



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
DIRETORIA-GERAL  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA  
INSTITUTO DE PESQUISAS EM  
TRANSPORTES  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lote A  
Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília – DF – CEP 70040-902  
Tel./fax: (61) 3315-4831

AGOSTO 2022

NORMA DNIT 438/2022 – PRO

## Pavimentação – Misturas asfálticas – Seleção granulométrica de agregados para concreto asfáltico pelo Método Bailey – Procedimento

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

**Processo:** 50600.030762/2019-68

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 26/07/22.**

*Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.*

### Palavras-chave:

Misturas densas, intertravamento de agregados, seleção granulométrica, Método Bailey.

### Nº total de páginas

19

### Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na utilização do Método Bailey para a seleção granulométrica dos agregados de misturas asfálticas de graduação densa. Também orienta como verificar o grau de intertravamento entre os agregados de uma mistura asfáltica com granulometria conhecida. Este procedimento pode, eventualmente, ser aplicado na seleção granulométrica de bases ou sub-bases de solo-brita ou brita graduada.

### Abstract

This document establishes the systematic to be used in the Bailey's Method for aggregates gradation selection of dense graded asphalt mixtures. In addition, it guides how to verify the aggregates interlocking degree for asphalt mixtures with known aggregates gradation. This procedure can eventually be applied in the particle size selection of soil-gravel or graded gravel bases or sub-bases.

### Sumário

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Prefácio.....                  | 1 |
| 1 Objetivo.....                | 2 |
| 2 Referências normativas ..... | 2 |
| 3 Definições .....             | 2 |

|   |    |
|---|----|
| 4 Verificação do intertravamento dos agregados de uma mistura de agregados conhecida .....        | 5  |
| 5 Seleção Granulométrica pelo Método Bailey .....   | 6  |
| 6 Resultado.....  | 9  |
| Anexo A (Informativo) – Origem do fator 0,22 usado para definir as peneiras de controle .....     | 10 |
| Anexo B (Informativo) – Exemplos de verificação do intertravamento de uma mistura conhecida ..... | 11 |
| Anexo C (Informativo) – Exemplo de seleção granulométrica.....                                    | 13 |
| Anexo D (informativo) – Bibliografia.....   | 18 |
| Índice geral.....   | 19 |

### Prefácio

A presente norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer a sistemática empregada na utilização do Método Bailey para a seleção granulométrica de agregados utilizados em misturas asfálticas densas. A criação desta norma procede dos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para o desenvolvimento de método mecânico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a norma DNIT 001/2009 – PRO.

## 1 Objetivo

Esta norma estabelece a sistemática a ser empregada na utilização do Método Bailey para a seleção granulométrica de agregados utilizados em misturas asfálticas de graduação densa, assim como, orienta a verificação do grau de intertravamento dos agregados para uma mistura asfáltica com granulometria conhecida.

## 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas):

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – EM 367/97: Material de enchimento para misturas betuminosas.
- b) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 411 – ME: Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio.
- c) \_\_\_\_\_. DNIT 412 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.
- d) \_\_\_\_\_. DNIT 413 – ME: Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio.
- e) \_\_\_\_\_. DNIT 437 – ME: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio.

## 3 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

### 3.1 Agregado graúdo

Para este procedimento, são partículas que, ao serem

colocadas em um volume definido, geram vazios.

### 3.2 Agregado fino

Para este procedimento, são partículas capazes de preencher os vazios gerados pelos agregados graúdos presentes na mistura.

### 3.3 Material de enchimento

Material mineral inerte finamente dividido que passa totalmente na peneira de 0,15 mm e passa mais que 65 % na peneira de 0,075 mm, devendo atender às especificações da norma DNER-EM 367/97.

### 3.4 Material pulverulento ou filler

Partículas minerais com dimensões inferiores à peneira n° 200 (0,075 mm), incluindo os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

### 3.5 Tamanho nominal máximo (TNM)

É o tamanho de abertura de malha da peneira imediatamente acima daquela que retém mais que 10 % das partículas da amostra do agregado (% acumulado).

### 3.6 Condição seca

Condição na qual os agregados foram secos em estufa a  $(110 \pm 5)$  °C, por tempo suficiente para atingir massa constante.

### 3.7 Estado Solto

Estado no qual os agregados preenchem um recipiente de dimensões conhecidas, sem qualquer esforço de compactação, apenas por colocação padronizada dos grãos, em queda livre, sob ação da gravidade e isentos de esforço adicional de adensamento. Representa a situação de menor contato entre as partículas.

### 3.8 Estado compactado

Estado no qual os agregados preenchem um recipiente de dimensões conhecidas, com a aplicação de um esforço de compactação padronizado. Representa a situação de maior contato entre as partículas.

### 3.9 Peneira de Controle Primário (PCP)

Peneira que separa a fração graúda da fração fina dos agregados. Todo material retido nessa peneira é considerado agregado graúdo e o que passa é o agregado fino. Corresponde à peneira cuja abertura de malha é a mais próxima do resultado da Equação 1:

$$PCP = 0,22 \times TNM \quad (1)$$

Onde:

*PCP* é a peneira de controle primário;

*TNM* é o tamanho nominal máximo.

NOTA 1: O fator 0,22 refere-se à relação de vazios deixados entre as partículas (Ver anexo A).

### 3.10 Peneira de Controle Secundário (PCS)

Peneira que separa as frações graúda e fina dos agregados finos. Corresponde à peneira cuja abertura de malha é a mais próxima do resultado da Equação 2:

$$PCS = 0,22 \times PCP \quad (2)$$

Onde:

*PCS* é a peneira de controle secundário;

*PCP* é a peneira de controle primário.

### 3.11 Peneira de Controle Terciário (PCT)

Peneira utilizada para avaliar a fração fina dos agregados finos. Corresponde à peneira cuja abertura de malha é a mais próxima do resultado da Equação 3:

$$PCT = 0,22 \times PCS \quad (3)$$

Onde:

*PCT* é a peneira de controle terciário;

*PCS* é a peneira de controle secundário.

### 3.12 Peneira Média (PM)

Peneira usada para avaliar a compactação da porção graúda e os vazios da mistura. Corresponde à peneira cuja abertura de malha é a mais próxima do resultado da Equação 4:

$$PM = 0,5 \times TNM \quad (4)$$

Onde:

*PM* é a peneira média;

*TNM* é o tamanho nominal máximo.

### 3.13 Proporção de agregados graúdos (AG)

Parâmetro que avalia a compactação dos agregados graúdos e os vazios resultantes da mistura. Está relacionado à trabalhabilidade e ao potencial de segregação da mistura asfáltica. Calculado a partir da Equação 5:

$$\text{Proporção } AG = \frac{\%passante \text{ } PM - \%passante \text{ } PCP}{100 - \%passante \text{ } PM} \quad (5)$$

Onde:

*Proporção AG* é a proporção de agregados graúdos;

*PM* é a peneira média;

*PCP* é a peneira de controle primário.

### 3.14 Proporção graúda dos agregados finos (GAF)

Parâmetro que avalia a compactação da fração graúda dos agregados finos e como a fração fina dos agregados finos preenche os vazios deixados pela fração graúda dos agregados finos. Definido como a razão entre o material passante na *PCS* e o material passante na *PCP*:

$$\text{Proporção } GAF = \frac{\%passante \text{ } PCS}{\%passante \text{ } PCP} \quad (6)$$

Onde:

*Proporção GAF* é a proporção graúda dos agregados finos;

*PCS* é a peneira de controle secundário;

*PCP* é a peneira de controle primário.

### 3.15 Proporção fina dos agregados finos (*FAF*)

Parâmetro que avalia a compactação da fração fina dos agregados finos e como esta preenche os vazios dos agregados finos da mistura. Definido como a razão entre o material passante na *PCT* e o material passante na *PCS*:

$$\text{Proporção } FAF = \frac{\% \text{passante } PCT}{\% \text{passante } PCS} \quad (7)$$

Onde:

*Proporção FAF* é a proporção fina dos agregados finos;

*PCT* é a peneira de controle terciário;

*PCS* é a peneira de controle secundário.

### 3.16 Massa Específica Aparente (*ME<sub>sb</sub>*)

Relação entre a massa do agregado na condição seca, por seu volume aparente (volume do sólido incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis), determinada conforme as normas DNIT 411 – ME e DNIT 413 – ME e expressa em g/cm<sup>3</sup>.

### 3.17 Massa Unitária Solta (*MU<sub>s</sub>*)

Razão entre a massa de agregados na condição seca em estado solto e o volume do recipiente preenchido por estes agregados, determinada conforme a norma DNIT 437 – ME e expressa em kg/m<sup>3</sup>.

### 3.18 Massa Unitária Compactada (*MU<sub>c</sub>*)

Razão entre a massa de agregados na condição seca em estado compactado e o volume do recipiente preenchido por estes agregados, determinada conforme a norma DNIT 437 – ME e expressa em kg/m<sup>3</sup>.

### 3.19 Massa Unitária Escolhida (*MU<sub>E</sub>*)

Parâmetro que estabelece o grau de intertravamento dos agregados graúdos e determina a graduação da mistura,

sendo densa graúda ou densa fina. A *MU<sub>E</sub>* deve ser selecionada em função do tipo de mistura desejada, sendo relacionada a um percentual da *MU<sub>s</sub>* e expressa em kg/m<sup>3</sup>.

### 3.20 Vazios

Espaços entre as partículas de agregados não ocupados por material mineral sólido.

NOTA 2: Os poros das partículas de agregado não estão incluídos nos vazios determinados por este método de ensaio.

### 3.21 Volume de vazios

Razão entre o volume dos vazios e o volume do recipiente preenchido com os agregados em estado solto ou compactado, expressa em %.

### 3.22 Volume de vazios dos agregados graúdos na condição solta (*Vv<sub>AGs</sub>*)

Volume de vazios dos agregados graúdos, calculado utilizando a *MU<sub>s</sub>*, expresso em percentual e calculado pela Equação 8:

$$Vv_{AGs} = \left( 1 - \frac{MU_s}{1000 \times ME_{sb}} \right) \cdot 100 \% \quad (8)$$

Onde:

*Vv<sub>AGs</sub>* é o volume de vazios dos agregados graúdos na condição solta, expresso em percentual (%);

*MU<sub>s</sub>* é a massa unitária solta, expressa em quilograma por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

*ME<sub>sb</sub>* é a massa específica aparente, expressa em grama por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.23 Volume de vazios dos agregados graúdos na condição compactada (*Vv<sub>AGc</sub>*)

Volume de vazios dos agregados graúdos, calculado utilizando a *MU<sub>c</sub>*, expresso em percentual e calculado pela Equação 9:

$$Vv_{AGC} = \left(1 - \frac{MU_c}{1000 \times ME_{sb}}\right) \cdot 100 \% \quad (9)$$

Onde:

$Vv_{AGC}$  é o volume de vazios dos agregados graúdos na condição compactada, expresso em percentual (%);

$MU_c$  é a massa unitária compactada, expressa em quilograma por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$ME_{sb}$  é a massa específica aparente, expressa em grama por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.24 Volume de vazios dos agregados graúdos na mistura compactada ( $Vv_{AGm}$ )

Volume de vazios dos agregados graúdos em uma mistura asfáltica compactada, expresso em percentual e calculado pela Equação 10:

$$Vv_{AGm} = \left(1 - \frac{MU_E}{1000 \times ME_{sb}}\right) \cdot 100 \% \quad (10)$$

Onde:

$Vv_{AGm}$  é o volume de vazios dos agregados graúdos na mistura compactada, expresso em percentual (%);

$MU_E$  é a massa unitária escolhida, expressa em quilograma por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$ME_{sb}$  é a massa específica aparente, expressa em grama por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.25 Mistura de Graduação Graúda

Mistura na qual todos os agregados graúdos estão em contato entre si e formam uma estrutura que é responsável por absorver a maior parte dos esforços do tráfego. O volume de agregados finos preenche o volume de vazios gerado pelos agregados graúdos.

### 3.26 Mistura de Graduação Fina

Mistura na qual os agregados graúdos não estão todos em contato entre si, sendo a estrutura formada pelos agregados finos responsável por absorver a maior parte dos esforços do tráfego. O volume de agregados finos

excede o volume de vazios gerado pelos agregados graúdos.

## 4 Verificação do intertravamento dos agregados de uma mistura de agregados conhecida

Para verificação do intertravamento dos agregados de misturas de agregados conhecidas pelo Método Bailey, deve-se seguir o roteiro descrito na sequência. O Anexo C apresenta exemplos de aplicação deste roteiro.

- Se a granulometria dos agregados usados na mistura original não for conhecida, deve-se obter amostras representativas de cada agregado e determinar a granulometria, conforme a norma DNIT 412 – ME.
- Com a granulometria de cada agregado, montar a composição granulométrica da mistura original e determinar o *TNM* da mistura de agregados, conforme descrito na subseção 3.3.
- Determinar as peneiras de controle da mistura de agregados, em função do *TNM* da mistura de agregado, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1 – Peneiras de controle para misturas de comportamento graúdo em função do *TNM***

| Peneira de Controle | Tamanho Nominal Máximo ( <i>TNM</i> ), mm |      |      |      |      |       |
|---------------------|---|------|------|------|------|-------|
|                     | 37,5                                      | 25,0 | 19,0 | 12,5 | 9,50 | 4,75  |
| PM                  | 19,0                                      | 12,5 | 9,50 | 6,30 | 4,75 | 2,36  |
| PCP                 | 9,50                                      | 4,75 | 4,75 | 2,36 | 2,36 | 1,18  |
| PCS                 | 2,36                                      | 1,18 | 1,18 | 0,60 | 0,60 | 0,30  |
| PCT                 | 0,60                                      | 0,30 | 0,30 | 0,15 | 0,15 | 0,075 |

- Verificar se a mistura de agregados tem comportamento graúdo ou fino, da seguinte forma:
  - Se o percentual de agregados que passa na *PCP* for inferior ao especificado na Tabela 2, considera-se comportamento graúdo;
  - Se o percentual de agregados que passa na *PCP* for superior ao especificado na Tabela 2, considera-se comportamento fino.

NOTA 3: Esta é uma classificação por granulometria que tem como objetivo somente definir o tipo de comportamento.

**Tabela 2 – Pontos de controle para a PCP**

| Peneira       | TNM (mm) |      |      |      |
|---------------|----------|------|------|------|
|               | 25,0     | 19,0 | 12,5 | 9,5  |
| PCP           | 4,75     | 4,75 | 2,36 | 2,36 |
| % de controle | 40,0     | 47,0 | 39,0 | 47,0 |

e) Para mistura de comportamento fino, analisa-se o esqueleto pétreo considerando a fração fina (passante na PCP) como sendo o total da mistura de agregados. Com isso, recalcula-se a porcentagem passante em cada peneira, sendo 100 % passante na PCP, e são definidas novas peneiras de controle, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3 – Peneiras de controle para misturas de comportamento fino em função do TNM**

| Peneira de Controle | Tamanho Nominal Máximo (TNM), mm |       |       |      |      |       |
|---------------------|----------------------------------|-------|-------|------|------|-------|
|                     | 37,5                             | 25,0  | 19,0  | 12,5 | 9,50 | 4,75  |
| PCP original        | 9,50                             | 4,75  | 4,75  | 2,36 | 2,36 | 1,18  |
| PM                  | 4,75                             | 2,36  | 2,36  | 1,18 | 1,18 | 0,60  |
| PCP                 | 2,36                             | 1,18  | 1,18  | 0,60 | 0,60 | 0,30  |
| PCS                 | 0,60                             | 0,30  | 0,30  | 0,15 | 0,15 | 0,075 |
| PCT                 | 0,15                             | 0,075 | 0,075 | -    | -    | -     |

f) Determinar as três proporções: proporção graúda (AG), proporção graúda do agregado fino (GAF) e proporção fina do agregado fino (FAF), conforme definido na seção 3.

g) Verificar se as proporções da mistura atendem aos limites estabelecidos pelo Método Bailey, sendo que:

– Para misturas de comportamento graúdo, os valores limites recomendados estão na Tabela 4.

– Para mistura de comportamento fino, os valores limites recomendados estão na Tabela 5.

**Tabela 4 – Limites das proporções dos agregados com comportamento graúdo**

| Proporção                       | AG   | GAF         | FAF         |             |
|---------------------------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Tamanho Nominal Máximo (TNM) mm | 37,5 | 0,80 - 0,95 | 0,35 - 0,50 | 0,35 - 0,50 |
|                                 | 25,0 | 0,70 - 0,85 |             |             |
|                                 | 19,0 | 0,60 - 0,75 |             |             |
|                                 | 12,5 | 0,50 - 0,65 |             |             |
|                                 | 9,50 | 0,40 - 0,55 |             |             |
|                                 | 4,75 | 0,30 - 0,45 |             |             |

**Tabela 5 – Limites das proporções dos agregados com comportamento fino**

| Proporção                       | AG   | GAF        | FAF         |             |
|---------------------------------|------|------------|-------------|-------------|
| Tamanho Nominal Máximo (TNM) mm | 37,5 | 0,60 - 1,0 | 0,35 - 0,50 | 0,35 - 0,50 |
|                                 | 25,0 |            |             |             |
|                                 | 19,0 |            |             |             |
|                                 | 12,5 |            |             |             |
|                                 | 9,50 |            |             |             |
|                                 | 4,75 |            |             |             |

## 5 Seleção Granulométrica pelo Método Bailey

### 5.1 Dados dos agregados

Para o início da seleção granulométrica é necessário coletar as seguintes informações:

- Distribuição granulométrica de cada agregado, conforme a norma DNIT 412 – ME;
- Massa específica aparente de cada agregado, conforme as normas DNIT 411 – ME e DNIT 413 – ME;
- Massas unitárias solta e compactada de cada agregado graúdo, conforme a norma DNIT 437 – ME;
- Massa unitária compactadas de cada agregado fino, conforme a norma DNIT 437 – ME.

### 5.2 Valores escolhidos

Após coletar os dados iniciais, deve-se decidir o tipo de mistura a ser selecionada, escolhendo os seguintes parâmetros:

### 5.2.1 Massa unitária escolhida ( $MU_E$ )

Para os agregados graúdos, a  $MU_E$  deve ser adotada como um percentual da  $MU_S$ . Para os agregados finos, a  $MU_E$  é igual à  $MU_C$ .

Recomendam-se os seguintes percentuais para a  $MU_E$  dos agregados graúdos, dependendo do tipo de mistura:

- Para misturas de comportamento graúdo, a  $MU_E$  varia de 95 % a 105 % da  $MU_S$ ;
- Para misturas de comportamento fino, a  $MU_E$  varia de 60 % a 85 % da  $MU_S$ .

NOTA 4: Recomenda-se iniciar com os valores médios dos percentuais sugeridos.

### 5.2.2 Porcentagem de filler

Deve-se escolher a porcentagem desejada de material passante na peneira de 0,075 mm, para a granulometria final da mistura.

### 5.2.3 Porcentagem de cada agregado graúdo

Para misturas com mais de um tipo de agregado graúdo, deve-se escolher a porcentagem de cada um deles, dentro da mistura de agregados graúdos.

### 5.2.4 Porcentagem de cada agregado fino

Para misturas com mais de um tipo de agregado fino, deve-se escolher a porcentagem de cada um deles, dentro da mistura de agregados finos.

## 5.3 Roteiro para seleção granulométrica

Para selecionar uma mistura pelo Método Bailey deve-se seguir o roteiro descrito na sequência. O Anexo D apresenta um exemplo de aplicação deste roteiro.

- a) Determinar a  $MU_E$  para cada agregado graúdo da mistura, multiplicando a sua  $MU_S$  pelo percentual escolhido de  $MU_S$  conforme disposto em 5.2.1. A  $MU_E$  dos agregados finos é sempre igual a  $MU_C$  de cada agregado fino.
- b) Determinar a contribuição de  $MU_E$  de cada agregado

graúdo da mistura, multiplicando a  $MU_E$  de cada agregado graúdo pela sua porcentagem dentro da mistura de agregados graúdos conforme disposto em 5.2.3.

- c) Determinar o percentual de vazios de cada agregado graúdo na mistura compactada, pela Equação 10, substituindo o valor 100 % pela porcentagem de cada agregado graúdo dentro da mistura de agregados graúdos conforme disposto em 5.2.3, e somar os percentuais de vazios de todos os agregados graúdos da mistura.
- d) Determinar a contribuição de  $MU_E$  de cada agregado fino da mistura, multiplicando a  $MU_E$  de cada agregado fino pela sua porcentagem dentro da mistura de agregados finos conforme disposto em 5.2.4 e pelo percentual total de vazios dos agregados graúdos.
- e) Determinar a massa unitária da mistura total de agregados, somando as contribuições de cada agregado graúdo e fino.
- f) Determinar a porcentagem inicial de cada agregado da mistura, em peso, dividindo a contribuição de  $MU_E$  de cada agregado pela massa unitária da mistura total de agregados.
- g) Montar a granulometria preliminar da mistura e determinar o  $TNM$  e a  $PCP$ .
- h) Determinar a porcentagem de material passante na  $PCP$  para cada agregado graúdo e a porcentagem de material retido na  $PCP$  para cada agregado fino.
- i) Determinar a porcentagem de agregados finos em cada agregado graúdo, multiplicando a porcentagem de cada agregado graúdo na mistura pela porcentagem de material passante na  $PCP$  e fazer o somatório das porcentagens.
- j) Determinar a porcentagem de agregados graúdos em cada agregado fino, multiplicando a porcentagem de cada agregado fino na mistura pela porcentagem de material retido na  $PCP$  e fazer o somatório das porcentagens.

k) Corrigir os percentuais iniciais dos agregados graúdos e finos em função dos percentuais de finos nos agregados graúdos e dos percentuais graúdos nos agregados finos. Utiliza-se a Equação 11 para os agregados graúdos e a Equação 12 para os agregados finos:

$$\%Cor. = \%Ini. + \%AF@AG - \left( \frac{\%Ini. \times AG@AFtotal}{\%AGtotal} \right) \quad (11)$$

Onde:

$\%Cor.$  é o percentual corrigido da fração de agregado;

$\%Ini.$  é o percentual inicial da fração de agregado;

$\%AF@AG$  é o percentual de agregados finos na fração de agregado graúdo;

$\%AG@AFtotal$  é o percentual total de agregados graúdos nos agregados finos;

$\%AGtotal$  é o percentual total de agregados graúdos na mistura.

$$\%Cor. = \%Ini. + \%AG@AF - \left( \frac{\%Ini. \times AF@AGtotal}{\%AFtotal} \right) \quad (12)$$

Onde:

$\%Cor.$  é o percentual corrigido da fração de agregado;

$\%Ini.$  é o percentual inicial da fração de agregado;

$\%AG@AF$  é o percentual de agregados graúdos na fração de agregado fino;

$\%AF@AGtotal$  é o percentual total de agregados finos nos agregados graúdos;

$\%AFtotal$  é o percentual total de agregados finos na mistura.

l) Determinar a porcentagem de filler na mistura total de agregados, após as correções de percentuais.

m) Determinar a quantidade necessária de material de enchimento, se houver, para obter o percentual desejado de filler, conforme disposto em 5.2.2, utilizando a Equação 13:

$$\%MatE = \left( \frac{\%desejado - \%filler}{\%filler \text{ no } MatE} \right) \quad (13)$$

Onde:

$\%MatE$  é o percentual necessário de material de enchimento;

$\%desejado$  é o percentual desejado de filler;

$\%filler$  é o percentual de filler na mistura total de agregados;

$\%filler \text{ no } MatE$  é o percentual de filler dentro do material de enchimento.

n) Determinar as porcentagens finais de cada agregado fino, considerando as correções da adição de material de enchimento, utilizando a Equação 14:

$$\%AF = \%Cor. - \left( \frac{\%Cor. \times \%MatE}{\%AFtotal} \right) \quad (14)$$

Onde:

$\%AF$  é o percentual final da fração de agregado fino;

$\%Cor.$  é o percentual corrigido da fração de agregado fino;

$\%MatE$  é o percentual necessário de material de enchimento;

$\%AFtotal$  é o percentual total de agregados finos na mistura.

Após determinar as porcentagens finais de cada agregado da mistura, deve-se realizar a verificação dos limites prescritos na seção 5, a partir da alínea "b". Caso as proporções da mistura não atendam aos limites do Método Bailey, deve-se alterar os valores escolhidos (Subseção 6.2) e refazer a seleção granulométrica da mistura até que os limites sejam atendidos.

NOTA 5: Considerando que se trabalha com faixas de valores e que as características dos agregados têm muita influência no arranjo granulométrico, é possível que uma



determinada combinação de agregados não atenda a todos os limites do Método Bailey.

## 6 Resultado

### 6.1 Para a verificação do intertravamento de uma mistura de agregados conhecida

Os resultados obtidos devem conter as seguintes informações:

- Distribuição granulométrica de cada agregado;
- Distribuição granulométrica da mistura;
- Porcentagens passantes nas peneiras de controle;
- Proporções de agregados da mistura;
- Verificação dos limites do Método Bailey.

### 6.2 Para a seleção granulométrica pelo Método Bailey

Os resultados obtidos devem conter as seguintes informações:

- Distribuição granulométrica final da mistura;
- Distribuição granulométrica de cada agregado;
- Massa específica aparente de cada agregado;
- Massas unitárias solta e compactada de cada agregado graúdo;
- Massa unitária compactada de cada agregado fino;
- Massa unitária escolhida;
- Porcentagem desejada de filler;
- Quantidade de agregado graúdo na mistura;
- Quantidade de agregado fino na mistura;
- Porcentagens passantes nas peneiras de controle;
- Proporções dos agregados da mistura;
- Verificação dos limites do Método Bailey;
- Passo a passo do cálculo.

\_\_\_\_\_/Anexo A

Anexo A (Informativo) – Origem do fator 0,22 usado para definir as peneiras de controle

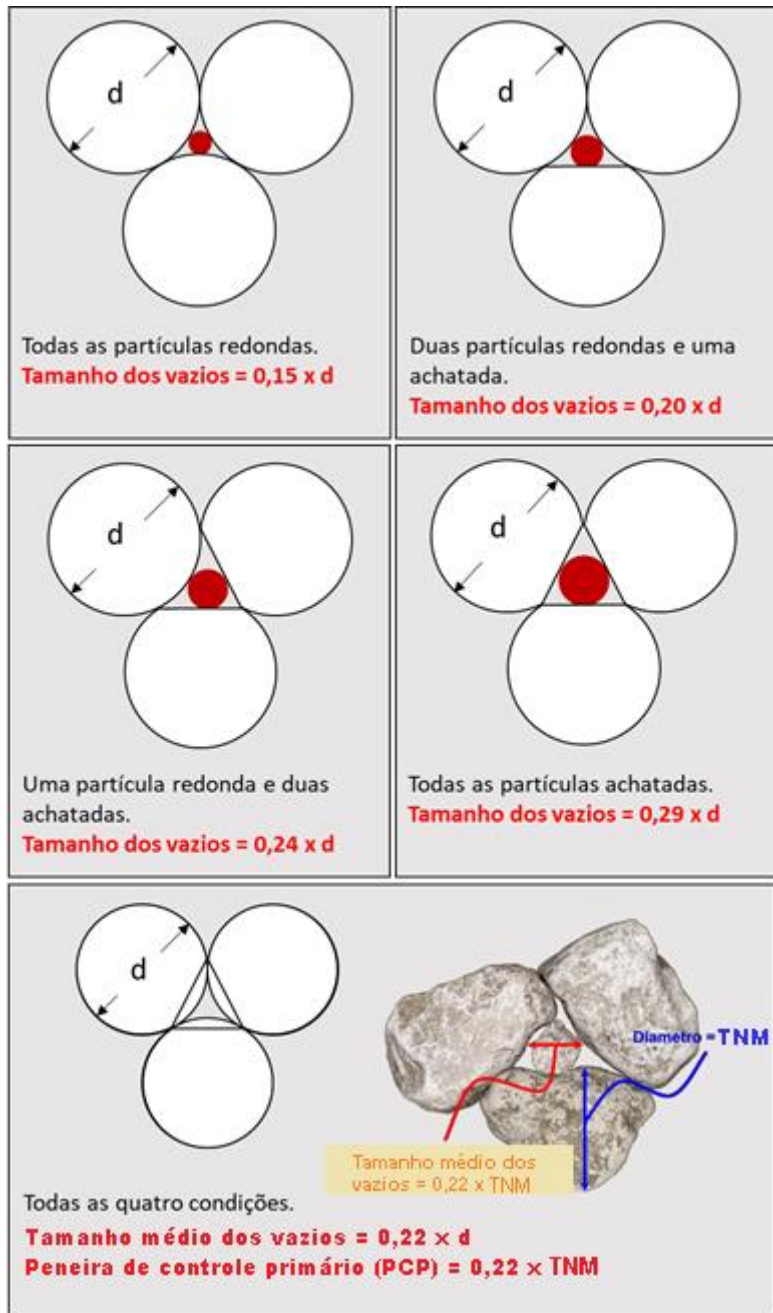


Figura A1 – Determinação do fator usado para definir as peneiras de controle

**Anexo B (Informativo) – Exemplos de verificação do intertravamento de uma mistura conhecida**

**Tabela B1 – Exemplo 1 – Verificação do intertravamento de uma mistura conhecida – Comportamento graúdo**

| Peneira |       | Brita 1     |         | Brita 0     |         | Pó de pedra |         | Cal         |         | Mistura |
|---------|-------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|---------|
| Id.     | mm    | % Utilizado | 28,0    | % Utilizado | 30,0    | % Utilizado | 39,0    | % Utilizado | 3,0     | 100,0   |
|         |       | % Passante  |         |             |         |             |         |             |         |         |
|         |       | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Total   |
| 1"      | 25,0  | 100,0       | 28,0    | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 39,0    | 100,0       | 3,0     | 100,0   |
| 3/4"    | 19,0  | 99,5        | 27,9    | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 39,0    | 100,0       | 3,0     | 99,9    |
| 1/2"    | 12,5  | 82,8        | 23,2    | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 39,0    | 100,0       | 3,0     | 95,2    |
| 3/8"    | 9,50  | 40,6        | 11,4    | 95,8        | 28,7    | 100,0       | 39,0    | 100,0       | 3,0     | 82,1    |
| 1/4"    | 6,30  | 13,4        | 3,8     | 49,3        | 14,8    | 100,0       | 39,0    | 100,0       | 3,0     | 60,5    |
| # 4     | 4,75  | 1,3         | 0,4     | 20,2        | 6,1     | 97,3        | 37,9    | 100,0       | 3,0     | 47,4    |
| # 8     | 2,36  | 0,2         | 0,1     | 11,2        | 3,4     | 82,5        | 32,2    | 100,0       | 3,0     | 38,6    |
| # 16    | 1,18  | 0,2         | 0,1     | 7,6         | 2,3     | 63,2        | 24,6    | 100,0       | 3,0     | 30,0    |
| # 30    | 0,60  | 0,1         | 0,0     | 0,2         | 0,1     | 39,1        | 15,2    | 100,0       | 3,0     | 18,3    |
| # 50    | 0,30  | 0,1         | 0,0     | 0,1         | 0,0     | 23,7        | 9,2     | 100,0       | 3,0     | 12,3    |
| # 100   | 0,150 | 0,1         | 0,0     | 0,1         | 0,0     | 12,6        | 4,9     | 100,0       | 3,0     | 8,0     |
| # 200   | 0,075 | 0,0         | 0,0     | 0,1         | 0,0     | 3,0         | 1,2     | 99,0        | 3,0     | 4,2     |

|     |         |
|-----|---------|
| TNM | 12,5 mm |
|-----|---------|

Tipo de Comportamento da Mistura de Agregados: **Graúdo**

Verificação das Peneiras de Controle

| Peneiras de Controle |       |            |
|----------------------|-------|------------|
| -                    | mm    | % Passante |
| PM                   | 6,30  | 60,5       |
| PCP                  | 2,36  | 38,6       |
| PCS                  | 0,60  | 18,3       |
| PCT                  | 0,150 | 8,0        |

Verificação das Proporções

| Proporções | Limites   | Valor |
|------------|-----------|-------|
| AG         | 0,50-0,65 | 0,56  |
| GAF        | 0,35-0,50 | 0,48  |
| FAF        | 0,35-0,50 | 0,43  |

Enquadramento

Sim  
Sim  
Sim

Parecer:

Composição granulométrica foi enquadrada dentro de todos os limites propostos pelo Método Bailey

**Tabela B2 – Exemplo 2 – Verificação do intertravamento de uma mistura conhecida – Comportamento fino**

| Peneira |       | Brita 1     |         | Brita 0     |         | Pó de pedra |         | Cal         |         | Mistura | < PCP |
|---------|-------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|---------|-------|
| Id.     | mm    | % Utilizado | 25,0    | % Utilizado | 30,0    | % Utilizado | 42,0    | % Utilizado | 3,0     | 100,0   | 100,0 |
|         |       | % Passante  |         |             |         |             |         |             |         |         |       |
|         |       | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Fração      | Mistura | Total   | < PCP |
| 1"      | 25,0  | 100,0       | 25,0    | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 42,0    | 100,0       | 3,0     | 100,0   | 100,0 |
| 3/4"    | 19,0  | 97,5        | 24,4    | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 42,0    | 100,0       | 3,0     | 99,4    | 100,0 |
| 1/2"    | 12,5  | 38,1        | 9,5     | 100,0       | 30,0    | 100,0       | 42,0    | 100,0       | 3,0     | 84,5    | 100,0 |
| 3/8"    | 9,50  | 9,5         | 2,4     | 94,1        | 28,2    | 100,0       | 42,0    | 100,0       | 3,0     | 75,6    | 100,0 |
| 1/4"    | 6,30  | 0,7         | 0,2     | 53,1        | 15,9    | 100,0       | 42,0    | 100,0       | 3,0     | 61,1    | 100,0 |
| # 4     | 4,75  | 0,4         | 0,1     | 24,0        | 7,2     | 99,5        | 41,8    | 100,0       | 3,0     | 52,1    | 100,0 |
| # 8     | 2,36  | 0,2         | 0,1     | 2,0         | 0,6     | 89,3        | 37,5    | 100,0       | 3,0     | 41,2    | 79,0  |
| # 16    | 1,18  | 0,2         | 0,1     | 1,5         | 0,5     | 69,0        | 29,0    | 100,0       | 3,0     | 32,5    | 62,4  |
| # 30    | 0,60  | 0,2         | 0,1     | 1,3         | 0,4     | 49,5        | 20,8    | 100,0       | 3,0     | 24,2    | 46,5  |
| # 50    | 0,30  | 0,2         | 0,1     | 1,1         | 0,3     | 28,5        | 12,0    | 100,0       | 3,0     | 15,4    | 29,5  |
| # 100   | 0,150 | 0,2         | 0,1     | 0,9         | 0,3     | 13,9        | 5,8     | 99,0        | 3,0     | 9,1     | 17,5  |
| # 200   | 0,075 | 0,1         | 0,0     | 0,5         | 0,2     | 6,5         | 2,7     | 85,0        | 2,6     | 5,5     | 10,5  |

TNM **19,0 mm**

Tipo de Comportamento da Mistura de Agregados: **Fino**

Verificação das Peneiras de Controle

| Peneiras de Controle |       |            | Novas Peneiras |            |
|----------------------|-------|------------|----------------|------------|
| -                    | mm    | % Passante | mm             | % Passante |
| PM                   | 9,50  | 75,6       | 2,36           | 79,0       |
| PCP                  | 4,75  | 52,1       | 1,18           | 62,4       |
| PCS                  | 1,18  | 32,5       | 0,30           | 29,5       |
| PCT                  | 0,300 | 15,4       | 0,075          | 10,5       |

Observação:

Por conta do comportamento fino da mistura, definem-se novas peneiras e calculam-se novos percentuais passantes, considerando o que passa na PCP original como 100%. Também são definidos novos limites para as proporções calculadas a partir dos percentuais passantes nas peneiras de controle.

Verificação das Proporções

| Proporções | Limites   | Valor | Novos limites |       |
|------------|-----------|-------|---------------|-------|
|            |           |       | Limites       | Valor |
| AG         | 0,60-0,75 | 0,96  | 0,60-1,00     | 0,79  |
| GAF        | 0,35-0,50 | 0,62  | 0,35-0,50     | 0,47  |
| FAF        | 0,35-0,50 | 0,47  | 0,35-0,50     | 0,36  |

Enquadramento

Sim  
Sim  
Sim

Parecer:

Composição granulométrica foi enquadrada dentro de todos os limites propostos pelo Método Bailey

## Anexo C (Informativo) – Exemplo 3 – Seleção granulométrica pelo Método Bailey

Tabela C1 – Dados de entrada dos agregados

| Peneira |       | AG1   | AG2   | AF1   | MatE  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Id.     | mm    |       |       |       |       |
| 1"      | 25,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3/4"    | 19,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 1/2"    | 12,5  | 94,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3/8"    | 9,50  | 38,0  | 99,0  | 100,0 | 100,0 |
| 1/4"    | 6,30  | 17,0  | 75,0  | 100,0 | 100,0 |
| # 4     | 4,75  | 3,0   | 30,0  | 99,0  | 100,0 |
| # 8     | 2,36  | 1,9   | 5,0   | 79,9  | 100,0 |
| # 16    | 1,18  | 1,8   | 2,5   | 48,8  | 100,0 |
| # 30    | 0,60  | 1,8   | 1,9   | 29,0  | 100,0 |
| # 50    | 0,30  | 1,8   | 1,4   | 14,2  | 100,0 |
| # 100   | 0,150 | 1,8   | 1,3   | 8,8   | 98,0  |
| # 200   | 0,075 | 1,7   | 1,2   | 3,0   | 90,0  |

|  |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,702 | 2,698 | 3,162 | 2,806 |
| Massa unitária solta (kg/m <sup>3</sup> )      | 1425  | 1400  | -     | -     |
| Massa unitária compactada (kg/m <sup>3</sup> ) | 1608  | 1592  | 2167  | -     |

**Nomenclatura dos agregados:**

AG1 – Agregado graúdo 1;

AG2 – Agregado graúdo 2;

AF1 – Agregado fino 1 (foi utilizado apenas 1 agregado fino nesta mistura);

MatE – Material de enchimento.

**Valores escolhidos:**

- $MU_E = 103 \% MU_S$  (mistura de comportamento graúdo);
- Percentual desejado de filler = 4,5 %;
- Agregados graúdos: 25 % AG1 e 75 % AG2;
- Agregados finos: 100 % AF1;

Os valores escolhidos são exemplificativos não representando valores de referência. Outros valores podem ser escolhidos, os quais deverão atender aos limites dos parâmetros especificados pelo método.

**Procedimento de Cálculo:**

- a) Determinar a massa unitária escolhida ( $MU_E$ ) para cada agregado graúdo, como um percentual da massa unitária solta de cada agregado graúdo da mistura. A  $MU_E$  para os agregados finos é a massa unitária compactada de cada agregado fino da mistura.

**Cálculo:** Multiplica-se o percentual escolhido de massa unitária solta pela massa unitária solta de cada agregado graúdo.

$$AG1: MU_E = 1425 \text{ kg/m}^3 \times 103\% = 1467,8 \text{ kg/m}^3$$

$$AG2: MU_E = 1400 \text{ kg/m}^3 \times 103 \% = 1442,0 \text{ kg/m}^3$$

$$AF1: MU_E = ME_C = 2167,0 \text{ kg/m}^3$$

- b) Determinar a contribuição de cada agregado graúdo na massa unitária escolhida da mistura, de acordo com as porcentagens escolhidas para cada agregado graúdo (por volume).

**Cálculo:** Multiplica-se a porcentagem de agregado graúdo da mistura de agregados graúdos pela massa  $MU_E$  de cada agregado.

$$AG1: \text{Contribuição} = 25 \% \times 1467,8 \text{ kg/m}^3 = 366,9 \text{ kg/m}^3$$

$$AG2: \text{Contribuição} = 75 \% \times 1442,0 \text{ kg/m}^3 = 1081,5 \text{ kg/m}^3$$

- c) Determinar o percentual de vazios em cada agregado graúdo na mistura compactada, de acordo com a sua massa unitária escolhida, com o seu percentual dentro da mistura de agregados graúdos e com a sua massa específica aparente. Depois são somados os vazios de cada agregado graúdo.

**Cálculo:** Os vazios são calculados pela seguinte equação:

$$Vv_{AGc} = \left(1 - \frac{MU_E}{1000 \times ME_{sb}}\right) \times \% AG$$

$$AG1: Vv_{AGc} = \left(1 - \frac{1467,8}{1000 \times 2,702}\right) \times 25,0 \% = 11,42 \%$$

$$AG2: Vv_{AGc} = \left(1 - \frac{1442,0}{1000 \times 2,698}\right) \times 75,0 \% = 34,91 \%$$

$$\text{Total: } Vv_{AGc} = 11,42 \% + 34,91 \% = 46,33 \%$$

- d) Determinar a contribuição de cada agregado fino na massa unitária escolhida da mistura, de acordo com o percentual escolhido para cada agregado fino.

**Cálculo:** Multiplica-se a massa unitária escolhida de cada agregado fino pela porcentagem deste agregado na mistura de agregados finos e pelo valor obtido para porcentagem total de vazios no agregado graúdo.

$$AF1: \text{Contribuição} = 2167,0 \text{ kg/m}^3 \times 100 \% \times 46,33 \% = 1004,1 \text{ kg/m}^3.$$

- e) Determinar a massa unitária para a mistura total de agregados.

**Cálculo:** Soma-se as contribuições de massa unitária escolhida de cada agregado.

$$\text{Massa unitária da mistura} = 366,9 \text{ kg/m}^3 + 1081,5 \text{ kg/m}^3 + 1004,1 \text{ kg/m}^3 = 2452,5 \text{ kg/m}^3.$$

- f) Determinar a porcentagem inicial de cada agregado da mistura, em peso.

**Cálculo:** Divide-se a contribuição de massa unitária de cada agregado pela massa unitária da mistura de agregados.

$$AG1: \% \text{ inicial} = 366,9 \text{ kg/m}^3 / 2452,5 \text{ kg/m}^3 = 0,150 = 15,0 \%$$

$$AG2: \% \text{ inicial} = 1081,5 \text{ kg/m}^3 / 2452,5 \text{ kg/m}^3 = 0,441 = 44,1 \%$$

$$AF1: \% \text{ inicial} = 1004,1 \text{ kg/m}^3 / 2452,5 \text{ kg/m}^3 = 0,409 = 40,9 \%$$

- g) Montar a composição granulométrica preliminar e determinar o  $TNM$  e a  $PCP$  da mistura de agregados.

Para a mistura de agregados deste exemplo, o  $TNM$  é 9,50 mm e a  $PCP$  é a de abertura 2,36 mm.

Tabela C2 – Composição granulométrica preliminar

| Peneira |       | AG1        |         | AG2    |         | AF1    |         | MatE   |         | Mistura |
|---------|-------|------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Id.     | mm    | %          | 15,0    | %      | 44,1    | %      | 40,9    | %      | 0,0     | 100,0   |
|         |       | % Passante |         |        |         |        |         |        |         |         |
|         |       | Fração     | Mistura | Fração | Mistura | Fração | Mistura | Fração | Mistura | Total   |
| 1"      | 25,0  | 100,0      | 15,0    | 100,0  | 44,1    | 100,0  | 40,9    | 100,0  | 0,0     | 100,0   |
| 3/4"    | 19,0  | 100,0      | 15,0    | 100,0  | 44,1    | 100,0  | 40,9    | 100,0  | 0,0     | 100,0   |
| 1/2"    | 12,5  | 94,0       | 14,1    | 100,0  | 44,1    | 100,0  | 40,9    | 100,0  | 0,0     | 99,1    |
| 3/8"    | 9,50  | 38,0       | 5,7     | 99,0   | 43,7    | 100,0  | 40,9    | 100,0  | 0,0     | 90,3    |
| 1/4"    | 6,30  | 17,0       | 2,5     | 75,0   | 33,1    | 100,0  | 40,9    | 100,0  | 0,0     | 76,6    |
| # 4     | 4,75  | 3,0        | 0,4     | 30,0   | 13,2    | 99,0   | 40,5    | 100,0  | 0,0     | 54,2    |
| # 8     | 2,36  | 1,9        | 0,3     | 5,0    | 2,2     | 79,9   | 32,7    | 100,0  | 0,0     | 35,2    |
| # 16    | 1,18  | 1,8        | 0,3     | 2,5    | 1,1     | 48,8   | 20,0    | 100,0  | 0,0     | 21,4    |
| # 30    | 0,60  | 1,8        | 0,3     | 1,9    | 0,8     | 29,0   | 11,9    | 100,0  | 0,0     | 13,0    |
| # 50    | 0,30  | 1,8        | 0,3     | 1,4    | 0,6     | 14,2   | 5,8     | 100,0  | 0,0     | 6,7     |
| # 100   | 0,150 | 1,8        | 0,3     | 1,3    | 0,6     | 8,8    | 3,6     | 98,0   | 0,0     | 4,4     |
| # 200   | 0,075 | 1,7        | 0,3     | 1,2    | 0,5     | 3,0    | 1,2     | 90,0   | 0,0     | 2,0     |

|     |         |
|-----|---------|
| TNM | 9,50 mm |
|-----|---------|

- h) Determinar a porcentagem de material passante na *PCP* para cada agregado graúdo e a porcentagem de material retido na *PCP* para cada agregado fino. Devem ser considerados apenas os percentuais dentro de cada fração.

AG1: % passante na *PCP* = 1,9 %.

AG2: % passante na *PCP* = 5,0 %.

AF1: % retido na *PCP* = 100 % - 79,9 % = 20,1 %.

- i) Determinar a porcentagem de agregados finos em cada fração de agregado graúdo, de acordo com a sua porcentagem na mistura.

**Cálculo:** Multiplica-se a porcentagem inicial de cada agregado graúdo na mistura pela porcentagem passante na *PCP*.

AG1: %AF@AG = 15,0 % x 1,9 % = 0,28 %.

AG2: %AF@AG = 44,1 % x 5,0 % = 2,20 %.

Soma-se os percentuais de cada fração para obter o percentual total de finos nos agregados graúdos.

AF@AG total = 0,28 % + 2,20 % = 2,49 %.

- j) Determinar a porcentagem de agregados graúdos em cada fração de agregado fino, de acordo com a sua porcentagem na mistura.

**Cálculo:** Multiplica-se a porcentagem inicial de cada agregado fino na mistura pela porcentagem retida na *PCP*.

AF1: %AG@AF = 40,9 % x 20,1 % = 8,23 %.

Soma-se os percentuais de cada fração para obter o percentual total de graúdos nos agregados finos.

%AG@AF total = 8,23 %.

- k) Corrigir os percentuais iniciais dos agregados graúdos e finos em função do percentual de finos nos agregados graúdos e do percentual de graúdos nos agregados finos.

**Cálculo:** Para os agregados graúdos utiliza-se a seguinte equação:

$$\% \text{Corrigido} = \% \text{ inicial} + \% \text{AF@AG} - \left( \frac{\% \text{inicial} \times \text{AG@AF total}}{\% \text{AG total}} \right)$$

$$\text{AG1: } \% \text{Corrigido} = 15,0 \% + 0,28 \% - \left( \frac{15,0 \% \times 8,23 \%}{15,0 \% + 44,1 \%} \right)$$

$$\text{AG1: } \% \text{Corrigido} = 13,16 \%$$

$$\text{AG2: } \% \text{Corrigido} = 44,1 \% + 2,21 \% - \left( \frac{44,1 \% \times 8,23 \%}{15,0 \% + 44,1 \%} \right)$$

$$\text{AG2: } \% \text{Corrigido} = 40,16 \%$$

**Cálculo:** Para os agregados finos utiliza-se a seguinte equação:

$$\% \text{Corrigido} = \% \text{ inicial} + \% \text{AG@AF} - \left( \frac{\% \text{inicial} \times \text{AF@AG total}}{\% \text{AF total}} \right)$$

$$\text{AF1: } \% \text{Corrigido} = 40,9 \% + 8,23 \% - \left( \frac{40,9 \% \times 2,49 \%}{40,9 \%} \right)$$

$$\text{AF1: } \% \text{Corrigido} = 46,68 \%$$

l) Determinar a porcentagem de filler para cada agregado, após as correções de percentuais, e somar.

**Cálculo:** Para cada fração de agregado, multiplica-se o percentual corrigido pelo percentual passante na peneira de 0,075 mm de abertura, para a granulometria preliminar. Soma-se os percentuais de cada fração.

$$\text{AG1: } \% \text{ passante na peneira de 0,075 mm} = 13,16 \% \times 1,7 \% = 0,22 \%$$

$$\text{AG2: } \% \text{ passante na peneira de 0,075 mm} = 40,16 \% \times 1,2 \% = 0,48 \%$$

$$\text{AF1: } \% \text{ passante na peneira de 0,075 mm} = 46,68 \% \times 3,0 \% = 1,40 \%$$

$$\text{Total: } 0,22 \% + 0,48 \% + 1,40 \% = 2,11 \%$$

m) Determinar a quantidade necessária de material de enchimento, se houver, para obter o percentual desejado de filler.

**Cálculo:** Utiliza-se a seguinte equação:

$$\% \text{MatE} = \left( \frac{\% \text{desejado} - \% \text{filler}}{\% \text{filler no MatE}} \right)$$

$$\% \text{MatE} = \left( \frac{4,50 \% - 2,11 \%}{90 \%} \right) = 2,66 \%$$

n) Determinar a porcentagem final de agregado fino, adicionando a porcentagem de material de enchimento ao agregado fino. Neste passo, a porcentagem de agregados graúdos não é alterada, apenas a porcentagem de finos é alterada para considerar o material de enchimento adicionado.

**Cálculo:** Utiliza-se a seguinte equação:

$$\% \text{AF} = \% \text{Corrigido} - \left( \frac{\% \text{Corrigido} \times \% \text{MatE}}{\% \text{AF total}} \right)$$

$$\text{AF1: } \% \text{AF} = 46,68 \% - \left( \frac{46,68 \% \times 2,66 \%}{46,68 \%} \right) = 44,02 \%$$

As porcentagens finais de cada fração de agregado considerada no exemplo foram:



- AG1 = 13,16 %;
- AG2 = 40,16 %;
- AF1 = 44,02 %
- MatE = 2,66 %

A granulometria determinada é apresentada na tabela seguinte:

**Tabela C3 – Composição granulométrica final**

| Peneira |       | AG1    |         | AG2    |         | AF1    |         | Filler |         | Mistura |
|---------|-------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Id.     | mm    | %      | 13,16   | %      | 40,16   | %      | 44,02   | %      | 2,66    | 100,0   |
|         |       | Fração | Mistura | Fração | Mistura | Fração | Mistura | Fração | Mistura | Total   |
| 1"      | 25,0  | 100,0  | 13,16   | 100,0  | 40,16   | 100,0  | 44,02   | 100,0  | 2,66    | 100,00  |
| 3/4"    | 19,0  | 100,0  | 13,16   | 100,0  | 40,16   | 100,0  | 44,02   | 100,0  | 2,66    | 100,00  |
| 1/2"    | 12,5  | 94,0   | 12,37   | 100,0  | 40,16   | 100,0  | 44,02   | 100,0  | 2,66    | 99,21   |
| 3/8"    | 9,50  | 38,0   | 5,00    | 99,0   | 39,76   | 100,0  | 44,02   | 100,0  | 2,66    | 91,44   |
| 1/4"    | 6,30  | 17,0   | 2,24    | 75,0   | 30,12   | 100,0  | 44,02   | 100,0  | 2,66    | 79,04   |
| # 4     | 4,75  | 3,0    | 0,39    | 30,0   | 12,05   | 99,0   | 43,58   | 100,0  | 2,66    | 58,68   |
| # 8     | 2,36  | 1,9    | 0,25    | 5,0    | 2,01    | 79,9   | 35,17   | 100,0  | 2,66    | 40,09   |
| # 16    | 1,18  | 1,8    | 0,24    | 2,5    | 1,00    | 48,8   | 21,48   | 100,0  | 2,66    | 25,38   |
| # 30    | 0,60  | 1,8    | 0,24    | 1,9    | 0,76    | 29,0   | 12,77   | 100,0  | 2,66    | 16,43   |
| # 50    | 0,30  | 1,8    | 0,24    | 1,4    | 0,56    | 14,2   | 6,25    | 100,0  | 2,66    | 9,71    |
| # 100   | 0,150 | 1,8    | 0,24    | 1,3    | 0,52    | 8,8    | 3,87    | 98,0   | 2,61    | 7,24    |
| # 200   | 0,075 | 1,7    | 0,22    | 1,2    | 0,48    | 3,0    | 1,32    | 90,0   | 2,39    | 4,42    |

|     |         |
|-----|---------|
| TMN | 9,50 mm |
|-----|---------|

Tipo de Comportamento da Mistura de Agregados: **Graúdo**

A partir desta granulometria, determinam-se o *TNM*, as peneiras de controle, as proporções de agregado graúdo (*AG*), o graúdo no agregado fino (*GAF*) e o fino no agregado fino (*FAF*). Então verifica-se os limites do Método Bailey, como segue:

**Tabela C4 – Verificação dos limites do Método Bailey**

Verificação das Peneiras de Controle

| Peneiras de Controle |       |            |
|----------------------|-------|------------|
| -                    | mm    | % Passante |
| PM                   | 4,75  | 58,7       |
| PCP                  | 2,36  | 40,1       |
| PCS                  | 0,60  | 16,4       |
| PCT                  | 0,150 | 7,2        |

Verificação das Proporções

| Proporções | Limites   | Valor | Enquadramento |
|------------|-----------|-------|---------------|
| AG         | 0,40-0,55 | 0,45  | Sim           |
| GAF        | 0,35-0,50 | 0,41  | Sim           |
| FAF        | 0,35-0,50 | 0,44  | Sim           |

Parecer:

Composição granulométrica foi enquadrada dentro de todos os limites propostos pelo Método Bailey

Desta forma, verifica-se que a granulometria selecionada atende a todos os limites do Método Bailey. Em caso de não atendimento a algum dos limites, deve-se alterar os valores escolhidos e refazer os cálculos, em um processo iterativo, até que os limites sejam atendidos.

**Anexo D (informativo) – Bibliografia**

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T19-04. Standard Method of Test for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T 19M, Washington, D. C., 2004.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. ASTM C29/C29M - 17a. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. 2017.
- c) CUNHA, M. B. Avaliação do Método de Bailey de Seleção Granulométrica de Agregados para Misturas Asfálticas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- d) MENDES, L. O. Utilização do Método Bailey para a Seleção de Agregados em Dosagem de Misturas Asfálticas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
- e) NASCIMENTO, L. A. H. Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação Permanente. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- f) VAVRIK, W. R.; HUBER, G. A.; PINE, W. J.; BAILEY, R.; CARPENTER, S. H. Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design. Transportation Research Board of the National Academies. Transportation Research Circular. Number E-C044. ISSN 0097-8515. Washington, D.C., October, 2002.

\_\_\_\_\_ /Índice geral

## Índice geral

|   |             |   |             |
|---|-------------|---|-------------|
| Abstract.....   | 1           | Peneira de Controle Primário (PCP).....   | 3.9.....3   |
| Agregado fino.....  | 3.2.....2   | Peneira de Controle Secundário (PCS).....   | 3.10.....3  |
| Agregado graúdo .....   | 3.1.....2   | Peneira de Controle Terciário (PCT) .....   | 3.11.....3  |
| Anexo A (Informativo) – Origem do fator 0,22 usado para definir as peneiras de controle .....     | 10          | Peneira Média (PM).....   | 3.12.....3  |
| Anexo B (Informativo) – Exemplos de verificação do intertravamento de uma mistura conhecida ..... | 11          | Porcentagem de cada agregado fino.....  | 5.2.4.....7 |
| Anexo C (Informativo) – Exemplo de seleção granulométrica .....                                   | 13          | Porcentagem de cada agregado graúdo .....   | 5.2.3.....7 |
| Anexo D (informativo) – Bibliografia .....  | 18          | Prefácio .....  | 1           |
| Condição seca .....   | 3.6.....2   | Proporção de agregados graúdos - (AG) .....   | 3.13.....3  |
| Dados dos agregados .....   | 5.1.....6   | Proporção fina dos agregados finos (FAF).....   | 3.15.....4  |
| Definições .....  | 3.....2     | Proporção graúda dos agregados finos (GAF) ..   | 3.14.....3  |
| Estado compactado .....   | 3.8.....2   | Referências normativas .....  | 2.....2     |
| Estado Solto.....   | 3.7.....2   | Resultado .....   | 6.....9     |
| Índice geral.....   | 19          | Resumo .....  | 1.....1     |
| Massa Específica Aparente ( $ME_{sb}$ ) .....   | 3.16.....4  | Roteiro para seleção granulométrica .....   | 5.3.....7   |
| Massa Unitária Compactada ( $MU_c$ ) .....  | 3.18.....4  | Seleção Granulométrica pelo Método Bailey.....  | 5.....6     |
| Massa unitária escolhida ( $MU_E$ ) .....   | 5.2.1.....7 | Sumário .....   | 1           |
| Massa Unitária Escolhida ( $MU_E$ ) .....   | 3.19.....4  | Tamanho nominal máximo (TNM) .....  | 3.5.....2   |
| Massa Unitária Solta ( $MU_s$ ).....  | 3.17.....4  | Valores escolhidos .....  | 5.2.....6   |
| Material de enchimento .....  | 3.3.....2   | Vazios.....   | 3.20.....4  |
| Material pulverulento ou filler .....   | 3.4.....2   | Verificação do intertravamento dos agregados de uma mistura de agregados conhecida..... | 4.....5     |
| Mistura de Graduação Fina.....  | 3.26.....5  | Volume de vazios .....  | 3.21.....4  |
| Mistura de Graduação Graúda.....  | 3.25.....5  | Volume de vazios dos agregados graúdos na condição compactada ( $VV_{AGc}$ ).....       | 3.23.....4  |
| Objetivo.....   | 1.....2     | Volume de vazios dos agregados graúdos na condição solta ( $VV_{AGs}$ ).....            | 3.22.....4  |
| Para a seleção granulométrica pelo Método Bailey 6.2...9  |             | Volume de vazios dos agregados graúdos na mistura compactada ( $VV_{AGm}$ ).....        | 3.24.....5  |
| Para a verificação do intertravamento de uma mistura de agregados conhecida.....                  | 6.1.....9   |   |             |