



Código  
ET-ECS.000.000-PAV/26

REV.  
02

Emissão  
10/07/2025

Folha  
1/29



Resp. Técnico / Elaborador:  
Eng. Douglas Mocelin

Nº CREA:  
RS215709

Rodovia:  
Geral

Verificador:  
Eng. Claudio Renato dias

Trecho:  
Geral

Aprovador:  
Eng. Danilo Pitta

Objeto:  
PAVIMENTAÇÃO - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO EM USINA A QUENTE

Documentos de Referência:

- DNIT 033/2021 ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado em usina a quente – Especificação de serviço.
- DERSA-ET-DE P00/032 - Concreto Asfáltico Reciclado a Quente em Usina.
- AASHTO M323-17/2021 – Superpave Volumetric Mix Design.
- NCDOT QMS 2022 – North Carolina Department of Transportation – Asphalt Quality Management System.
- DNIT 031/2006 ES - Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.
- DER-SP - Manual de Normas de Pavimentação, 1991.
- ET-DE-P00/027 - Concreto Asfáltico.
- DERSA-ES P00/011 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente.
- DER/PR ES-P 21/17 – Concreto Asfáltico usinado a Quente.

Descrição das Revisões:

Rev.02 - Alterado no item 8.1.1 Alinea "c" de "Determinação da umidade do RAP diariamente, ... , será de 2%, admitindo-se até 3% em casos esporádicos mediante adequação da temperatura dos agregados virgens para adequada secagem do RAP. "para" C) Determinação da umidade do RAP diariamente, no início dos trabalhos, e ao longo do dia. A umidade recomendada para o RAP é de até 3%, sendo que a umidade máxima da mistura usinada será limitada à: - Se a mistura usinada for com agregado do tipo basalto, umidade máxima de 0,5%. - Se a mistura usinada for com qualquer outro tipo de agregado, umidade máxima de 0,3%.

Rev.01 - Atualizados premissas e Cálculo da Estimativa da "Disponibilidade" de Ligante contido no RAP.

Rev.00 - Emitida primeira versão do documento

Observação:

02	10/07/2025	Eng. Douglas Mocelin	RS215709	Eng. Claudio Renato Dias	Eng. Danilo Pitta
01	06/03/2025	Eng. Douglas Mocelin	RS215709	Eng. Claudio Renato Dias	Eng. Danilo Pitta
00	17/08/2023	Eng. Douglas Mocelin Eng. Reginaldo Jesus	RS215709 SP-5070904250	Eng. Claudio Renato Dias	Eng. Danilo Pitta
Rev.	Data	Resp. Técnico/ Elaborador	Nº. CREA	Verificador	Aprovador

## 1. OBJETIVO

Esta Especificação fixa as condições a serem adotadas para a execução e controle de concreto asfáltico usinado a quente com emprego de material de pavimento asfáltico fresado ou removido do pavimento (*RAP – Reclaimed Asphalt Pavement*), a ser executado como camada de revestimento de pavimentos flexíveis ou como camada de reforço em restauração de pavimentos, consistindo no fornecimento de materiais, usinagem, carga, transporte e descarga dos materiais, e de mão- de-obra e equipamentos necessários à execução de camada de rolamento, camada intermediária ("binder") ou camada de vedação de conformidade com alinhamentos e cotas definidos no projeto.

## 2. DEFINIÇÕES

- Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ) - mistura a quente executada em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filer) e ligante asfáltico, usinada, espalhada e comprimida a quente.
- Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente - Mistura a quente executada em usina apropriada, com características específicas, composta de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), agregado mineral graduado, material de enchimento (filer), ligante asfáltico, e agente de reciclagem (quando necessário), usinada, espalhada e comprimida a quente.
- RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) – material proveniente do processo de fresagem ou remoção de camadas de pavimento asfáltico.
- Agente de Reciclagem – Aditivo capaz de regenerar certas propriedades dos ligantes asfálticos envelhecidos que compõem o RAP. O uso do agente de reciclagem deve ser avaliado para a utilização de teores elevados de RAP.
- Fresagem – Processo de corte ou desbaste de uma ou mais camadas deterioradas do pavimento asfáltico, com o objetivo de restaurá-las.
- Camada de Rolamento (ou capa) - camada superior ou superficial de revestimento, que receberá as cargas do tráfego.
- Camada de Ligação ("Binder") ou camada intermediária - camada executada abaixo da camada de rolamento, de forma a ligá-la à camada subjacente.
- Camada de Vedação (ou selagem, ou camada de reperfilamento, ou massa fina) - executada em restauração de pavimento, sobre o pavimento antigo degradado, com o objetivo

de impermeabilizar a superfície, vedar as aberturas existentes, selar as trincas existentes evitando sua reflexão nas camadas superiores de reforço e, às vezes, regularizar ou reperfilhar a superfície deformada. Geralmente, é executada com CAUQ, “massa fina”, (de graduação fechada, diâmetro máximo igual a ½”, com baixo índice de vazios e elevado teor de ligante).

O concreto asfáltico reciclado pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento.

Não será permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, em dias de chuva.

O concreto asfáltico reciclado em usina a quente somente deverá ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10 °C, sendo a temperatura de referência é a do local de aplicação.

### 3. REFERÊNCIAS

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

- AASHTO M323-17/2021 – Superpave Volumetric Mix Design.
- ANP – Resolução N° 19 de 11/07/2005. Anexo1 Regulamento Técnico N° 3/2005;
- ANP n.º 897/22 de 24/11/2022 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP
- AASHTO T 170 - Recuperação do asfalto de solução pelo Método de ABSON;
- AASHTO Designation R 9 – 57 Acceptance Sampling Plans for Highway Construction;
- ASTM D6307 - Standard Test Method for Asphalt Content of Asphalt Mixture by Ignition Method;
- DNER-ME 004 - Material betuminoso - Determinação da viscosidade Saybolt-furol a alta temperatura método da película delgada (ABNT-MB 517);
- DNER-ME 043 - Ensaio Marshall para misturas betuminosas;
- DNER-ME 053 - Misturas Betuminosas – Porcentagens de betume;
- DNER-ME 083 - Agregados – Análise granulométrica;
- DNIT 033-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado em usina a quente - Especificação de serviço;
- DNIT 158 – ME - Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet - Método de ensaio;

- DNIT 412 – ME - Pavimentação - Misturas asfálticas - Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento - Método de ensaio;
- ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação técnica para concreto asfáltico usinado a quente;
- ET-ECS.000.000-PAV/07 - Pavimentação – Especificação técnica para concreto asfáltico com CAP modificados por polímeros elastômeros;
- ET-ECS.000.000-PAV/17 - Pavimentação - especificação técnica para concreto asfáltico com asfalto borracha;
- ET-ECS.000.000-PAV/19 - Pavimentação – Especificação técnica para execução de mistura asfáltica morna;
- NCDOT QMS 2022 – North Carolina Department of Transportation – Asphalt Quality Management System;
- ME-ECS.000.000-PAV/02 - MISTURAS ASFÁLTICAS - PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE CONCRETO ASFÁLTICO RECICLADO;
- Mocelin, Douglas Martins. Understanding and Addressing the Role of RAP and RAS in Asphalt Mixture Design and Performance, 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - North Carolina State University, NCSU, EUA 2023.
- M 323, Superpave Volumetric Mix Design
- R 35, Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures

#### **4. MATERIAIS**

Os materiais componentes do Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente são RAP, agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (filer), ligante asfáltico e agente de reciclagem quando necessário, os quais devem satisfazer as especificações apresentadas a seguir:

##### **4.1. Ligante asfáltico**

As especificações para ligante asfáltico para Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente devem seguir as mesmas especificações constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas) e demais especificações técnicas do Grupo EcoRodovias para misturas asfálticas.

No caso de ligantes asfálticos modificados, seguir as especificações correspondentes ao tipo de ligante: ET-ECS.000.000-PAV/07, ET-ECS.000.000-PAV/17 ou ET-ECS.000.000-PAV/19.

## **4.2. Agente de reciclagem**

Podem ser empregados hidrocarbonetos puros ou misturados com cimento asfáltico de petróleo, bem como materiais provenientes de biomassa, capazes de regenerar o ligante envelhecido contido no RAP, resgatando certas características físicas e químicas do ligante original. Se necessário, o tipo e a quantidade do agente de reciclagem a ser adicionado à mistura asfáltica a reciclar deve ser definido em projeto. Os agentes de reciclagem devem atender o especificado na portaria ANP n.º 897/22 de 24/11/2022 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

## **4.3. Agregados**

### **4.3.1. RAP**

#### **4.3.1.1. Obtenção, transporte e estocagem do fresado asfáltico**

O processo de fresagem deve ser realizado com cuidado para que o material fresado do revestimento asfáltico não seja contaminado pelo material de base. Os caminhões que transportam o fresado asfáltico até o pátio de estocagem devem estar com caçamba limpa, evitando contaminação. O material fresado deve estar coberto durante o transporte.

É importante que o estoque do material fresado seja mantido em local devidamente coberto para proteção das intempéries. Preferencialmente, o local deve possuir declividade para permitir a drenagem. Não se deve cobrir as pilhas com lona ou plástico, pois pode ocorrer condensação, aumentando a umidade do estoque do fresado asfáltico.

O RAP proveniente de fresagem ou remoção de camadas do pavimento apresentará grumos, ou torrões, portanto, o material deve passar por processo de destorroamento antes de poder ser utilizado para produção de misturas asfálticas, para uma melhor homogeneização e diminuição da variabilidade do material, adequação de granulometria, e também para um melhor aproveitamento do ligante asfáltico presente no material.

As características do material fresado (granulometria, teor de ligante asfáltico e, se necessário, as propriedades do ligante que o compõe) devem ser verificadas para manter a consistência

do material e informar possíveis alterações necessárias no projeto de dosagem da mistura asfáltica, a fim de adequar o projeto para as características do RAP.

RAPs provenientes de diferentes fontes podem ser combinados para a formação de uma única pilha de materiais, desde que os materiais sejam devidamente destorroados, homogeneizados e a mistura de RAPs caracterizada. Para a adição de uma nova fonte de RAP para a pilha de RAP sendo utilizada, para um mesmo projeto de traço de misturas asfálticas, o mesmo deve ser caracterizado e a compatibilidade aprovada, conforme tolerâncias apresentadas na tabela a seguir.

<b>TOLERÂNCIAS PARA GRANULOMETRIA E TEOR DE LIGANTE DE NOVA FONTE DE RAP*</b>							
<b>Teor de RAP</b>		<b>0 - 20% RAP</b>		<b>20 - 30% RAP</b>		<b>&gt; 30% RAP</b>	
<b>Teor de ligante</b>		<b>±0,7%</b>		<b>±0,4%</b>		<b>±0,3%</b>	
<b>Peneira</b>		<b>Aplicação</b>		<b>Aplicação</b>		<b>Aplicação</b>	
<b>Série ASTM</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Camada de rolamento</b>	<b>Camada de ligação</b>	<b>Camada de rolamento</b>	<b>Camada de ligação</b>	<b>Camada de rolamento</b>	<b>Camada de ligação</b>
2"	50,8	-	-	-	-	-	-
1 1/2"	38,1	-	-	-	-	-	-
1"	25,4	-	±10	-	±7	-	±5
3/4"	19,1	-	±10	-	±7	-	±5
1/2"	12,7	±6	±10	±3	±7	±2	±5
3/8"	9,5	±8	-	±5	-	±4	-
N° 4	4,8	±10	-	±7	-	±5	-
N° 10	2,0	±8	±8	±5	±5	±4	±4
N° 40	0,42	±8	±8	±5	±5	±4	±4
N° 80	0,18	±8	-	±5	-	±4	-
N° 200	0,0175	±4	±4	±2	±2	±1,5	±1,5

\* As tolerâncias para a granulometria do RAP, após lavagem, que deve ser realizada após a extração do betume.

#### 4.3.1.2. Beneficiamento do RAP

É fundamental que seja realizado o beneficiamento, por meio de destorroamento, e a seleção, por meio de peneiramento, do material fresado previamente a sua utilização. Para o destorroamento, podem ser utilizados equipamentos comerciais ou devidamente adaptados. O procedimento visa passar o material por equipamento mecânico tipo destorroador e separar o material passante na peneira  $\frac{3}{4}$ " daquele retido na mesma peneira. O material passante é utilizado na usinagem do concreto asfáltico reciclado a quente e o retido poderá passar novamente pelo destorroador.

O manuseio do RAP antes de abastecer a baia da usina deverá obedecer as seguintes diretrizes:

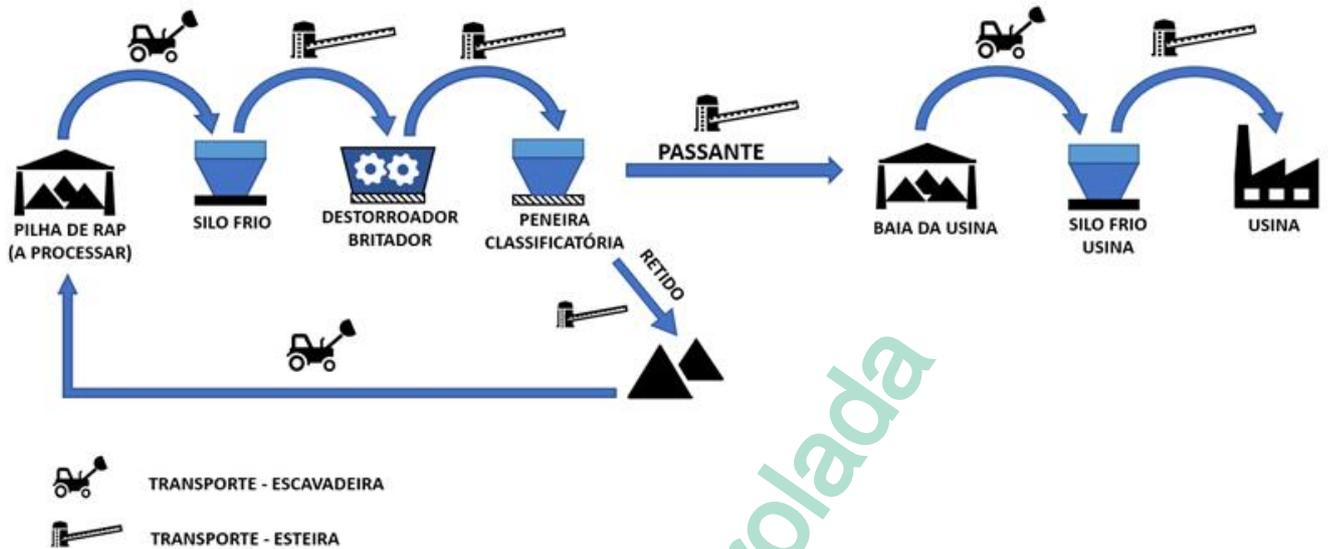
- A pilha do material deverá ser mantida em local coberto;
- O material da pilha deverá ser transferido para alimentar um silo frio;
- O material do silo frio deverá ser processado em equipamento mecânico com características de "destorroador";
- Após passagem pelo destorroador deverá passar por no mínimo uma peneira classificatória,  $\frac{3}{4}$ ", para eliminação dos grumos ainda existentes;
- O material passante na(s) peneiras(s) classificatória(s) deverá ser direcionado para uma baia coberta, onde ficará armazenado, em pilha com altura máxima de 2 metros.
- O material retido na peneira classificatória, deverá ser novamente enviado para o silo frio para ser novamente destorroado.
- A usina deverá ter um silo frio dedicado para o RAP;

Para adição do RAP na usina, as seguintes diretrizes devem ser seguidas:

- O material da baia deverá, no momento da usinagem ser transferido para o silo frio de RAP que alimentará a usina;
- Após o silo frio, a maneira como o RAP deverá ser adicionado à mistura dependerá do tipo de usina, e deverá seguir as diretrizes especificadas no item 6.4 desta especificação, para a usina a ser utilizada.

A figura a seguir apresenta um esquema do processo de beneficiamento do RAP, com as etapas descritas nesta seção.

## PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE RAP - ESQUEMÁTICO



### 4.3.2. Agregado Graúdo

Os agregados virgens para a execução do Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente serão obtidos através de britagem de rocha sãs encontradas na região. O agregado graúdo deve se constituir de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de argila, substâncias nocivas e devem seguir as mesmas especificações constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

### 4.3.3. Agregado Miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou ambos e devem seguir as mesmas especificações constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

### 4.3.4. Material de Enchimento (filer)

O material de enchimento (filer) deve seguir as mesmas especificações constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para

Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

#### **4.4. Melhorador de Adesividade**

Os critérios para determinação do melhorador de adesividade deve seguir as mesmas especificações constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

#### **4.5. Dosagem da Mistura**

##### **4.5.1. Composição Granulométrica dos Agregados**

A composição granulométrica dos agregados do concreto asfáltico, já incluindo os agregados provenientes do RAP, deve satisfazer os requisitos constantes na Especificação Técnicas da Ecorodovias (aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas):

ET-ECS.000.000-PAV/06 – Pavimentação – Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente;

ET-ECS.000.000-PAV/07 – Pavimentação – Especificação Técnica para Concreto Asfáltico com CAP Modificados por Polímeros Elastoméricos;

ET-ECS.000.000-PAV/17 – Pavimentação – Especificação Técnica para Concreto Asfáltico com Asfalto Borracha;

ET-ECS.000.000-PAV/19 – Pavimentação – Especificação Técnica para Execução de Mistura Asfáltica Morna.

##### **4.5.2. Dosagem Marshall ou Superpave das Misturas**

Para a dosagem do concreto asfáltico reciclado em usina a quente, deverá ser adotado o Ensaio Marshall (DNER-ME 043) ou Superpave. Para verificação das propriedades volumétricas, condições de vazios, estabilidade da mistura asfáltica, e a mínima porcentagem de vazios do agregado mineral, seguindo as mesmas diretrizes e tolerâncias constantes nas Especificações Técnicas da Ecorodovias (ET-ECS.000.000-PAV/06, ET-ECS.000.000-PAV/07, ET-ECS.000.000-PAV/17 e ET-ECS.000.000-PAV/19).

#### 4.5.2.1. Considerações a respeito do uso de RAP nas Dosagens

Para a utilização do RAP na dosagem de misturas asfálticas o mesmo deve ser caracterizado para obtenção do teor de ligante e granulometria por meio de ensaios laboratoriais de uma quantidade mínima de 3 amostras. Para assegurar a representatividade, a coleta das amostras deve ser realizada em diferentes posições da pilha de estocagem. As amostras devem ser coletadas de uma profundidade mínima de 15 cm para reduzir o efeito da segregação. Previamente aos ensaios, o material deve ser espalhado em bandejas de forma que a altura de material não seja superior a 5 cm para completa secagem em estufa com temperatura controlada de 60°C, até constância de massa. O tempo de secagem será função do teor de umidade e da quantidade de material. Os seguintes ensaios devem ser realizados no material seco representativo do material armazenado:

- Ensaio de extração de ligante para a determinação do teor;

Determinação das curvas granulométricas do RAP, **beneficiado e lavado, antes e após a extração do ligante** (Figura 1).

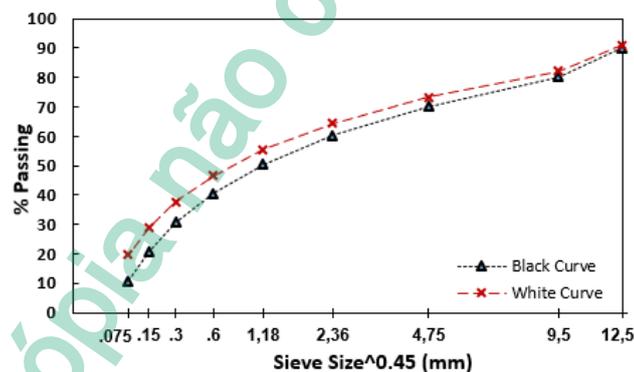


Figura 1 – gráfico de granulometria do RAP pré e pós extração do ligante

- A curva granulométrica do RAP com Ligante será a utilizada para a dosagem da mistura;
- A curva granulométrica do RAP sem Ligante será a utilizada apenas para o Controle Tecnológico

A média dos resultados de teor de ligante e da granulometria após a extração do ligante deve ser utilizado para a dosagem. Preferencialmente, o ligante asfáltico extraído do fresado asfáltico deve ser recuperado, utilizando-se, por exemplo, o método Abson (AASHTO T170), e ter suas características determinadas. Os ensaios a serem realizados são aqueles apresentados nas especificações técnicas do Grupo EcoRodovias para misturas asfálticas. Sempre que o teor de fresado asfáltico a ser utilizado na mistura for superior a 20%, a

recuperação e caracterização do ligante asfáltico deve ser obrigatória. Em relação aos agregados recuperados após a extração do ligante, é importante que se realize uma caracterização completa conforme ensaios preconizados nas especificações técnicas do Grupo EcoRodovias para misturas asfálticas.

A produção de misturas asfálticas contendo RAP em laboratório requer procedimentos adaptados para o uso de material. Primeiramente, o mesmo deve ser dosado e utilizado somente após secagem, e os seguintes procedimentos para a produção das misturas asfálticas devem ser adotados:

- Os agregados virgens devem ser aquecidos por período mínimo de 6 horas (normalmente os agregados são aquecidos de um dia para o outro);
- Após aquecimento dos agregados virgens, o mesmo é retirado da estufa e o RAP à temperatura ambiente deve ser adicionado e brevemente misturado com o auxílio de uma espátula;
- A mistura de agregados virgens e RAP deve então voltar à estufa pelo tempo mínimo necessário para atingir a temperatura dos agregados especificada em projeto;
- Após atingir temperatura de projeto, a mistura de agregados virgens e RAP deve ser misturada com o ligante conforme procedimento padrão.
- A quantidade de ligante a ser adicionado na mistura deve ser a diferença entre o Teor ótimo da mistura e o produto da porcentagem de RAP na mistura multiplicado pelo teor de ligante do RAP e pela “disponibilidade”.

$$T_{\text{ligante virgem}} (\%) = T_{\text{total}} - (P_{\text{RAP}} \times T_{\text{RAP}}) \times \text{Disponibilidade} (\%)$$

$T_{\text{ligante virgem}} (\%)$  = teor de ligante virgem a ser adicionado na mistura;

$T_{\text{total}} (\%)$  = teor ótimo de ligante na mistura, (incluindo o ligante virgem e o proveniente do RAP);

$P_{\text{RAP}} (\%)$  = Porcentagem de RAP na mistura, (em termos de peso total dos agregados);

$T_{\text{RAP}} (\%)$  = Teor de ligante do RAP, (conforme média dos resultados de extração de ligante);

### 4.5.3. Cálculo da Estimativa da “Disponibilidade” de Ligante contido no RAP utilizando Granulometrias com e sem Ligante

**Nota:** Disponibilidade é a porcentagem do ligante contido no RAP que está disponível na mistura asfáltica, expresso em %.

**Passo 1:** Utilizando a granulometria do agregado do RAP sem ligante, a espessura média do filme de mastique no RAP é calculado de acordo com a seguinte equação, proposta por Underwood e Kim (2013)

- **Cálculo do volume de mastique (Ligante + Filler)**

$$V_{mastique} = V_{be} + V_{filer} = \frac{P_{be} \left( 1 + \frac{P_b}{(100 - P_b)} \right)}{G_b} + \frac{P_{200}}{G_{sb}}$$

Onde:

$V_{mastique}$  = volume de mastique,

$V_{be}$  = volume de ligante efetivo,

$V_{filer}$  = volume de fíler,

$P_{be}$  = porcentagem de ligante efetivo,

$P_b$  = teor de ligante total,

$G_b$  = densidade do ligante e

$P_{200}$  = porcentagem passante na peneira de n° 200.

- **Calculo da espessura do filme de mastique**

$$V_{mastique} = \sum N_i \times V_i = \frac{P_{i+1} - P_i}{G_{sb} \times \rho_{\acute{a}gua} \times \frac{\pi}{6} \times \left( \frac{(d_{i+1} + d_i)}{2} \right)^3} \times \frac{\pi}{6} \left[ \left( \frac{(d_{i+1} + d_i)}{2} + 2e \right)^3 - \left( \frac{(d_{i+1} + d_i)}{2} \right)^3 \right]$$

Onde:

$V_{mastique}$  = volume de mastique,

$N_i$  = número de partículas de tamanho  $i$ ,

$V_i$  = volume de mastique cobrindo os agregados de tamanho  $i$ ,

$P_i$  = porcentagem passando na peneira de tamanho  $i$ ,

$G_{sb}$  = densidade real dos agregados,

$d_i$  = abertura da peneira (mm),

$e$  = espessura do filme de mastique.

**Passo 2:** Utilizando a granulometria do RAP com ligante e a espessura do filme de masticue “e” do Passo 1, o volume de masticue disponível no RAP é calculado por:

$$V_{\text{masticue disponível}} = \sum N_i \times V_i = \sum \frac{P_{RAP\ i+1} - P_{RAP\ i}}{G_{sb} \times \rho_{\text{água}} \times \frac{\pi}{6} \times \left(\frac{d_{i+1} + d_i}{2 - 2e}\right)^3} \times \frac{\pi}{6} \left[ \left(\frac{d_{i+1} + d_i}{2}\right)^3 - \left(\frac{d_{i+1} + d_i}{2} - 2e\right)^3 \right]$$

Onde:

$V_{\text{masticue disponível}}$  = Diferença entre o Volume de Masticue total e o Volume de Masticue indisponível

$d_i$  = abertura da peneira (mm),

$\rho_{\text{água}} = 1,000$

**Passo 3:** A razão entre o volume de masticue disponível do Passo 2 e o volume total definem a **disponibilidade** do ligante do RAP, EXPRESSO EM %.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{V_{\text{masticue disponível}}}{V_{\text{masticue}}} \times 100\% = \frac{V_{\text{ligante disponível}}}{V_{\text{ligante}}} \times 100\%$$

Onde:

$V_{\text{masticue disponível}}$  = volume de masticue disponível,

$V_{\text{masticue}}$  = volume de masticue,

$V_{\text{ligante disponível}}$  = volume de ligante disponível,

$V_{\text{ligante}}$  = volume de ligante total do RAP

**Nota:** Para efeitos práticos, foi inserida a Planilha Excel (anexo II) como auxílio para os cálculos dos passos 1, 2 e 3

#### 4.5.4. Parâmetros Volumétricos

A metodologia de cálculos de parâmetros volumétricos leva em consideração o método AAMD (availability adjusted mix design), desenvolvido por Mocelin (2023). Neste método, primeiramente se considera a porcentagem de ligante presente no RAP que estará disponível para misturar com o ligante virgem na mistura asfáltica, descontando a parcela de ligante reciclado indisponível. Como parte do ligante do RAP estará indisponível, esta parcela indisponível deve ser considerada como agregado (black rock) na composição da mistura, alterando as propriedades volumétricas tanto em termos de teor de ligante, quanto em termos de densidades (ilustração Figura 2). A metodologia encontra-se na ME-ECS.000.000-PAV/02.

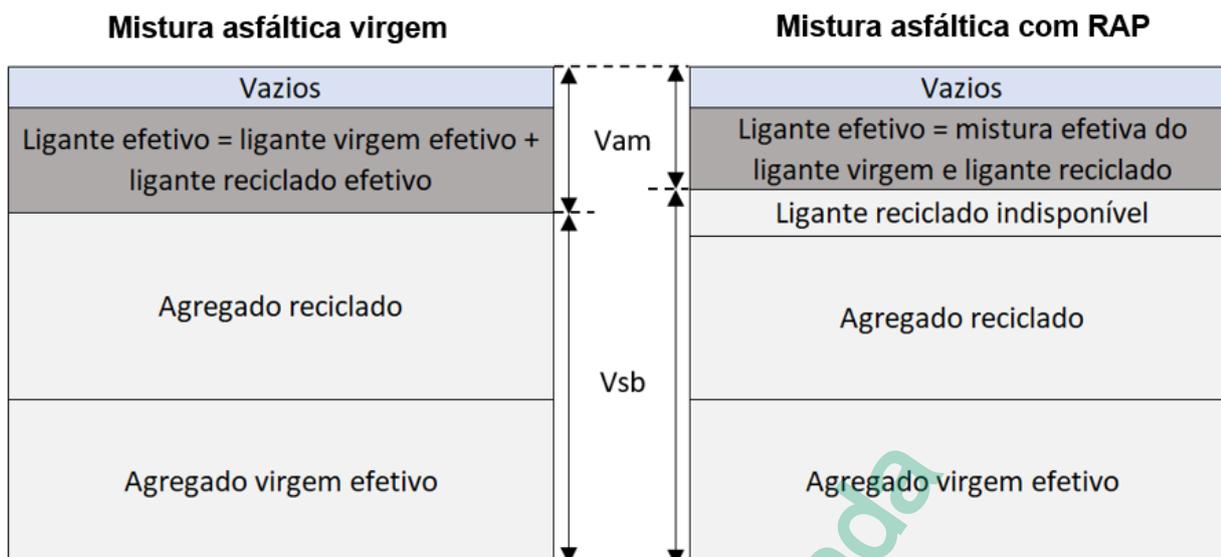


Figura 2 – Representação dos volumes da mistura compactada

**Legenda:**

$V_{am}$  = vazios do agregado mineral

$V_{sb}$  = volume dos agregados

**5. EQUIPAMENTOS**

Os equipamentos deverão ser capazes de executar os serviços descritos nesta especificação dentro dos prazos fixados no cronograma contratual, e deverão compreender, no mínimo:

**5.1. Depósito para ligante asfáltico**

Os depósitos para o ligante asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Norma. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o ligante asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

**5.2. Fresadora**

Equipamento utilizado para a remoção das camadas de pavimentos que darão origem ao RAP, através de corte e desbaste parcial ou total das camadas de revestimento asfáltico.

### 5.3. Silos para agregados e para o RAP

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo adequado para o RAP e um para o filer com capacidade de 30 toneladas, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

### 5.4. Usinas para misturas asfálticas recicladas

#### 5.4.1. Requisitos Gerais

Em termos gerais, os requisitos para usinas para misturas asfálticas convencionais devem também ser atendidos para as usinas para misturas recicladas. A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90°C a 210°C (precisão  $\pm 1$  °C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disto, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de  $\pm 5$  °C. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com os cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semi-automática com leitura instantânea e acumuladora, por meio de registros digitais em “display” de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios.

Para produção de misturas asfálticas recicladas, as usinas devem possuir acessórios para inserção e controle do RAP. Existem duas formas de tratamento do RAP em uma usina de asfalto: sem fonte exclusiva de aquecimento do RAP, assim denominado RAP frio; e com fonte de calor exclusiva para o RAP, denominado RAP quente. Na primeira opção, o aquecimento

do RAP apenas ocorre no contato com os agregados virgens, principalmente através da condução térmica e, geralmente, requer elevadas temperaturas para aquecimento dos agregados virgens para atingir a temperatura de projeto da mistura.

Já na tecnologia de RAP quente, há necessariamente um tambor secador somente para o RAP e os mecanismos de troca de calor são condução, convecção e radiação. A técnica de RAP quente pode requerer um leve incremento na temperatura dos agregados virgens, dependendo da tecnologia empregada.

Os diferentes tipos de usina e os procedimentos para a inserção do RAP são descritas no item a 5.4.2, a seguir. É de fundamental importância a identificação correta do tipo de usina com a qual se irá trabalhar, para uma correta utilização das instruções dadas nesta especificação. A tabela a seguir apresenta um resumo dos diferentes tipos de usinas para RAP frio ou quente.

Temperatura do RAP	Usinas Gravimétricas	Usinas Contínuas
Item 5.4.2.1 - Frio	Item 5.4.2.1 (a) - Método do Misturador	Item 5.4.3.1 - Drum-Mixer
	Item 5.4.2.1 (b) - Método do Elevador	Item 5.4.3.2 - Misturador Pugmill
	Item 5.4.2.1 (c) - Adição de RAP em Anel de Reciclagem	Item 5.4.3.3 - Tambor Duplo
	Item 5.4.2.1 (c) - Adição de RAP no Silo Quente	-
Item 5.4.2.2 - Quente	Item 5.4.2.2 (a) - Tambor Secador de Fluxo Paralelo Exclusivo	Item 5.4.3.4 - Misturador Pugmill
	Item 5.4.2.2 (b) - Tambor Secador de Contrafluxo Exclusivo	Item 5.4.3.5 - Tambor Duplo

## 5.4.2. Usinas gravimétricas para produção de misturas com RAP

### 5.4.2.1. RAP frio em usinas gravimétricas

Quando o RAP não é aquecido antes da mistura com os agregados virgens, os seguintes métodos podem ser utilizados:

a) Método do misturador

Neste método, o RAP úmido e à temperatura ambiente, é adicionado ao silo de pesagem como um material complementar e então misturado com os materiais virgens superaquecidos. A transferência de calor condutiva ocorre no silo de pesagem e no misturador ao longo do ciclo de mistura a seco. Uma variação deste método pode ser realizada usando um silo de pesagem independente para o RAP. A mesma condição de transferência de calor e liberação de vapor explicada acima se aplicam a esta situação.

b) Método do elevador

O RAP úmido e a temperatura ambiente, é transportado individualmente pelo elevador até o Silo quente, daí segue o procedimento de adição de RAP no silo quente.

c) Adição de RAP em um anel de reciclagem

O RAP é adicionado em um anel de reciclagem, para não ser exposto à chama do queimador a fim de evitar envelhecimento adicional do material, além do aumento da emissão de gases. O fenômeno de troca de calor predominante deve ser a condução térmica. Para aplicação em usinas gravimétricas, dependendo da porcentagem de RAP utilizada, deve-se abrir mão do sistema de peneiramento.

d) Adição de RAP no Silo Quente

O RAP é adicionado no silo quente, porém devem ser seguidos os seguintes procedimentos:

- O silo quente deve preferencialmente ser revestido com isolante térmico. Caso não haja o revestimento térmico, a utilização do silo somente será validada se houver comprovação da viabilidade através de testes para verificação da possível aglomeração do material enquanto no silo quente;
- O RAP deverá ser inserido no silo quente apenas no momento imediatamente antes da execução da mistura e retirado do silo quente assim que terminar a mistura, não devendo ficar estocado no interior do silo quente a fim de evitar aglomeração do material e envelhecimento excessivo do ligante presente no RAP.

#### **5.4.2.2. RAP quente em usinas gravimétricas**

Quando o RAP é aquecido por uma fonte exclusiva de calor, os seguintes métodos podem ser utilizados:

a) Tambor secador de fluxo paralelo exclusivo;

O RAP é adicionado em um tambor secador de fluxo paralelo dedicado exclusivamente a este material (tambor secador adicional àquele utilizado pelos agregados virgens). Deve-se ter um elevador de canecas e um silo balança também dedicados exclusivamente ao RAP. Os fenômenos principais de troca de calor são condução, convecção e radiação.

b) Tambor secador de contrafluxo exclusivo;

O RAP é adicionado em um tambor secador de contrafluxo dedicado exclusivamente a este material (tambor secador adicional ao utilizado pelos agregados virgens), com aquecimento indireto do RAP. Deve-se ter um elevador de canecas e um silo balança também dedicados exclusivamente ao RAP.

### **5.4.3. Usinas contínuas para produção de misturas com RAP**

O RAP pode ser inserido em uma usina contínua por meio de um secador contrafluxo drum-mixer, com misturador pugmill ou tambor duplo.

#### **5.4.3.1. RAP frio em usinas contínuas drum-mixer**

Os agregados virgens são inseridos na extremidade superior oposta ao do queimador e fluem em sentido contrário aos gases. Dois tipos de sistemas podem ser utilizados nesta configuração: anel de reciclagem, onde o RAP é adicionado e aquecido por condução térmica, sem contato com a chama do queimador; e através de um segundo tambor rotativo exclusivo para o RAP, porém sem sistema de aquecimento.

#### **5.4.3.2. RAP frio em usinas contínuas com misturador pugmill**

Usina contínua com secador de contrafluxo dedicado exclusivamente aos agregados virgens. Este conceito de usina apresenta misturador do tipo pugmill totalmente independente do sistema de secagem. Duas soluções podem ser adotadas para a adição do RAP: anel de reciclagem, e adição do RAP frio diretamente no misturador.

#### **5.4.3.3. RAP frio em usinas contínuas com tambor duplo**

A secagem dos agregados virgens ocorre em um secador de contrafluxo superaquecido. Estes agregados são descarregados por lâminas fixadas na parte externa do secador para um leito localizado entre o invólucro de secagem rotativo e o invólucro do misturador externo fixo.

O RAP frio é misturado com os agregados virgens aquecidos, o ligante, o filer e outros aditivos, por determinado tempo, recebendo calor também do revestimento metálico quente do secador na área de combustão.

#### **5.4.3.4. RAP quente em usinas contínuas com misturador pugmill**

Similar à usina contínua com misturador pugmill para RAP frio, porém com uma fonte de calor exclusiva para aquecer o RAP, podendo ser um tambor secador de fluxo paralelo ou um tambor secador de contrafluxo, exclusivos para o RAP.

#### **5.4.3.5. RAP quente em usinas contínuas com tambor duplo**

Similar ao RAP frio em usinas contínuas de tambor duplo, porém com um secador exclusivo para o RAP.

#### **5.5. Caminhões basculantes para transporte da mistura**

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico reciclado em usina a quente, deve ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina etc.) não é permitida.

#### **5.6. Equipamento para espalhamento e acabamento**

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar a mistura exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas

com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

### **5.7. Equipamento para compactação**

O equipamento para a compactação deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup> a 8,4 kgf/cm<sup>2</sup>. O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura na densidade de projeto, enquanto está se encontrar em condições de trabalhabilidade.

NOTA: Todo equipamento a ser utilizado deve ser vistoriado antes do início da execução do serviço de modo a garantir condições apropriadas de operação, sem o que, não será autorizada a sua utilização.

## **6. EXECUÇÃO**

### **6.1. Condições Gerais**

As condições gerais para execução de Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente devem seguir os mesmos protocolos constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

### **6.2. Produção da Mistura Asfáltica**

A mistura asfáltica deverá ser produzida em usinas com capacidade de produção suficiente para execução das camadas asfálticas no prazo previsto no cronograma físico das obras. Esta usina deve ser devidamente adaptada para o uso de RAP, conforme soluções descritas no item 5.4.

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a

150 SSF, "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), indicando-se, preferencialmente, a viscosidade de 75 a 95 SSF. A temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C.

### **6.3. Transporte da Mistura/ Aplicação/ Abertura ao trânsito**

Os critérios para transporte da mistura, aplicação (distribuição, acabamento e compactação), proteção das camadas e abertura ao trânsito devem seguir os mesmos requisitos constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

## **7. MANEJO AMBIENTAL**

Em geral, os critérios para manejo ambiental dos materiais a serem utilizados na produção e execução de Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente são os mesmos descritos na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, e devem ser seguidas as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas). Adicionalmente, o manejo ambiental referente ao RAP é descrito no item a seguir.

### **7.1. RAP**

O uso do RAP pode reduzir o consumo de energia, as emissões de gases do efeito estufa, o uso de materiais virgens não renováveis e também diminuir os resíduos em aterros. Para execução de concreto asfáltico reciclado a quente ou morno no local são necessários trabalhos envolvendo a utilização de asfalto e agregados, além da instalação de usina misturadora. Os cuidados a serem observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção e aplicação de agregados, a preparação do RAP, o estoque e a operação da usina. Deve ser evitada a utilização de RAP proveniente de local onde tenha ocorrido algum tipo de acidente ambiental que possa comprometer a mistura asfáltica no que se refere a danos ambientais

## **8. CONTROLE DE QUALIDADE**

O controle de qualidade será de responsabilidade do executante, estando sujeito a auditoria por parte da EcoRodovias. Em geral os critérios estabelecidos na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente devem também ser seguidos para o Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas). Critérios adicionais referentes ao uso de material reciclado são descritos nos itens a seguir.

### **8.1. Controle de Qualidade dos Materiais**

Todos os critérios para controle de qualidade dos materiais devem seguir os mesmos requisitos constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas). Adicionalmente, o controle de qualidade do RAP deve ser realizado de acordo com o item a seguir.

#### **8.1.1. RAP**

O controle de qualidade dos RAP constará no mínimo do seguinte:

- a) 2 ensaios de extração de ligante por jornada de 8 horas de trabalho (método DNER-ME 053, ASTM D6307 ou DNIT 158);
- b) 2 ensaios de determinação da granulometria dos agregados recuperados por jornada de 8 horas de trabalho (método DNIT 412-ME, DNER-ME 083);
- c) Determinação da umidade do RAP diariamente, no início dos trabalhos, e ao longo do dia. A umidade recomendada para o RAP é de até 3%, sendo que a umidade máxima da mistura usinada será limitada à:
  - Se a mistura usinada for com agregado do tipo basalto, umidade máxima de 0,5%.
  - Se a mistura usinada for com qualquer outro tipo de agregado, umidade máxima de 0,3%.

### **8.2. Controle da usinagem e execução do concreto asfáltico**

O controle da execução será exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória. O controle para Concreto Asfáltico Reciclado em Usina a Quente deve seguir os mesmos requisitos constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-

PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

### 8.3. Controle Geométrico

O controle geométrico deve seguir os mesmos requisitos constantes na Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação - Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente, aplicando-se as edições mais recentes do documento referido (incluindo emendas).

### 8.4. Critério de Aplicação de Fator de Pagamento

- Se a contratada usinar e realizar a aplicação da mistura asfáltica, o critério será aplicado para os seguintes parâmetros de controle:

- Granulometria;
- Teor de Betume;
- Grau de Compactação;
- Condição de conforto (IRI);
- Condição de segurança;

- Se a contratada somente usinar a mistura asfáltica, o critério será aplicado para os seguintes parâmetros de controle:

- Granulometria;
- Teor de Betume.

- Se a contratada realizar somente a aplicação da mistura asfáltica, o critério será aplicado para os seguintes parâmetros de controle:

- Grau de Compactação;
- Condição de conforto;
- Condição estrutural – no caso de pista nova.

O Fator de Pagamento incidirá sobre os serviços necessários e contratados para a execução da camada de concreto asfáltico que está em processo de avaliação para recebimento: item “usinagem” e item “aplicação” (se forem itens separados) ou simplesmente no item “Usinagem e Aplicação” (se for item único), conforme Contrato.

Fica esclarecido que o fator de pagamento somente incidirá sobre os dois itens expressamente descritos como: "usinagem" ou "aplicação", não sendo aplicável a outros itens de planilha de serviços auxiliares e complementares. Nos casos onde os itens de planilha de serviços auxiliares e complementares estiverem inclusos, em contrato, dentro de um destes serviços: "usinagem" ou "aplicação", deverá incidir o fator de pagamento sobre o item completo.

Também será de responsabilidade da contratada na aplicação da mistura asfáltica, a extração de corpo de prova e a coleta de amostras da mistura em pista, conforme item 8.2.2.1 e 8.2.2.3 da Especificação Técnica ET-ECS.000.000-PAV/06 - Pavimentação – Especificação Técnica para Concreto Asfáltico Usinado a Quente. As amostras deverão ser entregues ao contratante ou local por este indicado.

Os resultados do controle dos parâmetros citados devem ser analisados por grupo de ensaios através da Análise de Nível de Qualidade, que determina a proporção do lote que está fora dos limites da especificação. A análise do Nível de Qualidade é um procedimento estatístico para estimar a variação que estes elementos fora de especificação podem causar na média e no desvio padrão da amostra, permitindo definir um risco aceitável para esta variação em cada um dos parâmetros envolvidos.

Serão aplicados fatores de pagamento (penalização) em função do nível de risco encontrado na amostra, variando de 0,90 a 1,00. O valor limite inferior (0,90) representa o máximo risco permissível e abaixo do qual todo o lote deve ser rejeitado.

Se os valores dos resultados dos ensaios estiverem dentro das faixas de aceitação, porém dispersos, embora possa ser prevista a aplicação do Fator de Pagamento este será desconsiderado.

O procedimento de Análise do Nível de Qualidade deve seguir os seguintes passos, para cada parâmetro analisado e de acordo com a planilha modelo no Anexo I:

a) Determinação da Média Aritmética dos resultados dos ensaios.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

onde:

$\Sigma$ = somatória

$X_i$ = valor individual do ensaio

$n$ = número total de amostras;

b) Cálculo do Desvio – padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

c) Cálculo do Índice de Qualidade Superior

$$Q_s = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma}$$

onde LSE é o limite superior da especificação;

d) Cálculo do Índice de Qualidade Inferior

$$Q_i = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma}$$

onde LIE é o limite inferior da especificação;

e) Determinação do Ps (porcentagem da amostra que corresponde a um dado Qs) na tabela 1. Note que se o LSE não é especificado Ps=100;

f) Determinação do Pi (porcentagem da amostra que corresponde a um dado Qi) na Tabela 1. Note que se o LIE não é especificado Pi=100;

g) Determinação da Nível de Qualidade Requerido (NQR)

$$NQR = (Ps + Pi) - 100;$$

h) Usando o NQR, determinar o fator de pagamento pela Tabela 2.

Para efeito de pagamento utilizar-se-á o menor fator dentre os parâmetros analisados. Para o caso da granulometria, o fator NQR a ser considerado será o valor médio obtido da análise das diversas peneiras.

**Tabela 1**

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE QUALIDADE PELO MÉTODO DO DESVIO PADRÃO															
PS ou PI	Índice de Qualidade Superior Qs e Índice de Qualidade Inferior Qi para nº de Amostras n														
	n 3	n 4	n 5	n 6	n 7	n 8	n 9	n 10 a n 11	n 12 a n 14	n 15 a n 18	n 19 a n 25	n 26 a n 37	n 38 a n 60	n 61 a n 200	n 201 a n
100	1,16	1,50	1,79	2,04	2,23	2,39	2,53	2,65	2,83	3,03	3,20	3,38	3,54	3,70	3,83
99		1,47	1,67	1,80	1,89	1,95	2,00	2,04	2,09	2,14	2,18	2,22	2,26	2,29	2,31
98	1,15	1,41	1,60	1,70	1,76	1,81	1,84	1,86	1,91	1,93	1,96	1,99	2,01	2,03	2,05
97		1,41	1,54	1,62	1,67	1,70	1,72	1,74	1,77	1,79	1,81	1,83	1,85	1,86	1,87
96	1,14	1,38	1,49	1,55	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,68	1,70	1,71	1,73	1,74	1,75
95		1,35	1,44	1,49	1,52	1,51	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,63	1,63	1,64
94	1,13	1,32	1,39	1,43	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55	1,55
93		1,29	1,35	1,38	1,40	1,41	1,42	1,43	1,41	1,44	1,45	1,46	1,46	1,47	1,47
92	1,12	1,26	1,31	1,33	1,35	1,36	1,36	1,37	1,37	1,38	1,39	1,39	1,40	1,40	1,40
91	1,11	1,23	1,27	1,29	1,30	1,30	1,31	1,31	1,32	1,32	1,33	1,33	1,33	1,34	1,34
90	1,10	1,20	1,23	1,24	1,25	1,25	1,26	1,26	1,26	1,27	1,27	1,27	1,28	1,28	1,28
89	1,09	1,17	1,19	1,20	1,20	1,21	1,21	1,21	1,21	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,23
88	1,07	1,14	1,15	1,16	1,16	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
87	1,06	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13
86	1,04	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
85	1,03	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,01	1,04	1,04	1,04	1,01
84	1,01	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
83	1,00	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95
82	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
81	0,96	0,93	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
80	0,94	0,90	0,88	0,87	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84
79	0,91	0,87	0,85	0,84	0,84	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
78	0,89	0,84	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77
77	0,87	0,81	0,78	0,77	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74
76	0,84	0,78	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
75	0,82	0,75	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67
74	0,79	0,72	0,69	0,68	0,67	0,66	0,66	0,68	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64
73	0,76	0,69	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61
72	0,74	0,66	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58
71	0,71	0,63	0,60	0,59	0,58	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55
70	0,68	0,60	0,57	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52
69	0,65	0,57	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
68	0,62	0,54	0,51	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
67	0,59	0,51	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44
66	0,56	0,48	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41
65	0,52	0,45	0,43	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
64	0,49	0,42	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
63	0,46	0,39	0,37	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33
62	0,44	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
61	0,39	0,33	0,31	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
60	0,36	0,30	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25
59	0,32	0,27	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24
58	0,29	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
57	0,25	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
56	0,22	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
55	0,18	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
54	0,14	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
53	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
52	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
51	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Obs.: Para valores de Qs ou Qi negativos, considerar Ps ou Pi igual a 100 menos o valor de Ps ou Pi correspondente ao valor absoluto de Qs ou Qi.

Quando o valor obtido pelo cálculo do tratamento estatístico encontrar-se de forma intermediária entre o Ps e Pi, adotar o valor superior na tabela.

**Tabela 2**

Fator de Pagamento	Nível de Qualidade Requerido para nº de Amostras n														
	n 3	n 4	n 5	n 6	n 7	n 8	n 9	n 10 a n 11	n 12 a n 14	n 15 a n 18	n 19 a n 25	n 26 A n 37	n 38 a n 60	n 61 a n 200	n 201 a n
1,000	71	77	80	82	84	85	85	86	87	88	89	90	91	93	94
0,996	68	74	78	80	81	82	83	84	85	86	87	89	90	91	93
0,992	66	72	75	77	79	80	81	82	83	85	86	87	88	90	92
0,988	64	70	73	75	77	78	79	80	81	83	84	85	87	88	90
0,984	62	68	71	74	75	77	78	78	80	81	81	84	85	87	89
0,980	60	66	69	72	73	75	76	77	78	80	81	83	84	86	88
0,976	59	64	68	70	72	73	74	75	77	78	80	81	83	85	87
0,972	57	63	66	68	70	72	73	74	75	77	78	80	81	83	86
0,968	56	61	65	67	69	70	71	72	74	75	77	78	80	82	84
0,964	55	60	63	65	67	69	70	71	72	74	75	77	79	81	83
0,960	53	58	62	64	66	67	68	69	71	73	74	76	78	80	82
0,956	52	57	60	63	64	66	67	68	70	71	73	75	76	79	81
0,952	51	55	59	61	63	64	66	67	68	70	72	73	75	77	80
0,948	50	54	57	60	62	63	64	65	67	69	70	72	74	76	79
0,944	48	53	56	58	60	62	63	64	66	67	69	71	73	75	78
0,940	47	51	55	57	59	60	62	63	64	66	68	70	72	74	77
0,936	46	50	53	56	58	59	60	61	63	65	67	69	71	73	76
0,932	45	49	52	55	56	58	59	60	62	64	65	67	69	72	75
0,928	44	48	51	53	55	57	58	59	61	63	64	66	68	71	74
0,924	42	46	50	52	54	55	57	58	60	61	63	65	67	70	72
0,920	41	45	48	51	53	54	56	57	58	60	62	64	66	69	71
0,916	40	44	47	50	52	53	54	55	57	59	61	63	65	67	70
0,912	38	43	46	48	50	52	53	54	56	58	60	62	64	66	69
0,908	37	41	45	47	49	51	52	53	55	57	59	61	63	65	68
0,904	36	40	43	46	48	50	51	52	54	56	57	60	62	64	67
0,900	34	39	42	45	47	48	50	51	53	55	56	58	61	63	66

Obs.: Quando o valor obtido pelo cálculo do tratamento estatístico encontrar-se de forma intermediária no fator de pagamento, adotar o valor superior na tabela.

## 9. MEDIÇÃO E PAGAMENTO

O serviço será medido pelo volume (metros cúbicos) efetivamente aplicado, devendo o mesmo contemplar todas as etapas do serviço concluído. As espessuras da camada, para efeito de medição, serão as de projeto, confirmada a critério da EcoRodovias Concessões e Serviços, através da extração de corpos-de-prova da pista.

O pagamento será feito pelo preço unitário contratual multiplicado pelo fator de pagamento obtido conforme descrito no item 8.4, e este pagamento será a remuneração única do serviço, incluindo o fornecimento, o transporte e a aplicação dos materiais, toda a mão-de-obra e encargos sociais incidentes, os equipamentos, as ferramentas, as despesas indiretas, as despesas fiscais e eventuais necessários à sua execução.

### Anexo I – Modelo Planilha de Fator de Pagamento

#### APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO PARA A DETERMINAÇÃO DO "FATOR DE PAGAMENTO"

Contrato (COLOCAR A NUMERAÇÃO)  
 Execução de (TIPO DE FAIXA - RODOVIA KM A ao B)

Empreiteira (NOME DO FORNECEDOR)  
 Data do serviço (PREENCHER COM DATA DE INÍCIO E FIM DO SERVIÇO)

DESCRIÇÃO	PARÂMETROS DE CONTROLE											LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS										
	GRANULOMÉTRICA (% que passa por peneira)										TEOR DE BETUME	GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)	CONFORTO Ql (cont./km)	SEGURANÇA		GRANULOMETRIA E TEOR	GRAU DE COMPACTAÇÃO	MERLIN	VRD e HS			
FAIXA DE TRABALHO	LSE														VRD	HS (mm)	(Massa) Km	(Extraído) Km	Km	Km		
	LIE	Data																				
DADOS DA EMPREITEIRA																						
RESULTADOS ESTATÍSTICOS	nº Amostras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	Média (X)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
	Desvio Padrão (s)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!								
ÍNDICE DE QUALIDADE	Os	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
	Qi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
	Ps (Tabela 1)																					
	Pi (Tabela 1)																					
	NQR individual	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100								
NQR adotado										-100	-100	-100	-100									
FATOR DE PAGAMENTO	Individual Calculado																					
	Final Adotado	<b>REPROVADO</b>																				

