330-200	242 ou 272 ou 278
	Airbus A330-900	298
	Airbus A350-900	334
	ATR 72-600	70
	Cessna 208B	9
	Embraer E-195	118
	Embraer E195-E2	136
Gol	Boeing 737-700	138
	Boeing 737-800	186
	Boeing 737-78 MAX	186
Latam	Boeing 787-9	303-304
	Boeing 787-8	247
	Boeing 767	221-238
	Boeing 777	410
	Airbus 321	220-224
	Airbus 320	162-180
	Airbus 319	144

Por fim, conhecendo o número médio de assentos por decolagem, as aeronaves das companhias aéreas e suas respectivas capacidades pode-se, por comparação, estimar um mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas/GO no ano de 2022 que pode ser visualizado na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas/GO com base no ano de 2022 (Autor, 2023).

Aeronave	Decolagens	Taxa de crescimento anual de operações
Embraer E-195	124	3%
Boeing 737-800	121	3%
Airbus 319	9	3%
Airbus 320	8	3%
Airbus 320neo	1	3%

Foi feito esse estudo para cada um dos três aeroportos estudados. A taxa de crescimento anual da operação de cada aeronave foi fixada em 3% em todos os casos visto que

esse fator depende de fatores extrínsecos que não entram no mérito do trabalho.

3.4 Cálculo do PCR de pavimento aeroportuário com o FAARFIELD 2.1

Para estimar o PCR dos pavimentos aeroportuários estudados foi utilizado o software FAARFIELD 2.1. Seguindo a linha de pensamento ilustrativa, será utilizada o exemplo da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO para demonstrar o processo. O procedimento deve ser feito para cada seção homogênea (de cada faixa) determinada na retroanálise, pois o PCR corresponderá ao menor PCR dentre os calculados.

A primeira etapa consiste em definir a seção homogênea na ferramenta computacional. Basta selecionar a opção *New flexible* em *Pavement Type* e em seguida personalizar as camadas com as propriedades da seção homogênea desejada como pode ser visto na Figura 3.18. O Anexo A.1 expõe todas as opções de materiais que o FAARFIELD 2.1 suporta.

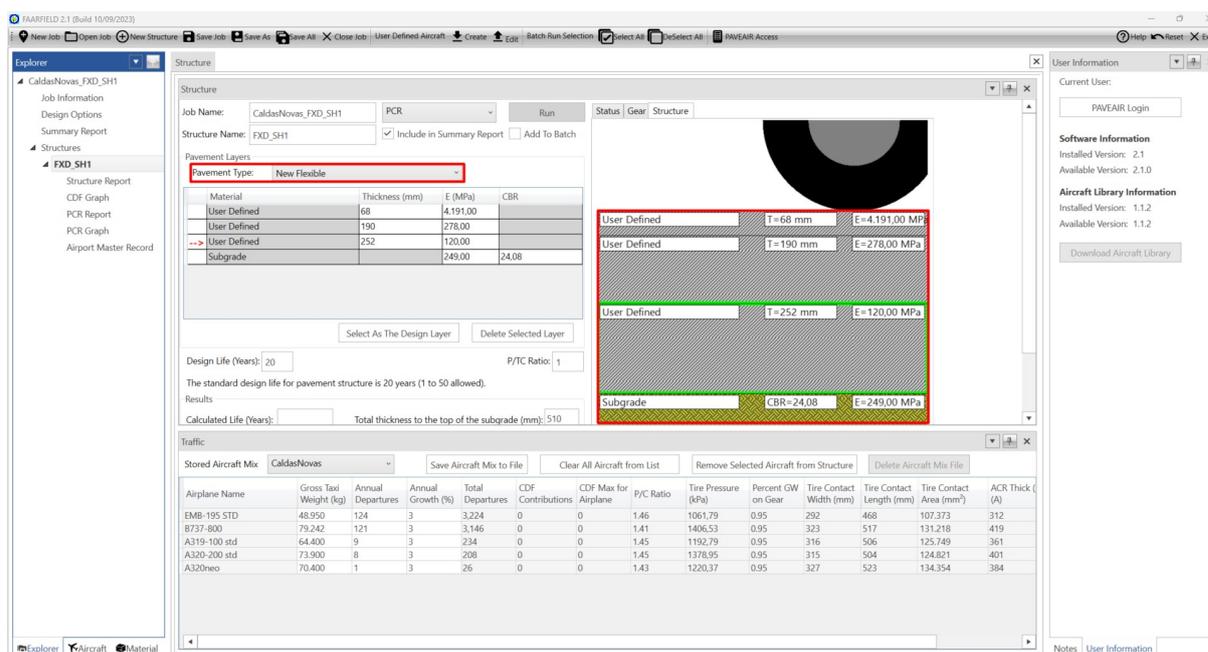


FIGURA 3.18 – Definição de Seção Homogênea no FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).

Posteriormente, adiciona-se o mix de aeronaves que foi definido para o aeroporto por meio da aba *Aircraft*. Seleciona-se as aeronaves disponíveis no banco de dados que são correspondentes àquelas definidas no mix de aeronaves do aeroporto e altera-se o valor do número de decolagens para o valor de projeto. Será mantido o paradigma do software em relação ao peso de decolagem de cada aeronave. Os comandos que devem ser utilizados no FAARFIELD podem ser vistos na Figura 3.19.

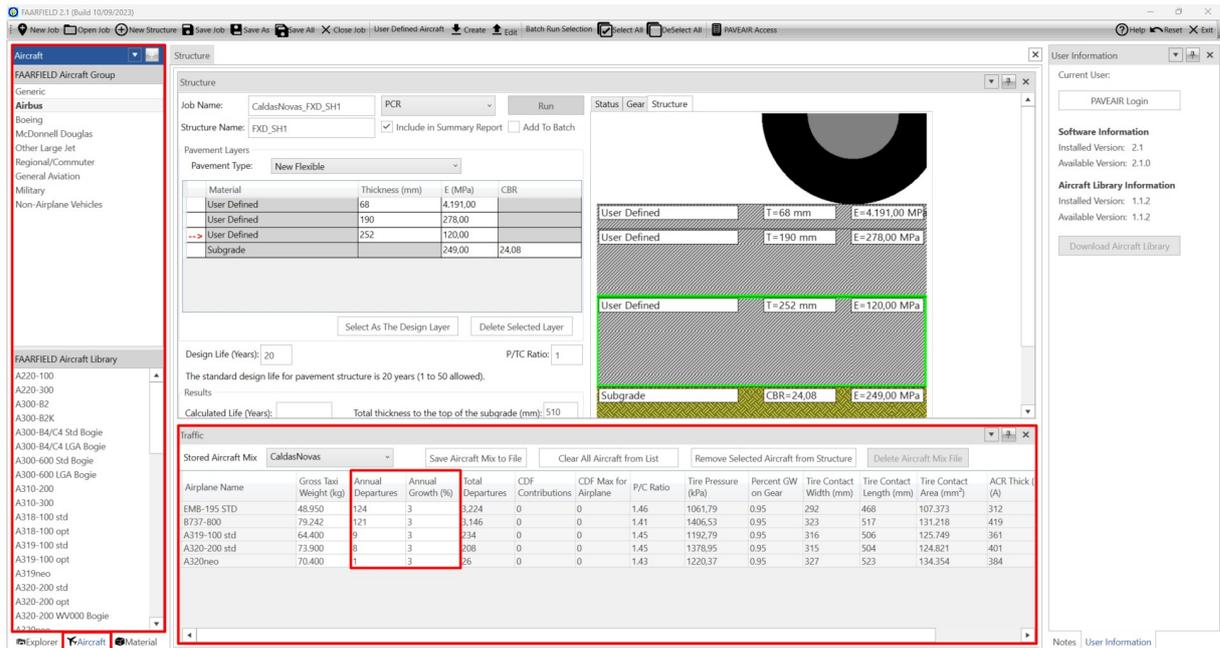


FIGURA 3.19 – Dados sobre operações no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Por fim, utiliza-se o comando "Run" com a opção "PCR" selecionada e determina-se o PCR daquela seção homogênea como pode ser visualizado na Figura 3.20. Como não é possível mensurar o estado de fadiga da PPD a partir dos dados de ensaios disponíveis, em todos os cálculos de PCR foi considerado uma vida útil de projeto de 20 anos.

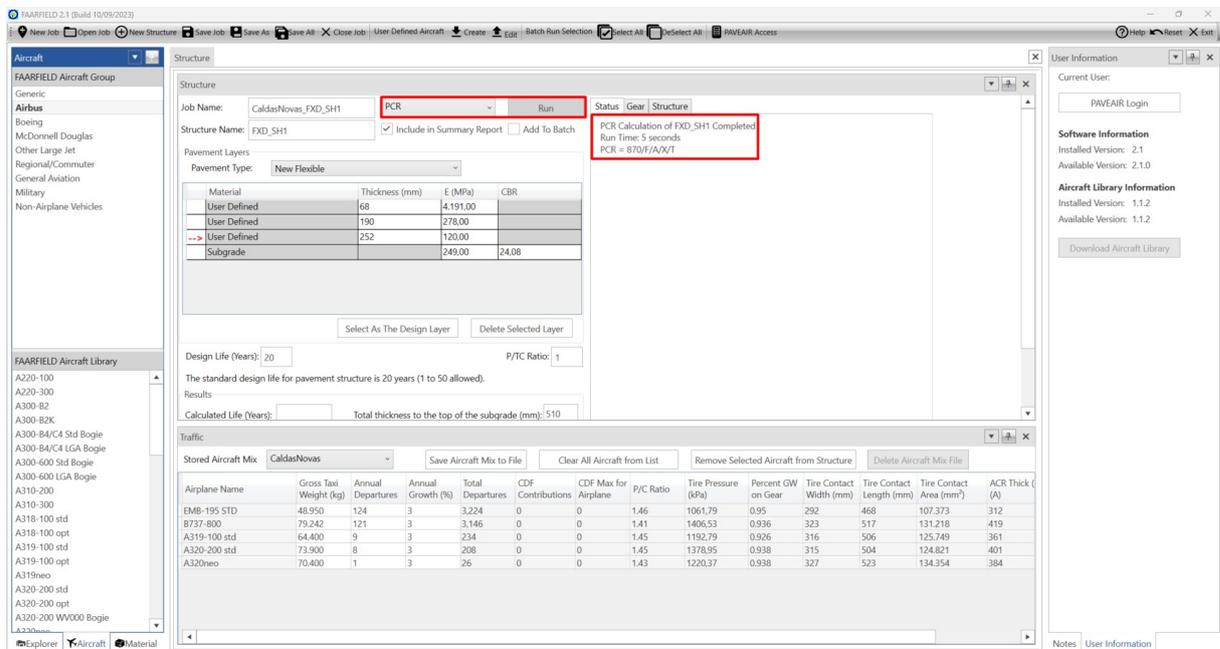


FIGURA 3.20 – Comando para o Cálculo de PCR no FAARFIELD 2.1 (Autor, 2023).

Após fazer esse mesmo processo para todas as seções homogêneas pode-se determinar o PCR da PPD que corresponderá ao menor valor dentre esses PCR's. A Tabela 3.6

compila os valores de PCR para cada seção homogênea na PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO.

TABELA 3.6 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD (Autor, 2023).

Faixa	Seção Homogênea	PCR
Direita	1	870/F/A/X/T
	2	400/F/B/X/T
	3	720/F/A/X/T
Esquerda	1	470/F/B/X/T
	2	1310/F/A/X/T
	3	380/F/B/X/T
	4	770/F/A/X/T
Pista de Pouso e Decolagem		380/F/B/X/T

Portanto, para o aeroporto de Caldas Novas/ foi calculado um PCR de 380/F/B/X/T. Onde F indica que é um pavimento flexível, B indica a categoria do subleito, X a pressão máxima admissível para os pneus das aeronaves e T indica que o cálculo foi feito pela metodologia técnica. Os parâmetros para codificação do PCR estão definidos no Anexo B.1.

3.5 Definição de pavimento flexível com revestimento reciclado

Esta seção consiste em uma hipótese de substituição da camada de revestimento dos pavimentos estudados por uma camada de mistura asfáltica composta em sua totalidade (100%) por RAP com incorporação de agente rejuvenescedor (AR-5 Cyclopav 100). Como Oliveira (2020) mostrou em seu trabalho, o material com RAP incorporado apresenta um desgaste cântabro satisfatório porém o desgaste aumenta conforme o aumento do teor de RAP na mistura. Com isso, como o pressuposto é a utilização do pavimento em aeroportos e em aeródromos, sugere-se a adoção de um microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF) com o objetivo de evitar a desagregação de *foreign object debris* (FOD) (ANAC, 2022a) que possam vir a causar danos em aeronaves que lá operam. A Figura 3.21 ilustra de maneira genérica as camadas do novo pavimento proposto.

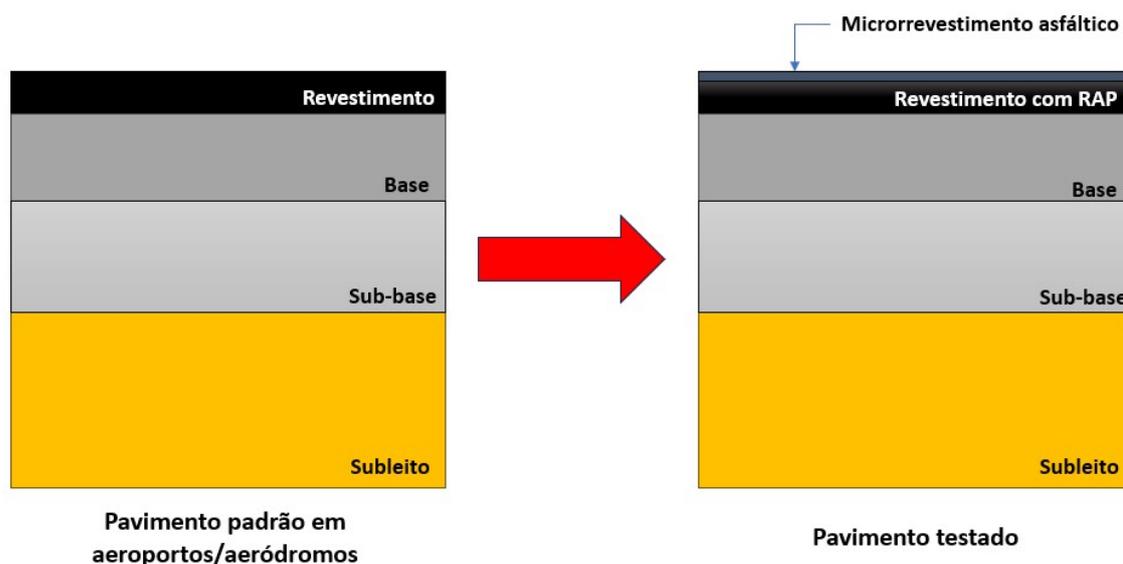


FIGURA 3.21 – Proposição de pavimento com revestimento de mistura asfáltica com RAP e agente rejuvenescedor (Autor, 2023).

3.6 Definição de pavimento flexível incorporado com RAP incorporado por meio do FAARFIELD 2.1

O pavimento flexível incorporado com RAP, como descrito na Seção 3.5, deve demonstrar capacidade para suportar o tráfego de aeronaves ao longo do período de projeto, com a finalidade de ser considerado viável. Portanto, a espessura da camada de revestimento com RAP é dimensionada de tal forma que cada seção homogênea tenha o mesmo PCR que a seção homogênea original, de tal modo que possa se observar a magnitude da economia de material. Para isso, modela-se o pavimento proposto na seção anterior com o auxílio do software FAARFIELD 2.1.

Como o MRAF não é relevante para fins estruturais, tal camada não precisa ser adicionada na estrutura dentro do software FAARFIELD 2.1. Então, a alteração se dará apenas na camada de revestimento. Portanto, é alterado o valor do módulo de resiliência da camada de revestimento para o valor médio do módulo de resiliência determinado no estudo de Oliveira (2020) para a mistura asfáltica com incorporação de 100% de RAP. O valor adota foi o seguinte:

$$MR_{RAP} = 11.441,33 \text{ MPa} \quad (3.6)$$

Já o valor da espessura é ajustado manualmente até que o valor do PCR da nova seção seja igual ao PCR da seção original. A Figura 3.22 mostra os parâmetros alterados.

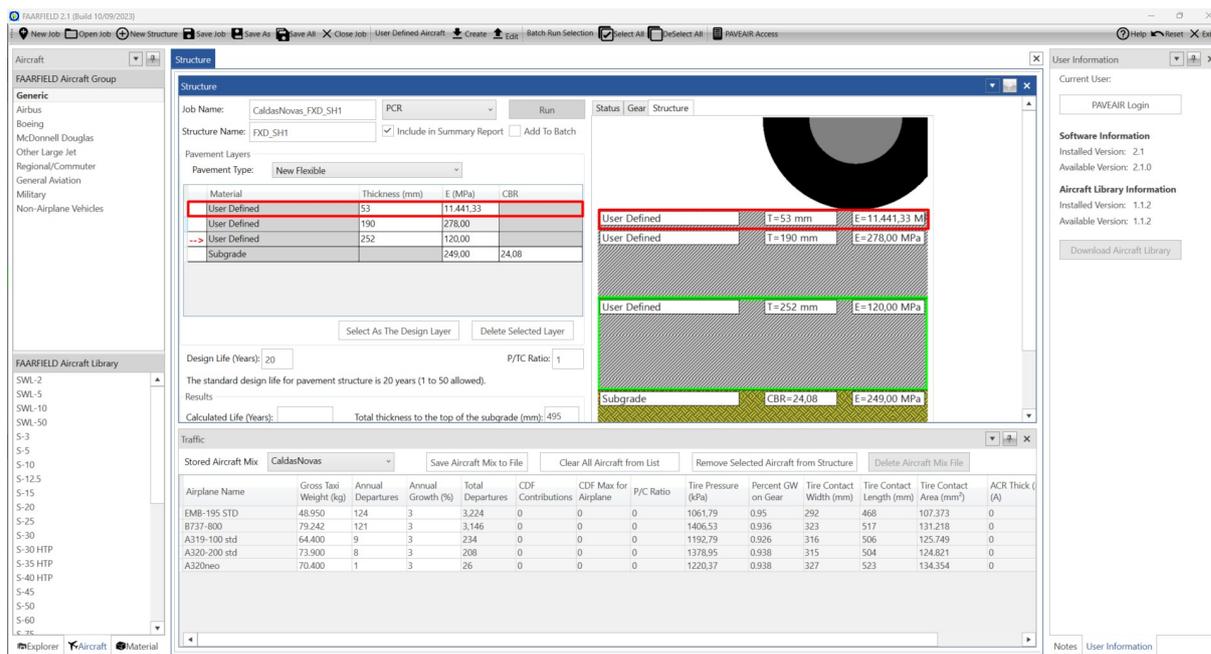


FIGURA 3.22 – Adição dos parâmetros da nova camada de revestimento (Autor, 2023).

É importante ressaltar que, em geral, são considerados dois critérios de danos para pavimentos flexíveis (ANAC, 2022b):

1. Por fadiga em materiais betuminosos; e
2. Por deformações permanentes em materiais granulares.

Como a camada de revestimento foi modelada como uma camada do tipo "User Defined" (mais informações sobre esse tipo de camada no Anexo A.1) o software se torna incapaz de fazer a análise por fadiga no revestimento. Esta limitação é relevante visto que a camada de RAP mesmo apresentando maior rigidez apresenta uma menor vida de fadiga que o CAP 50/70 (OLIVEIRA, 2020). Portanto, em trabalhos posteriores seria interessante caracterizar uma curva CDF específica para o material em questão.

Portanto, como não existe a possibilidade no FAARFIELD de adicionar algum parâmetro que classifique o nível de fadiga das camadas genéricas, optou-se por calcular o PCR sempre utilizando os mesmos parâmetros (variando apenas os módulos de elasticidade das camadas) de maneira que ocorra uma comparação justa. O Apêndice A exibe os parâmetros da estrutura e do mix de aeronaves no FAARFIELD 2.1, onde estão dispostos todos os parâmetros utilizados, como exemplo, na seção homogênea 1 do aeroporto de Caldas Novas/GO.

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo, será apresentado uma síntese dos resultados obtidos após a aplicação da metodologia instituída no Capítulo 3. Serão destacados e discutidos, individualmente, os pontos relevantes que puderam ser concluídos da pesquisa em cada um dos aeroportos que foram objeto de estudo.

4.1 Caldas Novas/GO

O primeiro aeroporto objeto de estudo é o Aeroporto Nelson Ribeiro Guimarães (ICAO: SBCN) que está localizado no município de Caldas Novas, Goiás. Seguindo a metodologia explicada na Seção 3 pode-se executar a retroanálise em sua PPD a partir dos dados obtidos de ensaios fornecidos pela Secretaria de Aviação Civil (SAC).

Inicialmente, tratando as informações do ensaio com FWD pode-se determinar as seções homogêneas em cada faixa por meio do Método das Diferenças Acumuladas. A Figura 4.1 e a Figura 4.2 indicam os perfis de estudo encontrados em cada faixa e a Tabela 4.1 descreve as seções homogêneas.

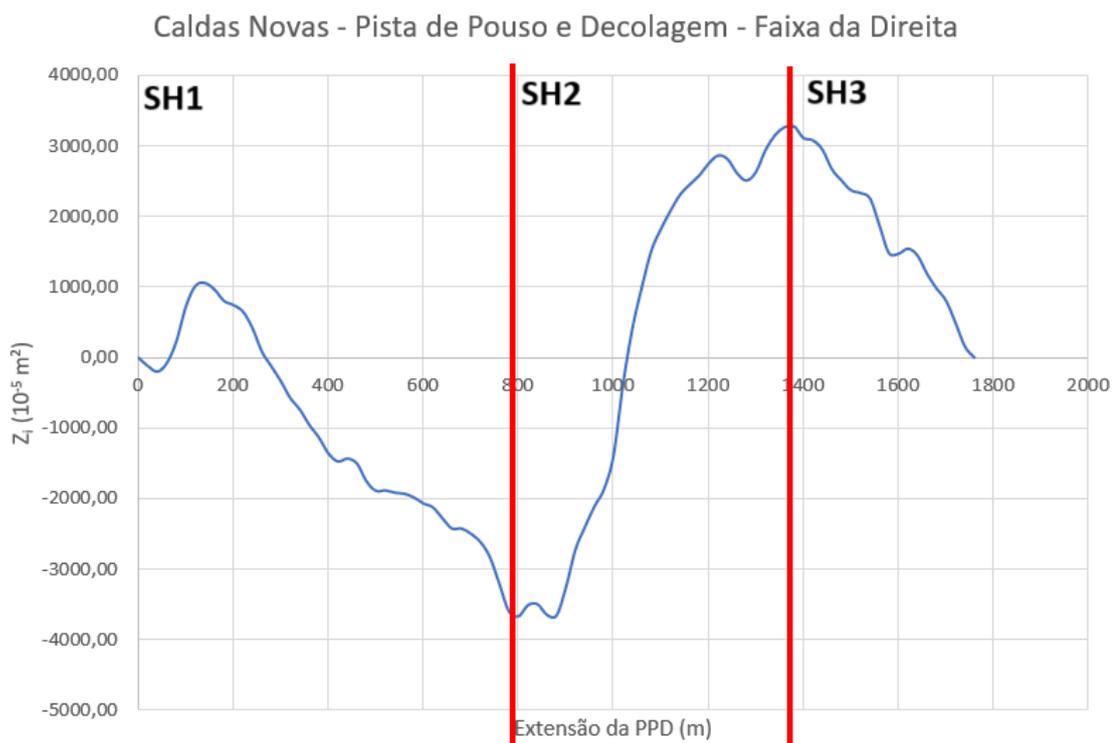


FIGURA 4.1 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

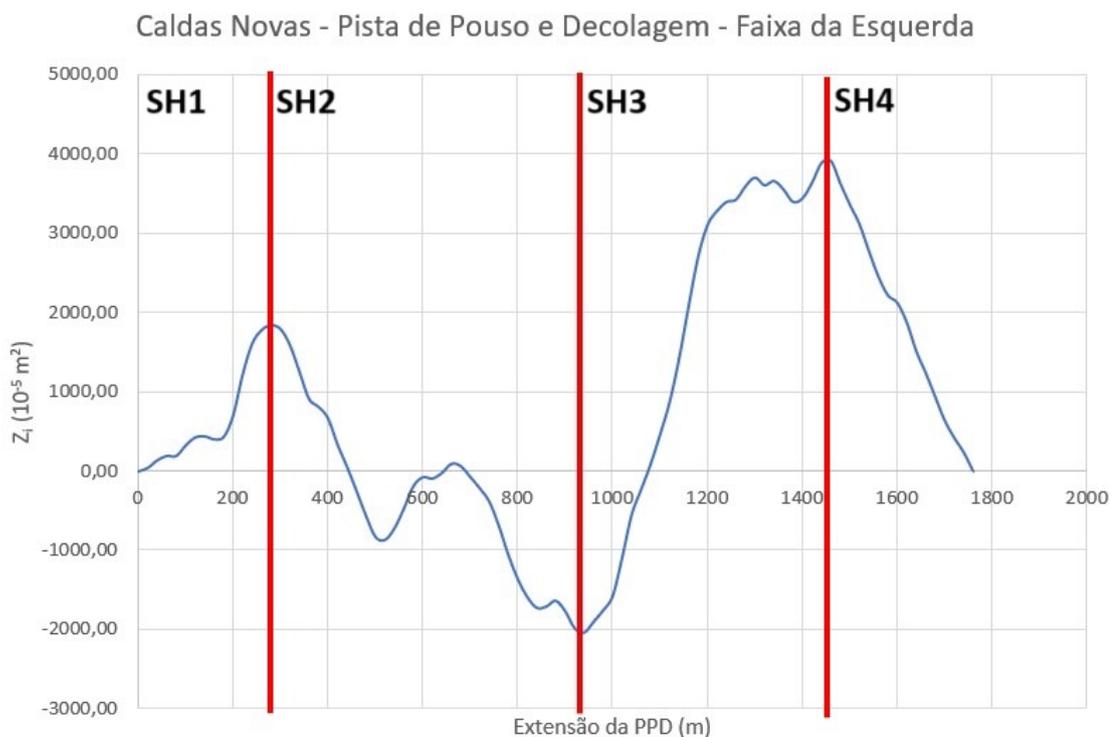


FIGURA 4.2 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

É interessante observar que a seção homogênea 2 da faixa da esquerda poderia ser dividida em duas, porém como seriam criadas duas seções muito pequenas (menores que 200 metros) preferiu-se mantê-la e verificar posteriormente o resultado da retroanálise.

TABELA 4.1 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa de Referência	Início (m)	Término (m)
1		0	800
2	Faixa da Direita	800	1380
3		1380	1760
1		0	280
2	Faixa da Esquerda	280	940
3		940	1460
4		1460	1760

Depois, foi feito o estudo estatístico das informações adquiridas pelo GPR e determinou-se as espessuras médias das camadas para cada seção homogênea. As espessuras médias estão expostas na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa	Revestimento (mm)	Base (mm)	Sub-base (mm)
1		68	190	252
2	Direita	72	171	273
3		71	182	260
1		69	195	254
2	Esquerda	61	207	307
3		68	189	254
4		79	162	289

Em seguida, enquadra-se os materiais utilizados no pavimento asfáltico dentro dos critérios do Sistema de Classificação de Solos de maneira que seja possível estimar um módulo de resiliência característico para cada tipo de material. Para o aeroporto de Caldas Novas estimou-se os módulos de resiliência que constam na Tabela 4.3

TABELA 4.3 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Camada	Material	Módulo de Resiliência (MPa)
Revestimento	CAP 50/70	3500
Base	Brita Bem Graduada	500
Sub-base	Brita Graduada Simples	250
Subleito	Solo de Comportamento Laterítico LG'	150

Após isso, foi realizado uma retroanálise por meio do software BAKFAA 3.3.0 e prontamente foi feito o tratamento estatístico dos módulos de resiliência determinados pelo programa computacional. O resultado da retroanálise pode ser observado na Figura 4.3.

Quadro Resumo - Caldas Novas - FXD						
SH	Início	Fim	Camada	Material	Médias Corrigidas (MPa)	Médias dos Erros (%)
1	0	800	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4191	6
			Base	Brita Bem Graduada	278	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	120	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	249	
2	800	1380	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	3686	4
			Base	Brita Bem Graduada	236	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	148	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	123	
3	1380	1760	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4305	4
			Base	Brita Bem Graduada	235	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	168	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	225	
Quadro Resumo - Caldas Novas - FXE						
1	0	280	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4234	3
			Base	Brita Bem Graduada	214	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	151	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	142	
2	280	940	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	5064	6
			Base	Brita Bem Graduada	238	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	147	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	294	
3	940	1460	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4543	2
			Base	Brita Bem Graduada	251	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	145	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	115	
4	1460	1900	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4013	5
			Base	Brita Bem Graduada	281	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	163	
			Sub-leito	Argila Siltosa - Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	219	

FIGURA 4.3 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Percebe-se que a seção homogênea 2 da faixa esquerda realmente teve um erro médio maior do que as outras seções, porém como ainda foi um erro razoável optou-se por manter aquela seção. Por fim, pode-se determinar o PCR da PPD ao comparar os PCR's de cada seção homogênea. Primeiro define-se o mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas e suas respectivas taxas de crescimento anual. O mix pode ser visualizado na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Caldas Novas/GO com base no ano de 2022 (Autor, 2023).

Aeronave	Decolagens	Taxa de crescimento anual de operações
Embraer E-195	124	3%
Boeing 737-800	121	3%
Airbus 319	9	3%
Airbus 320	8	3%
Airbus 320neo	1	3%

Com o pavimento aeroportuário e o mix de aeronaves definidos, pode-se calcular o PCR de cada seção homogênea e o PCR da PPD corresponderá ao menor PCR dentre os PCRs das seções homogêneas. Os valores de PCR determinados no aeroporto de Caldas Novas/GO estão expostos na Tabela 4.5.

TABELA 4.5 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Faixa	Seção Homogênea	PCR
Direita	1	870/F/A/X/T
	2	400/F/B/X/T
	3	720/F/A/X/T
Esquerda	1	470/F/B/X/T
	2	1310/F/A/X/T
	3	380/F/B/X/T
	4	770/F/A/X/T
Pista de Pouso e Decolagem		380/F/B/X/T

Por fim, a última etapa consiste em estimar a espessura de mistura asfáltica reciclada que traria a mesma capacidade portante a cada seção homogênea. A Tabela 4.6 explicita as espessuras propostas para o novo revestimento e a respectiva economia de material.

TABELA 4.6 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Faixa	Seção	PCR	PCR Novo	Rev. (mm)	Var. (mm)
Direita	1	870/F/A/X/T	870/F/A/X/T	53	-15
	2	400/F/B/X/T	400/F/B/X/T	52	-20
	3	720/F/A/X/T	720/F/A/X/T	56	-15
Esquerda	1	470/F/B/X/T	470/F/B/X/T	53	-16
	2	1310/F/A/X/T	1310/F/A/X/T	51	-10
	3	380/F/B/X/T	380/F/B/X/T	52	-16
	4	770/F/A/X/T	770/F/A/X/T	69	-18

Percebe-se que em todos os casos observou-se um ganho considerável em espessura do revestimento. O Gráfico 4.4 resume o ganho por trecho homogêneo (em azul) e o ganho médio em toda a pista (em laranja) que calculado por uma média ponderada.

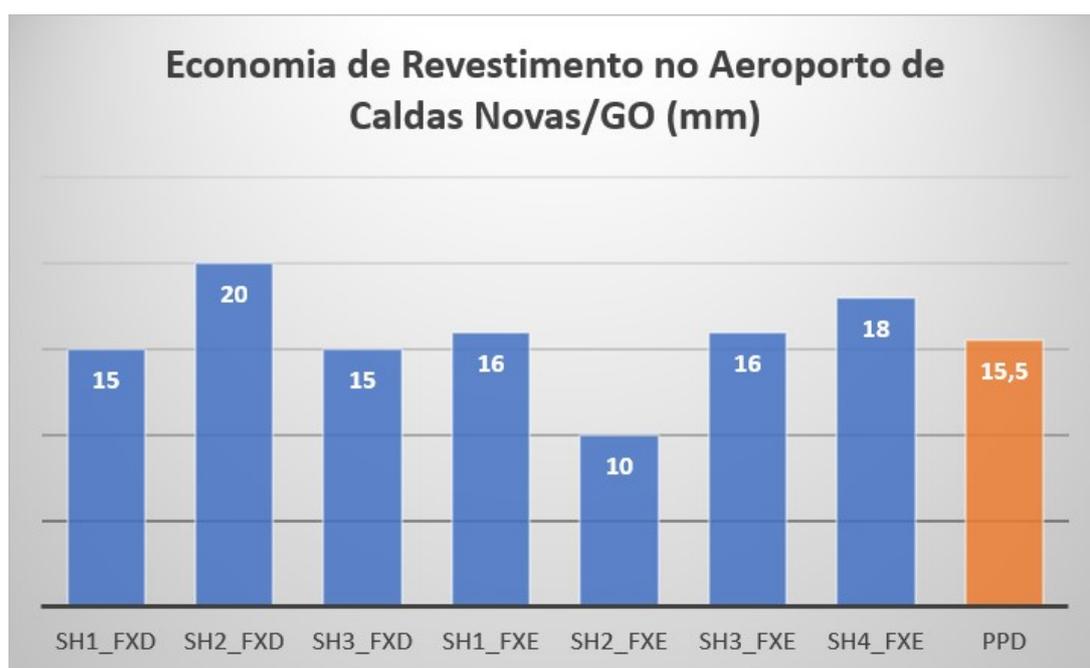


FIGURA 4.4 – Economia esperada de revestimento no aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Nota-se que a utilização da mistura asfáltica com RAP causaria, em média, uma redução de cerca de 15 mm da camada de revestimento ao longo da pista. Essa redução corresponderia a uma economia de aproximadamente 22,5% de mistura asfáltica no revestimento. Portanto, verifica-se que a partir de uma visão puramente mecanicista seria viável e interessante a utilização de uma mistura asfáltica reciclada no pavimento aeroportuário em questão.

4.2 Poços de Caldas/MG

O segundo aeroporto objeto de estudo é o Aeroporto Embaixador Walther Moreira Salles (ICAO: SBPC) que está localizado no município de Poços de Caldas, Minas Gerais. Seguindo a metodologia explicada na Seção 3 pode-se executar a retroanálise em sua PPD a partir dos dados obtidos de ensaios fornecidos pela Secretaria de Aviação Civil (SAC).

Inicialmente, tratando as informações do ensaio com FWD pode-se determinar as seções homogêneas em cada faixa por meio do Método das Diferenças Acumuladas. A Figura 4.5 e a Figura 4.6 indicam os perfis de estudo encontrados em cada faixa e a Tabela 4.7 descreve as seções homogêneas.

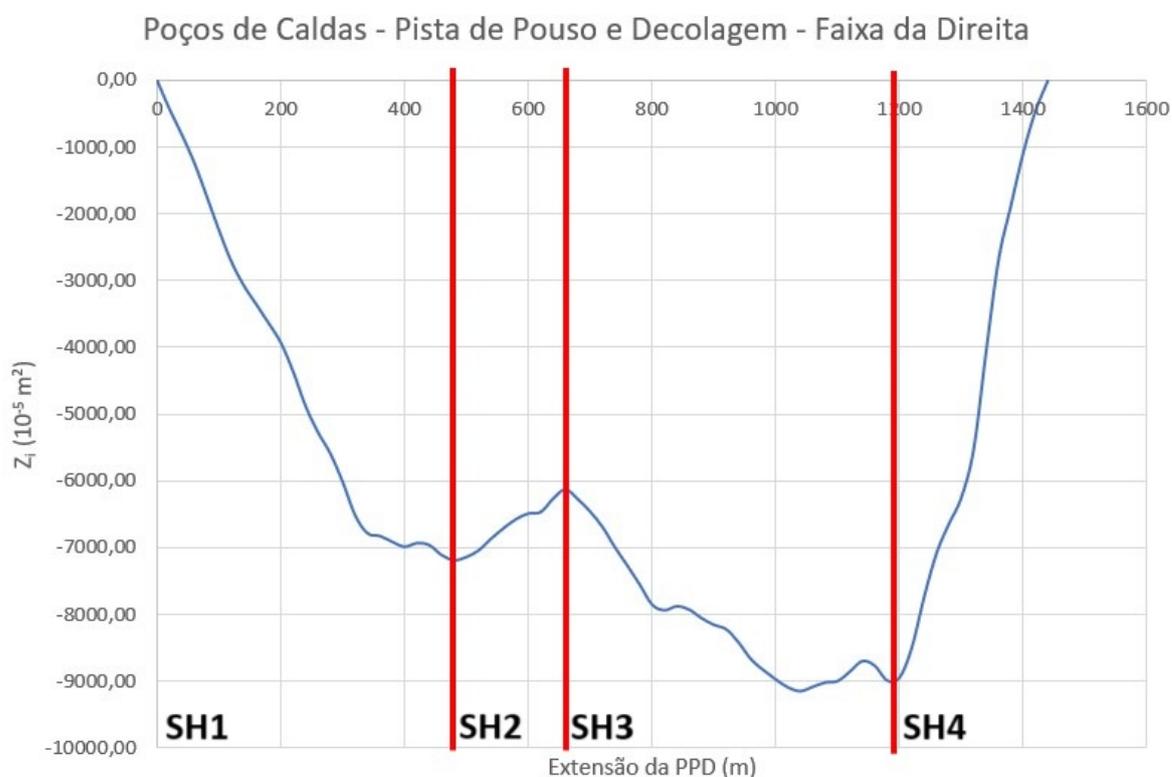


FIGURA 4.5 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

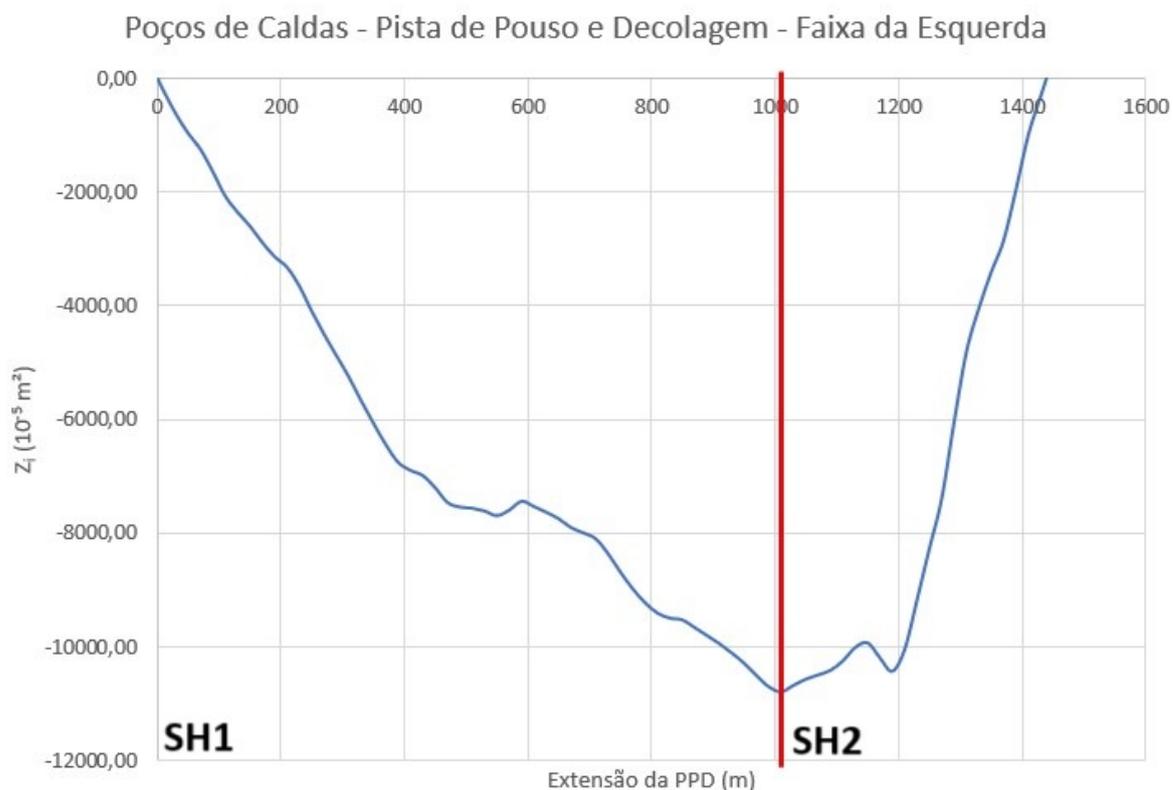


FIGURA 4.6 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Percebe-se que a seção homogênea 2 da faixa da direita conta com apenas 180 metros, foi optado por separá-la das demais por ela apresentar um comportamento distinto da seção anterior e da seção posterior.

TABELA 4.7 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa de Referência	Início (m)	Término (m)
1	Faixa da Direita	0	480
2		480	660
3		660	1180
4		1180	1440
1	Faixa da Esquerda	0	1010
2		1010	1440

Depois, foi feito o estudo estatístico das informações adquiridas pelo GPR e determinou-se as espessuras médias das camadas para cada seção homogênea. As espessuras médias estão expostas na Tabela 4.8.

TABELA 4.8 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa	Revestimento (mm)	Base (mm)	Sub-base (mm)
1	Direita	118	101	152
2		81	111	187
3		85	100	217
4		77	142	156
1	Esquerda	89	139	201
2		74	173	184

Em seguida, enquadra-se os materiais utilizado no pavimento asfáltico dentro dos critérios do Sistema de Classificação de Solos de maneira que seja possível estimar um módulo de resiliência característico para cada tipo de material. Para o aeroporto de Poços de Caldas estimou-se os módulos de resiliência que constam na Tabela 4.9

TABELA 4.9 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Camada	Material	Módulo de Resiliência (MPa)
Revestimento	CAP 50/70	3500
Base	Brita Bem Graduada	500
Sub-base	Brita Graduada Simples	250
Subleito	Solo de Comportamento Laterítico LG'	150

Após isso, foi realizado uma retroanálise por meio do software BAKFAA 3.3.0 e prontamente foi feito o tratamento estatístico dos módulos de resiliência determinados pelo programa computacional. O resultado da retroanálise pode ser observado na Figura 4.7.

Quadro Resumo - Poços de Caldas - FXD						
SH	Início	Fim	Camada	Materiais	Médias Corrigidas (MPa)	Médias dos Erros (%)
1	0	480	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	5211	2
			Base	Brita Bem Graduada	1016	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	447	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	166	
2	480	660	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	5293	3
			Base	Brita Bem Graduada	705	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	241	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	131	
3	660	1180	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	5805	3
			Base	Brita Bem Graduada	915	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	287	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	154	
4	1180	1440	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	3615	5
			Base	Brita Bem Graduada	304	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	112	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	248 (200)	
Quadro Resumo - Poços de Caldas - FXE						
1	0	1010	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	4937	2
			Base	Brita Bem Graduada	1027	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	338	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	160	
2	1010	1440	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	5566	6
			Base	Brita Bem Graduada	421	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	213	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	190	

FIGURA 4.7 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Percebe-se que todas as seções homogêneas tiveram bons ajustes aos dados coletados em ensaios, visto que a média dos erros é baixa. Por fim, pode-se determinar o PCR da PPD ao comparar os PCR's de cada seção homogênea. Primeiro define-se o mix de aeronaves para o aeroporto de Poços de Caldas e suas respectivas taxas de crescimento anual. O mix pode ser visualizado na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Poços de Caldas/MG com base no ano de 2018 (Autor, 2023).

Aeronave	Decolagens	Taxa de crescimento anual de operações
Cessna 208B	107	3%

Com o pavimento aeroportuário e o mix de aeronaves definidos, pode-se calcular o PCR de cada seção homogênea e o PCR da PPD corresponderá ao menor PCR dentre os PCRs das seções homogêneas. Os valores de PCR determinados no aeroporto de Poços de Caldas/MG estão expostos na Tabela 4.11.

TABELA 4.11 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Faixa	Seção Homogênea	PCR
Direita	1	530/F/A/X/T
	2	400/F/B/X/T
	3	410/F/A/X/T
	4 (*)	440/F/A/X/T
Esquerda	1	540/F/A/X/T
	2	560/F/A/X/T
Pista de Pouso e Decolagem		400/F/B/X/T

Na seção homogênea 4 da faixa da direita foi necessário penalizar o módulo de resiliência do subleito para 200 MPa (o determinado pela retroanálise foi de 234 MPa), pois com a configuração determinada o mix de aeronaves se tornava incapaz de alcançar o valor de 1 para o CDF com o aumento do peso da aeronave, ou seja, o FAARFIELD não conseguiria convergir para um valor de PCR. Portanto, penalizou-se a rigidez do subleito e como o valor do PCR para a seção penalizada não foi o menor PCR dentre todas as seções pode-se concluir que essa adaptação não influenciou na determinação do PCR da PPD.

Por fim, a última etapa consiste em estimar a espessura de mistura asfáltica reciclada que traria a mesma capacidade portante a cada seção homogênea. A Tabela 4.12 explicita as espessuras propostas para o novo revestimento e a respectiva economia de material.

TABELA 4.12 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Faixa	Seção	PCR	PCR Novo	Rev. (mm)	Var. (mm)
Direita	1	530/F/A/X/T	530/F/A/X/T	97	-21
	2	400/F/B/X/T	400/F/B/X/T	66	-15
	3	410/F/A/X/T	410/F/A/X/T	70	-15
	4 (*)	440/F/A/X/T	440/F/A/X/T	57	-20
Esquerda	1	540/F/A/X/T	540/F/A/X/T	72	-17
	2	560/F/A/X/T	560/F/A/X/T	63	-11

Percebe-se que em todos os casos observou-se um ganho considerável em espessura do revestimento. O Gráfico 4.8 resume o ganho por trecho homogêneo (em azul) e o ganho médio em toda a pista (em laranja) que calculado por uma média ponderada.

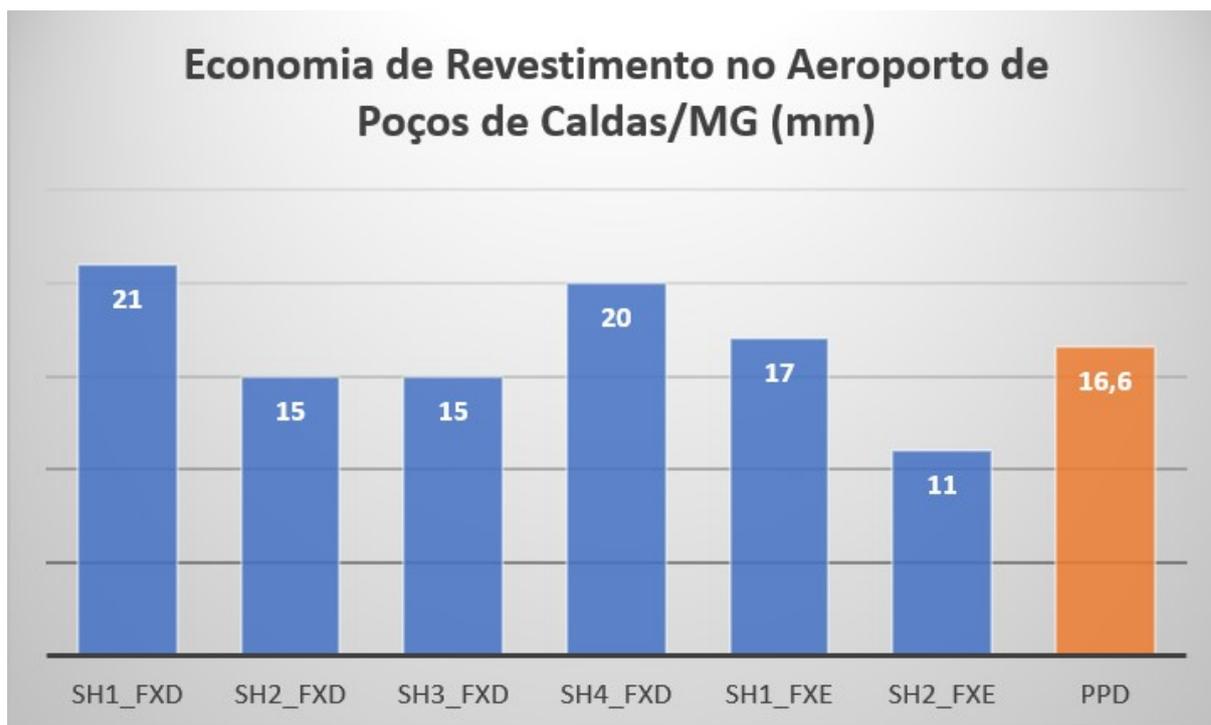


FIGURA 4.8 – Economia esperada de revestimento no aeroporto de Poços de Caldas/MG (Autor, 2023).

Nota-se que a utilização da mistura asfáltica com RAP causaria, em média, uma redução de cerca de 16 mm da camada de revestimento ao longo da pista. Essa redução corresponderia a uma economia de aproximadamente 18,9% de mistura asfáltica no revestimento. Portanto, verifica-se que a partir de uma visão puramente mecanicista seria viável e interessante a utilização de uma mistura asfáltica reciclada no pavimento aeroportuário em questão.

4.3 Rio Verde/GO

O terceiro aeroporto objeto de estudo é o Aeroporto General Leite de Castro (ICAO: SWLC) que está localizado no município de Rio Verde, Goiás. Seguindo a metodologia explicada na Seção 3 pode-se executar a retroanálise em sua PPD a partir dos dados obtidos de ensaios fornecidos pela Secretaria de Aviação Civil (SAC).

Inicialmente, tratando as informações do ensaio com FWD pode-se determinar as seções homogêneas em cada faixa por meio do Método das Diferenças Acumuladas. A Figura 4.9 e a Figura 4.10 indicam os perfis de estudo encontrados em cada faixa e a Tabela 4.13 descreve as seções homogêneas.

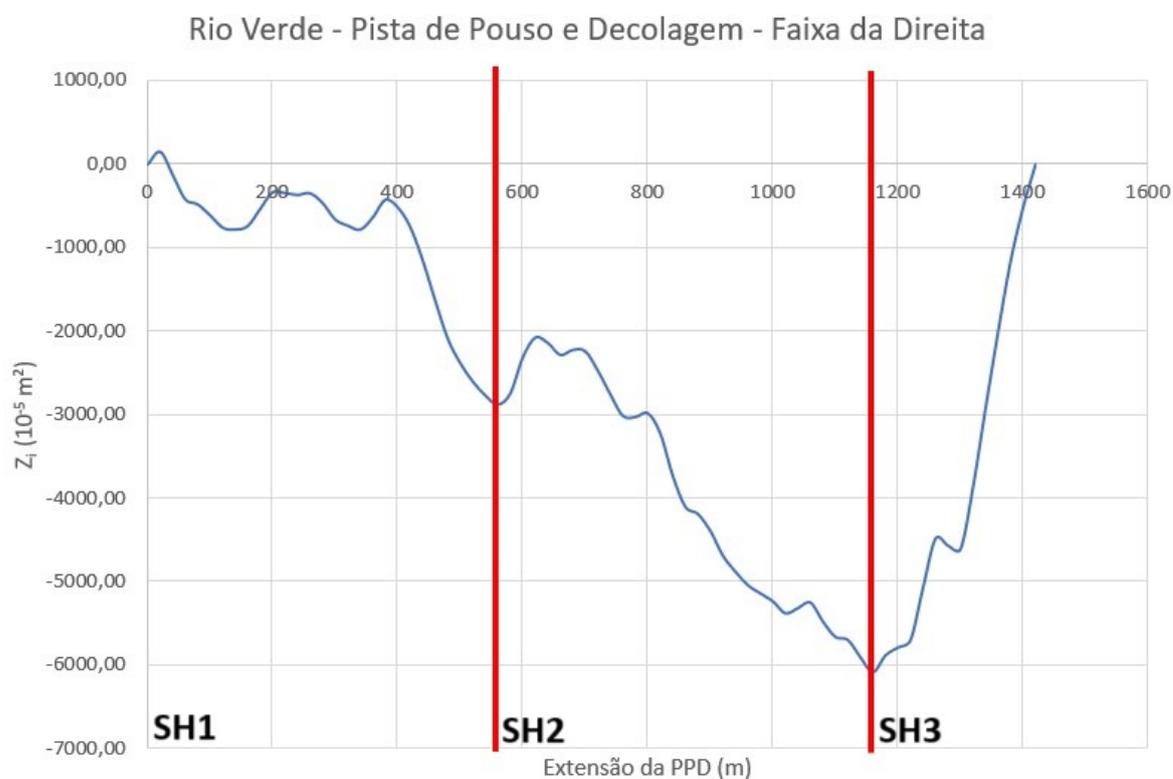


FIGURA 4.9 – Determinação de seções homogêneas da faixa da direita do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

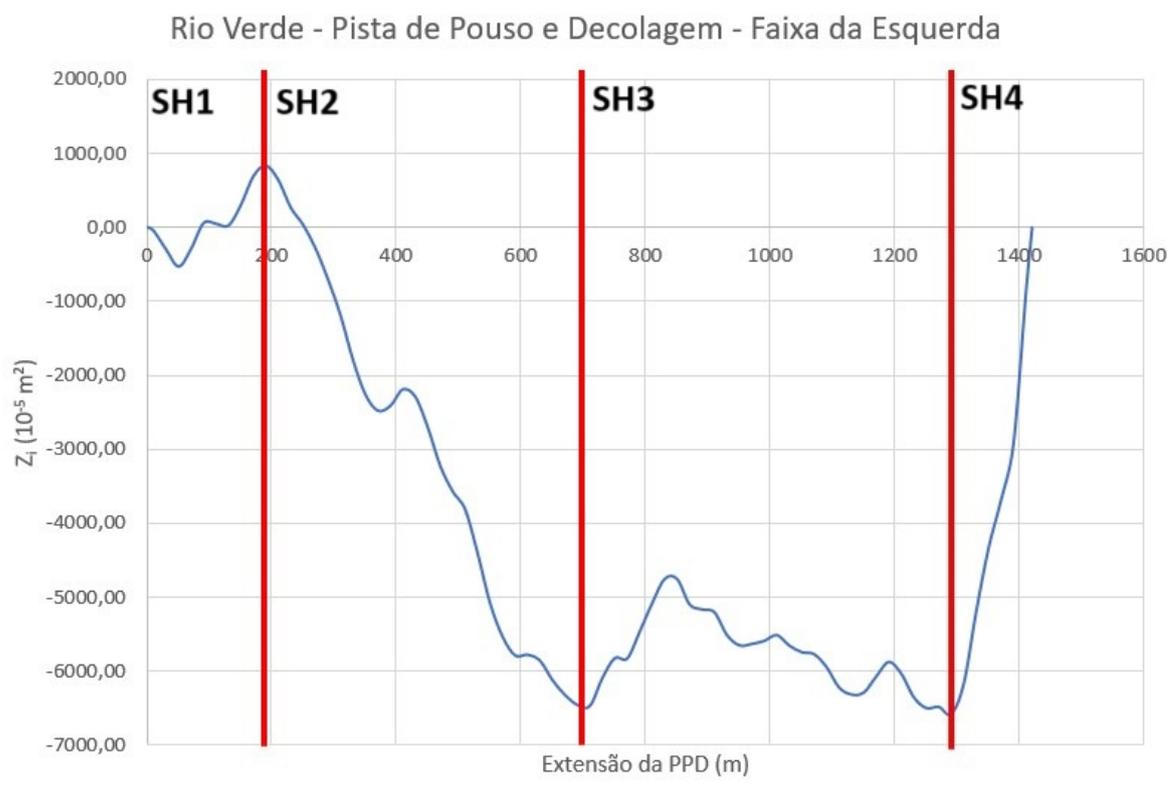


FIGURA 4.10 – Determinação de seções homogêneas da faixa da esquerda do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

Percebe-se que a seção homogênea 1 da faixa da esquerda conta com apenas 190 metros, foi optado por separá-la da seção vizinha por ela apresentar um comportamento distinto em relação a ela. O mesmo ocorreu para a seção homogênea 4 da faixa da esquerda. Já a seção 3 da faixa da esquerda, poderia ter sido dividido em várias seções mas foi optado por mantê-la para não fragmentar demais a PPD, mas posteriormente o resultado será analisado para verificar se a hipótese foi satisfatória.

TABELA 4.13 – Seções Homogêneas da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa de Referência	Início (m)	Término (m)
1		0	560
2	Faixa da Direita	560	1160
3		1160	1420
1		0	190
2	Faixa da Esquerda	190	710
3		710	1290
4		1290	1420

Depois, foi feito o estudo estatístico das informações adquiridas pelo GPR e determinou-se as espessuras médias das camadas para cada seção homogênea. As espessuras médias

estão expostas na Tabela 4.14.

TABELA 4.14 – Espessuras médias das camadas de cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

Seção Homogênea	Faixa	Revestimento (mm)	Base (mm)	Sub-base (mm)
1	Direita	43	275	188
2		42	279	145
3		40	277	114
1	Esquerda	50	258	244
2		48	260	222
3		45	267	232
4		43	269	209

Em seguida, enquadra-se os materiais utilizado no pavimento asfáltico dentro dos critérios do Sistema de Classificação de Solos de maneira que seja possível estimar um módulo de resiliência característico para cada tipo de material. Para o aeroporto de Rio Verde estimou-se os módulos de resiliência que constam na Tabela 4.15

TABELA 4.15 – Módulos de resiliência estimados das camadas da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

Camada	Material	Módulo de Resiliência (MPa)
Revestimento	CAP 50/70	3500
Base	Brita Bem Graduada	500
Sub-base	Brita Graduada Simples	250
Subleito	Solo de Comportamento Laterítico LG'	150

Após isso, foi realizado uma retroanálise por meio do software BAKFAA 3.3.0 e prontamente foi feito o tratamento estatístico dos módulos de resiliência determinados pelo programa computacional. O resultado da retroanálise pode ser observado na Figura 4.11.

Quadro Resumo - Rio Verde - FXD						
SH	Início	Fim	Camada	Materiais	Médias Corrigidas (MPa)	Médias dos Erros (%)
1	0	560	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	3083	3
			Base	Brita Bem Graduada	279	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	177	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	136	
2	560	1160	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	2989	3
			Base	Brita Bem Graduada	296	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	190	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	124	
3	1160	1420	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	2492	3
			Base	Brita Bem Graduada	224	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	145	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	104	
Quadro Resumo - Rio Verde - FXE						
1	0	190	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	3061	3
			Base	Brita Bem Graduada	232	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	124	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	128	
2	190	710	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	3344	3
			Base	Brita Bem Graduada	282	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	170	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	126	
3	710	1290	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	2926	3
			Base	Brita Bem Graduada	277	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	142	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	112	
4	1290	1420	Revestimento	Revestimento (CAP 50/70)	2319	5
			Base	Brita Bem Graduada	164	
			Sub-base	Brita Graduada Simples	115	
			Sub-leito	Solos de Comportamentos Lateríticos LG'	88	

FIGURA 4.11 – Módulos de resiliência determinados pela retroanálise da PPD do aeroporto de Rio Verde/GO (Autor, 2023).

Percebe-se que todas as seções homogêneas tiveram bons ajustes aos dados coletados em ensaios, visto que a média dos erros é baixa. Então as hipóteses de seção homogênea que foram adotadas, foram satisfatórias para os fins do estudo. Também, destaca-se os valores inferiores dos módulos de resiliência determinados para a seção homogênea 3 da faixa da direita, o que pode indicar que aquele trecho da pista esteja mais deteriorado que os outros. Por fim, pode-se determinar o PCR da PPD ao comparar os PCR's de cada seção homogênea. Primeiro define-se o mix de aeronaves para o aeroporto de Rio Verde e suas respectivas taxas de crescimento anual. O mix pode ser visualizado na Tabela 4.16.

TABELA 4.16 – Mix de aeronaves para o aeroporto de Rio Verde com base no ano de 2022 (Autor, 2023).

Aeronave	Decolagens	Taxa de crescimento anual de operações
ATR 72-600	324	3%

Como o ATR 72-600 não consta na base de aeronaves do FAARFIELD 2.1 foi necessário modelar ela como um trem de pouso do tipo D-50 com o peso de decolagem de 23.000 kg (NOVO PROGRESSO, 2021). Com o pavimento aeroportuário e o mix de aeronaves definidos

pode-se calcular o PCR de cada seção homogênea e o PCR da PPD corresponderá ao menor PCR dentre os PCRs das seções homogêneas.

Outro fato importante para o cálculo do PCR de cada trecho homogêneo é que o valor mínimo para uma *User Defined layer* é de 2 polegadas (51 mm). Como a espessura da camada de revestimento é sempre menor ao mínimo aceitado pelo FAARFIELD 2.1, foi adotado em todos os cálculos de PCR uma espessura de 51 mm para a camada de revestimento. Os valores de PCR determinados no aeroporto de Rio Verde estão expostos na Tabela 4.17.

TABELA 4.17 – PCR calculado em cada seção homogênea da PPD do aeroporto de Rio Verde considerando uma camada de revestimento com 2 polegadas (51 mm) de espessura (Autor, 2023).

Faixa	Seção Homogênea	PCR
Direita	1	390/F/B/X/T
	2	320/F/B/X/T
	3	200/F/B/X/T
Esquerda	1	380/F/B/X/T
	2	380/F/A/X/T
	3	340/F/B/X/T
	4	240/F/C/X/T
Pista de Pouso e Decolagem		200/F/B/X/T

Por fim, a última etapa consistiria em estimar a espessura de mistura asfáltica reciclada que traria a mesma capacidade portante a cada seção homogênea. Novamente, existiu a limitação da espessura mínimo de 2 polegadas (51 mm) para o revestimento e por causa disso para ser feita uma comparação honesta foi comparado o PCR dos dois pavimentos com a mesma espessura de revestimento. A Tabela 4.18 explicita a comparação entre o PCR do pavimento atual e do pavimento proposto.

TABELA 4.18 – Comparação entre o pavimento real e o pavimento proposto no aeroporto de Rio Verde (Autor, 2023).

Faixa	Seção Homogênea	PCR	PCR Novo
Direita	1	390/F/B/X/T	430/F/B/X/T
	2	320/F/B/X/T	350/F/B/X/T
	3	200/F/B/X/T	220/F/B/X/T
Esquerda	1	380/F/B/X/T	420/F/B/X/T
	2	380/F/A/X/T	420/F/B/X/T
	3	340/F/B/X/T	380/F/B/X/T
	4	240/F/C/X/T	270/F/C/X/T

Percebe-se que nessa situação a espessura da camada de revestimento já é tão delgada que talvez mesmo com o aumento da capacidade portante não justifique a substituição por uma camada reciclada. Então, em uma situação de projeto, existe a necessidade de respeitar o critério de espessura mínima de revestimento, o que faria com que comparado com a configuração atual não existisse nenhuma economia de material já que a PPD atual tem um revestimento menor que o mínimo. Logo, a adoção do material proposto nesse aeroporto só viria a ser interessante com a intenção de aumentar a rigidez da pista ou para cumprir metas ambientais.

5 Considerações finais

Neste capítulo, será apresentado uma visão geral do trabalho e sugestões de temas para estudos futuros.

5.1 Conclusão

Neste trabalho, foi feito um estudo sob a perspectiva estrutural sobre a possibilidade de utilização de um revestimento reciclado feito a partir de *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) em pavimentos aeroportuários.

Para alcançar esse objetivo foi necessário caracterizar pavimentos aeroportuários reais por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, além de realizar uma retroanálise pelo software BAKFAA 3.3.0 para obter uma maior confiabilidade dos parâmetros físicos das estruturas. Também foi fundamental entender o nível de operacionalidade desses aeroportos para entender claramente os requisitos que o pavimento proposto deveria atender.

Ao propor um pavimento que corresponde ao mesmo PCR que o pavimento real, garante-se que o pavimento fictício conseguiria suportar aos mesmos estresses a que o pavimento real é submetido, o que permite supor que as operações nesses aeroportos não seriam comprometidas. A metodologia proposta neste trabalho de graduação foi aplicada nos aeroportos de Caldas Novas/GO, Poços de Caldas/MG e Rio Verde/GO após disponibilização de dados relativos a eles pela Secretaria de Aviação Civil (SAC).

Os resultados mostraram que a estrutura com a mistura asfáltica reciclada, por apresentar maior módulo de resiliência quando comparado ao CAP 50/70, resultaria em uma economia significativa na quantidade de material exigido para a construção do revestimento. Em Caldas Novas e Poços de Caldas, estimou-se uma redução de 22,5% e de 18,9%, respectivamente, na espessura da camada de revestimento.

Outro benefício relevante, ocorre pela simples substituição de material do revestimento. Mantendo-se a mesma espessura, notaria-se um ganho de capacidade de suporte relevante o que poderia aumentar a vida útil dos pavimentos ou a possibilidade de operação com aeronaves mais robustas.

Por outro lado, o aeroporto de Rio Verde mostrou-se em não conformidade com o critério de espessura mínima de revestimento em projetos de pistas de pouso e decolagens. Portanto, em situação de projeto, a simples substituição de material na camada de rolagem se torna inviável, o que demonstra que existem aeródromos em condições mais precárias, nos quais a substituição de material não resultaria em redução de material. Nesses casos, a adoção do material ocorreria predominantemente devido a preocupações ambientais.

É importante ressaltar que o estudo em questão tem um viés mecanicista, por isso para a aplicação em aeroportos ainda seria necessário a viabilidade em diversos outros aspectos como vida útil à fadiga, macrotextura, economicidade, entre outros.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

A finalidade deste trabalho foi de dar subsídio ao debate da utilização de misturas asfálticas recicladas na camada de revestimento de aeroportos e aeródromos. Neste contexto, dada a natureza incipiente desse esforço, é natural que algumas limitações na metodologia proposta possam surgir como alvos de estudo em um futuro próximo

Duas linhas principais de estudo seriam altamente benéficas para pesquisas relacionadas ao tema. A primeira diz respeito a melhorias de misturas asfálticas com RAP, como o desenvolvimento de um método de síntese mais padronizado, estudos sobre dosagem ótima, novas composições e aprimoramento das propriedades físicas, especialmente ligadas à fadiga, entre outras contribuições.

A outra linha de pesquisa está relacionada à simulação computacional do problema. Uma contribuição valiosa para o presente estudo seria caracterização e inclusão de curva CDF específica para uma mistura asfáltica com RAP no FAARFIELD. Além disso, seria importante discutir o critério de falha por fadiga de um pavimento aeroportuário com RAP, uma vez que o critério utilizado pelo FAARFIELD para o fim da vida útil é o rompimento do topo do subleito. Desse modo, é importante analisar se esse critério permanece apropriado em pavimentos com revestimento reciclado.

Referências

- AASHTO. **AASHTO guide for design of pavement structure**. Washington, USA, 1993.
- ABDEL-JABER, M.; AL-SHAMAYLEH, R. A.; IBRAHIM, R.; ALKHRISAT, T.; ALQATAMIN, A. Mechanical properties evaluation of asphalt mixtures with variable contents of reclaimed asphalt pavement (rap). **Results in Engineering**, v. 14, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022001335?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- ABEAR. **Panorama 2020**: O setor aéreo em dados e análises. 2020. Disponível em: <https://www.abear.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Panorama2020-vf.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- ABGE. **Geologia de Engenharia**. [S.l.]: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 586 p.
- ABNT. **NBR 6484: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.
- ANAC. **Manual de Cálculo de PCN de Pavimentos Aeroportuários usando o COMFAA 3.0**. Brasília, DF, 2020.
- ANAC. **Gerenciamento do risco de FOD (Foreign Object Debris)**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/centrais-de-conteudo/aeroportos-e-aerodromos/manuais-e-cartilhas/manual-fod.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.
- ANAC. **Manual de Cálculo de PCR de Pavimentos Aeroportuários**. Brasília, DF, 2022.
- ANAC. **Dados Estatísticos do Transporte Aéreo**. 2023. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/voos-e-operacoes-aereas/dados-estatisticos-do-transporte-aereo>. Acesso em: 19 out. 2023.
- ANBT. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.
- AVIACAOCOMERCIAL. **Frota - Azul**. 2023. Disponível em: <https://www.aviacaocomercial.net/frotaazul.htm>. Acesso em: 19 out. 2023.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. [S.l.]: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; SOARES, J. B.; CERATTI, J. A. P. **Pavimentação Asfáltica**: Formação básica para engenheiros. [S.l.]: Petrobras Distribuidora S.A., 2022. 750 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**: Brasília, df: Senado federal, [2016]. [1988]. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 08 nov. 2023.

CHAVES, V. H. C. **Perspectivas históricas da Pesquisa Operacional**. 2011. 117 p. Dissertation (Mestrado em Educação Matemática) — Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449-91049/chaves_vhc_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 jun. 2023.

COMARA. **Missão, Visão e Valores**. 2023. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/comara/index.php/missao-visao-e-valores>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DER-DF. **Complementação da Revisão e Atualização do Projeto Executivo de Pavimento da Duplicação da DF-250, realizado pela Empresa STE - Serviços Técnicos de Engenharia S.A. em 2014 - Trecho Compreendido entre a DF-0001 / Entrada para Sobradinho dos Melos**. Brasília, 2021.

DI PIETRO, M. S. Z. **Direito Administrativo**. [S.l.]: Forense, 2022. 1120 p.

DNIT. **MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**. Rio de Janeiro, 2006.

EUROSTAT. **Area by NUTS 3 region**. 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/REG_AREA3_custom_5468707/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=e9572305-224b-4fa0-bf0f-a039d44e272e. Acesso em: 13 jun. 2023.

FAA. **Use of Nondestructive Testing – AC No. 150/5370-11B**. Washington, DC, USA, 2011.

FAA. **Standard Specifications for Construction of Airports – AC No. 150/5370-10H**. Washington, DC, USA, 2018.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation – AC No. 150/5320-6G**. Washington, DC, USA, 2021.

FAB. **Missão, Visão e Valores**. 2018. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/missaovisaovalores>. Acesso em: 14 jun. 2023.

GEOSCAN. **GPR - Ground Penetrating Radar**: Entenda tudo desse método geofísico. 2020. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/blog/ground-penetrating-radar-gpr/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GOL. **Nossa Frota**. 2023. Disponível em:

<https://www.voegol.com.br/sobre-a-gol/nossa-frota>. Acesso em: 19 out. 2023.

IBGE. **Áreas Territoriais**. 2022. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto=1>. Acesso em: 13 jun. 2023.

LATAM. **Nossa frota de aviões**. 2023. Disponível em:

<https://www.latamairlines.com/br/pt/sobre-latam/frota>. Acesso em: 19 out. 2023.

MARTIN, A. E.; KASEER, F.; ARAMBULA, E.; BAJAJ, A.; CUCALON, L. G.; YIN, F.; CHOWDHURY, A.; EPPS, J.; GLOVER, C.; HAJJ, E.; MORIAN, N.; SIAS, J.; OSHONE, M.; RAHBAR-RASTEGAR, R.; OIGBO, C.; KING, G. EPPS, MARTIN, A.; KASEER, F.; ARAMBULA, E.; BAJAJ, A.; CUCALON, L. G.; YIN, F.;

CHOWDHURY, A.; EPPS, J.; GLOVER, C.; HAJJ, E.; MORIAN, N.; SIAS, J.; OSHONE, M.; RAHBAR-RASTEGAR, R.; OIGBO, C.; KING, G. Evaluating the effects of recycling agents on asphalt mixtures with high ras and rap binder ratios.

National Cooperative Highway Research Program, RR 927, 2019. Disponível em:

<https://nap.nationalacademies.org/catalog/25749/evaluating-the-effects-of-recycling-agents-on-asphalt-mixtures-with-high-ras-and-rap-binder-ratios>. Acesso em: 08 nov. 2023.

NAPA. **Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage**. 2018. Disponível em: [https://www.asphaltpavement.org/uploads-](https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/IS138/IS138-2018_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf)

[documents/IS138/IS138-2018_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf](https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/IS138/IS138-2018_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf). Acesso em: 29 out. 2023.

NAZZAL, M.; ABU-FARSAKH, M.; ALSHIBLI, K.; MOHAMMAD, L. Evaluating the potential use of a portable lfwdf for characterizing pavement layers and subgrades. *In*:

Geotechnical Engineering for Transportation Projects: Proceedings of Geo-Trans 2004, July 27–31, 2004, Los Angeles, California. Proceedings [...]. [S.l.]: American Society of Civil Engineers, 2004.

NOVO PROGRESSO. **Projeto de Engenharia para a Pavimentação do Aeródromo Municipal da Cidade de Novo Progresso, Estado do Pará**. 2021. Disponível em:

https://novoprogresso.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/VOLUME-1-e-3-RELATORIO-DE-PROJETO_PPD_TAXY-WAY_PATIO_AERODROMO-DE-NOVO-PROGRESSO-2.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

OLIVEIRA, M. S. **Análise da Fadiga em Misturas Asfálticas**. 2020. 136 p. Dissertation (Mestrado em Geotecnia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em:

https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40895/1/2020_MatheusSilvaOliveira.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

OMNI CALCULATOR. **Confidence Interval Calculator**. 2023. Disponível em:

<https://www.omnicalculator.com/statistics/confidence-interval>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PGL. **O Brasil é o 2º país com mais aeroporto no mundo**. 2023. Disponível em:

<https://pglbr.com.br/o-brasil-e-o-2o-pais-com-mais-aeroporto-no-mundo/>. Acesso em: 08 nov. 2023.

RODRIGUES, R. M. **Parte I - Projeto de Pavimentos**. [S.l.]: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. 385 p.

RODRIGUES, R. M. **Parte II - Gerência de Pavimentos**. [S.l.]: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. 243 p.

SMEMOE, C. M. **Processing and Visualization of Ground Penetrating Radar Data for Assessing Natural Hydrogeologic Conditions**. [S.l.]: Brigham Young University, 2000. 39 p.

STATPLACE. **Boxplot: Como interpretar?** 2019. Disponível em: <https://statplace.com.br/blog/como-interpretar-um-boxplot/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

STRATO SONDAGENS. **Poços de Inspeção em Pavimento**. 2014. Disponível em: <http://stratosondagens.blogspot.com/2014/02/pocos-de-inspecao-em-pavimento-.html><http://stratosondagens.blogspot.com/2014/02/pocos-de-inspecao-em-pavimento.html>. Acesso em: 14 abr. 2023.

Apêndice A - Relatório FAARFIELD

A Figura A.1 exibe os parâmetros, a título de exemplo, para a estrutura e para o mix de aeronaves que foram utilizados para calcular o PCR da seção homogênea 1 da faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO.

Pavement Structure Information by Layer						
No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	CBR	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	User Defined	68	4.191,00	0	0.35	0
2	User Defined	190	278,00	0	0.35	0
3	User Defined	252	120,00	0	0.35	0
4	Subgrade	0	249,00	24,0762552083333	0.35	0

Airplane Information				
No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	EMB-195 STD	48.950	124	3
2	B737-800	79.242	121	3
3	A319-100 std	64.400	9	3
4	A320-200 std	73.900	8	3
5	A320neo	70.400	1	3

Additional Airplane Information				
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	EMB-195 STD	0,00	0,00	1,46
2	B737-800	0,00	0,00	1,41
3	A319-100 std	0,00	0,00	1,45
4	A320-200 std	0,00	0,00	1,45
5	A320neo	0,00	0,00	1,43

FIGURA A.1 – Parâmetros utilizados para calcular o PCR da SH1 da faixa da direita do aeroporto de Caldas Novas/GO (Autor, 2023).

Anexo A - FAARFIELD

A.1 Biblioteca de Camadas do FAARFIELD

Na Figura A.1 está detalhada a biblioteca de camadas existente no FAARFIELD e suas respectivas propriedades mecânicas (FAA, 2021).

Table 3-2. Allowable Modulus Values and Poisson's Ratios Used in FAARFIELD

Layer Type	FAA Specified Layer	Rigid Pavement psi (MPa)	Flexible Pavement psi (MPa)	Poisson's Ratio
Surface	P-501 PCC	4,000,000 (30,000)	NA	0.15
	P-401/P-403/P-601 HMA	NA	200,000 (1,380) ¹	0.35
Stabilized Base and Subbase	P-401/P-403HMA	400,000 (3,000)		0.35
	P-306 Lean Concrete	700,000 (5,000)		0.20
	P-304 cement treated base	500,000 (3,500)		0.20
	P-301 soil cement	250,000 (1,700)		0.20
	Variable stabilized rigid	250,000 to 700,000 (1,700 to 5,000)	NA	0.20
	Variable stabilized flexible	NA	150,000 to 400,000 (1,000 to 3,000)	0.35
Granular Base and Subbase	P-209 crushed aggregate	Program Defined		0.35
	P-208, aggregate	Program Defined		0.35
	P-219, Recycled concrete aggregate	Program Defined		0.35
	P-211, Lime rock	Program Defined		0.35
	P-154 uncrushed aggregate	Program Defined		0.35
Subgrade	Subgrade	1,000 to 50,000 (7 to 350)		0.35
User-defined	User-defined layer	1,000 to 4,000,000 (7 to 30,000)		0.35

Notes:

1. A fixed modulus value for hot mix surfacing is set in the program at 200,000 psi (1380 MPa). This modulus value was conservatively chosen and corresponds to a pavement temperature of approximately 90°F (32°C).

FIGURA A.1 – Biblioteca de Camadas do FAARFIELD. (FAA, 2021)

Anexo B - Parâmetros PCR

B.1 Codificação do PCR

Na Figura B.1 está detalhado os parâmetros para codificação do PCR.

Valor numérico	Tipo de Pavimento	Categoria de resistência do subleito	Máxima pressão de pneus permitida	Método de avaliação
310	F - Flexível R - Rígido	A - Alta B - Média C - Baixa D - Ultrabaixa	W - Ilimitada X - Alta Y - Média Z - Baixa	U - Método da aeronave T - Técnica
<p>Detalhes:</p> <p>a) Para fins de cálculo, no caso de pavimento rígido sobreposto com pavimento flexível, a AC 150/5335-5D considera tal estrutura como rígida até que a espessura do pavimento flexível seja equivalente à espessura do pavimento rígido.</p> <p>b) No caso de pavimento flexível sobre pavimento rígido, em que este exauriu sua capacidade de suporte, o responsável pelo cálculo pode considerar toda a estrutura como flexível. Em pavimentos compostos, deverá ser avaliado se a estrutura tem mais características de pavimento rígido ou de pavimento flexível.</p>		<p>Detalhes:</p> <p>Alta: $E \geq 150$ MPa Média: $100 \leq E < 150$ MPa Baixa: $60 \leq E < 100$ MPa Ultrabaixa: $E < 60$ MPa</p>	<p>Detalhes:</p> <p>a) Ilimitada: - Alta: $\leq 1,75$MPa Média: $\leq 1,25$ MPa P $\leq 0,5$MPa</p> <p>b) A avaliação é feita em todo o mix de aeronaves.</p> <p>c) No caso de pavimentos rígidos, reportar "W".</p> <p>d) A AC 150/5335-5D orienta que pavimentos flexíveis com espessura superior a 10 cm podem ser classificados com código "X" ou "Y". Já pavimentos com espessura menor, com asfalto de menor qualidade (atentar para a presença de patologias), não devem exceder o código "Y".</p> <p>e) O FAARFIELD 2.0 atribui "W" para pavimentos rígidos. No entanto, o responsável pelo cálculo tem a liberdade de alterar tal parâmetro, caso o concreto não seja de boa qualidade (poroso, com contaminante, com baixa resistência ou com patologias evidentes).</p>	<p>Detalhes:</p> <p>U: Com base na experiência prévia com aeronaves.</p> <p>T: Quanto a estrutura for confiavelmente conhecida.</p>

FIGURA B.1 – Seleção de parâmetros para codificação do PCR. (ANAC, 2022b)

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 09 de novembro de 2023	3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/TC-077/2023	4. Nº DE PÁGINAS 83
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Avaliação do comportamento estrutural de pavimento aeroportuário com a incorporação de RAP - <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> - como solução para pavimentos asfálticos aeroportuários sustentáveis			
6. AUTOR(ES): Pedro Henrique Santos Cavalcante			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Aeroporto; Pavimento flexível; Material Reciclado; Retroanálise; Geotecnia; Infraestrutura; Engenharia Civil.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Aeroporto; Pavimentos; Pavimentos flexíveis; Pistas (de pouso e decolagem); Desenvolvimento sustentável; Propriedades mecânicas; Geotecnia; Engenharia civil. Engenharia estrutural.			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Trabalho de Graduação. Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Departamento de Geotecnia. Orientadora: Prof ^a . Dr ^a . Cláudia Azevedo Pereira. Coorientador: 2T Eng. Me.. Matheus Silva Oliveira. Publicado em 2023.			
11. RESUMO: A busca por soluções eficientes e duradouras na área da engenharia de pavimentação asfáltica é uma demanda constante. Tais ações têm o mesmo objetivo: criar estruturas de pavimentos que sejam funcionais ao longo de sua vida útil, com a menor necessidade de restauração e reconstrução. Embora tenham ocorridos avanços significativos nas últimas décadas no que diz respeito aos parâmetros de durabilidade das estruturas de pavimentos, com vida útil em termos de fadiga e deformação permanente, ainda ocorrem intervenções frequentes na malha rodoviária do país. Isso resulta em uma alta taxa de geração de resíduos decorrentes do desbaste de camadas de revestimentos de pavimentos deteriorados. O material obtido exclusivamente do corte da camada de rolamento, denominado como <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP), é um recurso valioso que pode ser utilizado em várias composições de misturas asfálticas. Este trabalho buscou analisar a viabilidade, do ponto de vista estrutural, da incorporação do RAP na camada de revestimento de pistas de pouso e decolagem (PPD), como parte integrante da mistura asfáltica, substituindo parte dos agregados e ligantes convencionais. Para alcançar esse fim, foram realizadas retroanálises das estruturas das PPD's de três aeroportos (Caldas Novas/GO, Poços de Caldas/MG e Rio Verde/GO), por meio de ensaios destrutivos, ensaios não destrutivos e utilizando o software BAKFAA 3.3.0. Posteriormente foram propostas novas estruturas, nas quais houve a substituição do revestimento tradicional por misturas asfálticas recicladas com RAP, combinadas com uma camada de microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF) para prevenir a desagregação de material. Essa substituição foi feita de maneira a garantir a mesma capacidade de suporte, mediante a metodologia ACR/PCR, tanto para os pavimentos reais quanto para os pavimentos fictícios, permitindo a mensuração dos benefícios da utilização do RAP. Os resultados obtidos mostraram que o desempenho mecânico das misturas recicladas foram superiores aos limites estabelecidos pelas misturas convencionais, resultando em uma economia significativa na espessura da camada de revestimento, com reduções de 22,5% em Caldas Novas e de 18,9% em Poços de Caldas. No entanto, em Rio Verde, foi constatado que podem existir aeroportos que apresentam pavimentos precários, nos quais uma intervenção não resultaria em economia de material do ponto de vista de projeto, devido à demasiada delgadez das camadas de revestimento e ao baixo nível de operação.			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO			