



RECICLAGEM DO RESÍDUO PELA FRESAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO

Rafael Santos Batista

Orientador: Sidnea Eliane Campos Ribeiro

**Belo Horizonte
Janeiro/2016**

RAFAEL SANTOS BATISTA

**RECICLAGEM DO RESÍDUO PRODUZIDO PELA
FRESAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO**

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

Orientador: Sidnea Eliane Campos
Ribeiro

Belo Horizonte
Janeiro/2016

AGRADECIMENTOS:

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado esta oportunidade e forças para chegar tão longe, em um caminho em que muitos desistem.

Aos meus pais, familiares e amigos por acreditarem no meu potencial e por sempre me incentivarem nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora, professora Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro, pela sua atenção, paciência e auxílio na elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os colegas de profissão e professores que dividiram suas experiências e sabedoria no decorrer desses anos de formação acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho fundamentou-se na descrição dos processos de reaproveitamento do material fresado de pavimentação. Os dados apresentados foram obtidos através de revisão bibliográfica e de um estudo de caso. Devido à escassez de materiais virgens e o aumento do custo na restauração convencional do pavimento, procura-se soluções para reduzir os custos das obras e do impacto causado pela retirada de matéria- prima da natureza. Foram encontradas variadas técnicas de reciclagem dos pavimentos. Concluiu-se que essas técnicas são de extrema importância para o meio ambiente e as vantagens do processo de reaproveitamento do material fresado de pavimentação se sobrepõe às suas desvantagens. É necessário que os novos engenheiros, arquitetos e projetistas se atualizem juntamente com a geração existente, e que grandes empresas do ramo rodoviário adotem a técnica.

Palavras Chaves: Reciclagem; Pavimentos asfálticos; Fresagem.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivo Geral.....	3
1.3 Objetivos Específicos	3
1.4 Metodologia	3
1.5 Resultados esperados	4
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Pavimentos Asfálticos (Flexíveis)	5
2.2 Patologias dos Pavimentos Asfálticos	7
2.3 Reciclagem de Pavimentos Asfálticos	11
2.4 Um Breve Histórico.....	12
2.5 Material Fresado de Pavimentação	13
2.5.1 Definição.....	13
2.5.2 Classificação dos tipos de fresagem	13
2.6 Tipos de Reciclagem	16
2.6.1 Reciclagem a quente	17
2.6.1.1 Reciclagem a quente em usina.....	17
2.6.1.2 Reciclagem a quente “in situ”	18
2.6.2 Reciclagem a Frio.....	19
2.6.2.1 Reciclagem a frio em usina	19
2.6.2.2 Reciclagem a frio “in situ”	20
2.7 Vantagens e desvantagens da reciclagem	22
2.7.1 Vantagens	22
2.7.2 Desvantagens.....	23
3.0 CASO EM ESTUDO.....	24
3.1 Informações sobre o trecho restaurado	24
3.2 Obras de Pavimentação	26
3.2.1 Reciclagem na restauração de pavimentos	26
3.2.2 Reciclagem na recuperação de pavimentos	30
3.2.3 Reciclagem na reconstrução do pavimento	35
4.0 CONCLUSÃO	39
5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de carga no pavimento flexível.....	5
Figura 2 - Camadas do pavimento flexível.....	6
Figura 3 - Trincamento associado ao tráfego	7
Figura 4 - Afundamento associado ao tráfego	8
Figura 5 - Ondulação ou corrugação	8
Figura 6 - Escorregamento do revestimento.....	9
Figura 7 - Exsudação	9
Figura 8 - Desgaste do pavimento.....	10
Figura 9 - Panela ou buraco associado ao tráfego	10
Figura 10 - Trator pesado equipado com escarificador - Komatsu Ripper.....	12
Figura 11 - Comparação entre os tipos de fresagem quando à rugosidade resultante na pista	16
Figura 12 - Técnicas de reciclagem a quente em Usinas.....	18
Figura 13 - Esquema de operação da reciclagem a quente in situ com fresagem a quente.....	19
Figura 14 - Reciclagem a frio em usina	20
Figura 15 - Reciclagem a frio in situ revestimento asfáltico	21
Figura 16 - Reciclagem a frio in situ do revestimento asfáltico e camada granular	22
Figura 17 - Localização do trecho de concessão da Autopista Fluminense	24
Figura 18 - Ligação da Rodovia BR-101/RJ com as grandes obras econômicas.....	25
Figura 19 - Fissuras em pavimento asfáltico	26
Figura 20 - Fresagem do capeamento.....	27
Figura 21 - Despejo de material fresado na Usina para reciclagem.....	28
Figura 22 - Lançamento e compactação da primeira camada do capeamento com material reciclado.....	28
Figura 23 - Lançamento da segunda camada de pavimento - CBUQ (não reciclado).....	29
Figura 24 - Fresagem do capeamento.....	30
Figura 25 - Máquina de reciclagem in situ do material de base	31
Figura 26 - Lançamento do material reciclado de base	32
Figura 27 - Compactação de base.....	32
Figura 28 - Lançamento do material reciclado em central fixa da primeira fase do capeamento	33
Figura 29 - Pintura de ligação - aplicação do ligante para receber a segunda camada de capeamento.....	33
Figura 30 - Lançamento do material final, não reciclado do capeamento - CBUQ	34
Figura 31 - Finalização e compactação final do pavimento.....	34
Figura 32 - Remoção do material de base e subleito.....	35
Figura 33 - Reforço da capa do subleito com rachão.....	36

Figura 34 - Finalização da base com material reciclado com adição de cimento (processo de cura)	37
Figura 35 - Aplicação da primeira camada do capeamento, com material reciclado a quente .	37
Figura 36 - Aplicação da segunda camada do capeamento com CBUQ.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Guia para a seleção de métodos de reciclagem	11
---	----

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O pavimento é uma estrutura destinada a resistir aos esforços gerados pelo tráfego. Mas, ao passar do tempo pelo excesso de carga sobre a pista, ou ainda pelas condições não satisfatórias da base da estrada, começam a surgir imperfeições ao longo do pavimento, necessitando de manutenção. Essa manutenção é feita através da fresagem de uma camada do pavimento, que recebe uma nova capa asfáltica.

Neste processo de fresagem é gerada uma grande quantidade de resíduos, para o qual ainda não há uma destinação correta. A dificuldade de encontrar locais de bota-fora devidamente legalizados para recebimento deste material acarreta na destinação incorreta, permanecendo o mesmo em áreas de bota-fora, à beira de nossas rodovias.

Na área da engenharia rodoviária, existe um aumento constante da demanda de matéria prima para construção de novas obras e para a manutenção de obras já existentes. Devido a isso, os recursos naturais têm se tornado cada vez mais escassos, e o desenvolvimento de novas técnicas e o uso de novos materiais que têm o objetivo de diminuir a exploração da natureza se tornam essenciais. Entre os materiais alternativos que vêm sendo utilizados em diversas pesquisas, pode-se destacar o uso do material fresado, também conhecido como RAP (reclaimed Asphalt Pavement). O uso desse insumo tem crescido ao longo dos últimos anos em diversos tipos de misturas asfálticas, devido a seus benefícios econômicos e ambientais.

A reciclagem de materiais é um caminho que hoje esta em constante atualização, quer no campo das investigações, de modo reduzir a exploração de matérias-primas não renováveis com a utilização de resíduos como novos recursos, quer na sua normalização para possível aplicação.

A reciclagem de pavimentos consiste na fresagem e desagregação dos materiais do pavimento existente até certa profundidade e posterior reutilização destes para a construção de novas camadas mediante a adição de ligantes (cimento, cal, betume espuma, emulsão), água, eventualmente novos agregados (como corretores granulométricos) e aditivos, como medida de reabilitação do pavimento. As novas camadas construídas podem visar apenas à reabilitação das características funcionais ou também a reabilitação das características estruturais.

O tema a ser estudado reciclagem de resíduos asfálticos é uma pratica que vem

ocorrendo nas maiores concessionárias do país, como por exemplo Autopista Fluminense no estado do Rio de Janeiro, empresa que administra a BR 101 Governador Mario Covas, este estudo mostrará alguns exemplos de reciclagem e seus benefícios.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é apresentar um destino adequado ao resíduo produzido pela fresagem do concreto asfáltico gerado.

1.3 Objetivos Específicos

Desenvolver um estudo sobre a utilização do resíduo produzido pela fresagem do concreto asfáltico, apresentando técnicas de aproveitamento e reutilização de material fresado de pavimentação, alinhando preocupações com meio ambiente, custo e qualidade.

1.4 Metodologia

A realização deste trabalho se baseará basicamente em estudos literários de procedimentos, normas, manuais, estudos de casos especificações técnicas e de trabalhos já realizados com as técnicas de reciclagem e aproveitamento de produtos resultantes de trabalhos de pavimento, tentando unir nossas preocupações com o meio ambiente e de custo, mais ciente de que as técnicas de reciclagem de pavimentos ainda são muito recentes, de pouca aplicação no Brasil, tendo assim poucos estudos de casos relacionados a esse tema, independente da técnica a ser utilizada, onde muitas das premissas foram tomadas com base, nas condições topográficas, climáticas e fornecimento de matéria primadas estradas Europeias.

Neste trabalho contemplará uma avaliação das vantagens de aplicação da reciclagem no que diz respeito aos aspectos técnicos, ambientais e de qualidade, no universo rodoviário, descrevendo ainda os métodos, técnicas e procedimentos disponíveis mostrando aplicabilidade dessas soluções e suas restrições, objetivando mostrar tanto os aspectos positivos, quanto os negativos.

1.5 Resultados esperados

Como Resultado deste trabalho espera-se desenvolver uma avaliação das vantagens de aplicação no que diz respeito aos aspectos técnicos, ambientais e de qualidade, no universo rodoviário, descrevendo ainda os métodos, técnicas e procedimentos disponíveis mostrando aplicabilidade dessas soluções e suas restrições, objetivando mostrar tanto os aspectos positivos, quanto os negativos.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

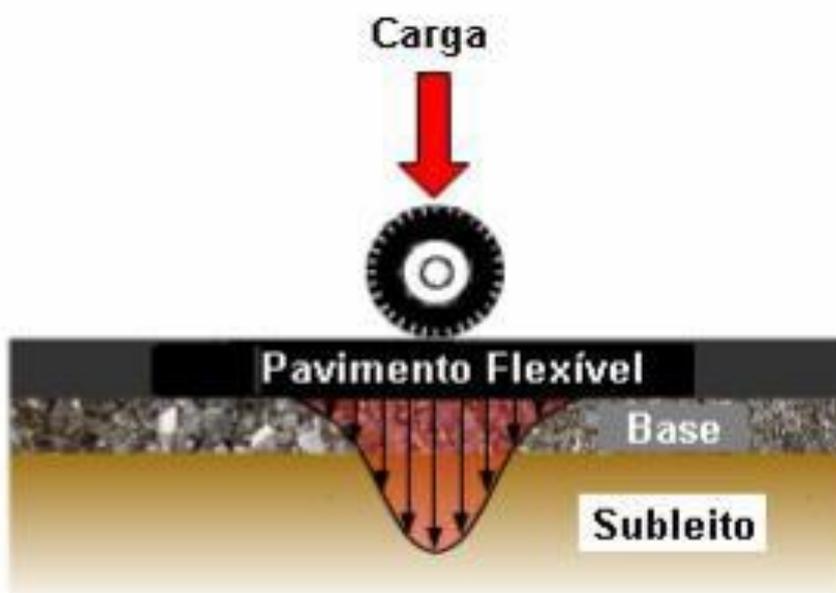
2.1 Pavimentos Asfálticos (Flexíveis)

O DNIT (1994) define o pavimento como:

“Estrutura construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais tornando mais durável a superfície e rolamento”.

Os pavimentos flexíveis, de acordo com a NBR 7207/82 (1982) são formados por camadas que não trabalham a tração, com a exceção do revestimento que pode suportar esse tipo de esforço. Quando uma determinada carga é aplicada, todas as camadas que constituem o pavimento sofrem deformação elástica, sendo equivalente a distribuição entre cada camada, (Figura 1).

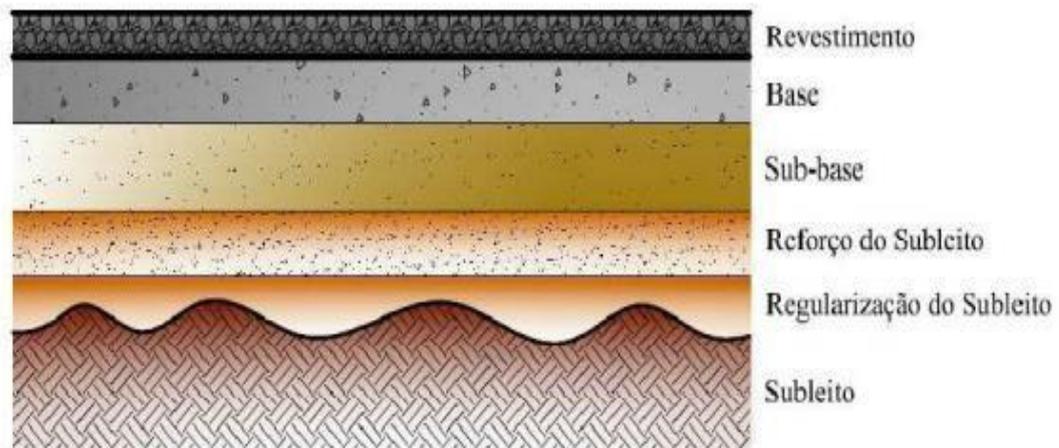
Figura 1 - Distribuição de carga no pavimento flexível



Fonte: Departamento de Transportes da UFPR.

As camadas que constituem o pavimento flexível são: revestimento (asfáltico), base, sub-base, reforço do subleito e regularização do subleito (Figura 2), todas essas camadas são apoiadas sobre o subleito.

Figura 2 - Camadas do pavimento flexível



Fonte: MARQUES, 2006

MARQUES (2006) define as camadas do revestimento como:

- **Revestimento:** A ação do rolamento dos veículos age diretamente sobre essa camada. Sua função é melhorar as condições da via, proporcionando ao usuário conforto e segurança. Deve resistir ao desgaste e aos esforços atuantes
- **Base:** Essa camada resiste aos esforços da superfície de rolamento e tem como função distribuir a carga ao subleito.
- **Sub-base:** Camada que complementa a base caso não seja possível executar a base diretamente no reforço de subleito ou regularização do subleito.
- **Reforço de subleito:** Camada com espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente. Sua função é melhorar a qualidade do subleito.
- **Regularização do subleito (nivelamento):** É a camada destinada a conformar o leito transversalmente e longitudinalmente. Sua existência está relacionada com as condições do subleito.
- **Subleito:** é o terreno onde o pavimento será assentado.

2.2 Patologias dos Pavimentos Asfálticos

A Norma DNIT 005/2003 – TER fornece a terminologia que define os termos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semirrígidos e essas terminologias são descritas abaixo:

Fissura: Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista forte de uma distância inferior a 1,50 m.

Trinca: Fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada (Figura 3).

Figura 3 - Trincamento associado ao tráfego



Fonte: ARAÚJO, 2013

Afundamento: Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico (Figura 4) ou de consolidação.

Figura 4 - Afundamento associado ao tráfego



Fonte: ARAÚJO, 2013

Ondulação ou Corrugação: Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento (Figura 5).

Figura 5 - Ondulação ou corrugação



Fonte: DNIT 005/2003

Escorregamento: Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua (Figura 6).

Figura 6 - Escorregamento do revestimento



Fonte: DNIT 005/2003

Exsudação: Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento (Figura 7).

Figura 7 - Exsudação



Fonte: DNIT 005/2003

Desgaste: Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (Figura 8).

Figura 8 - Desgaste do pavimento



Fonte: DNIT 005/2003

Panela ou buraco: Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (Figura 9).

Figura 9 - Panela ou buraco associado ao tráfego



Fonte: ARAÚJO, 2013

Remendo: Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.

Métodos de reciclagem (Quadro 1).

Quadro 1 - Guia para a seleção de métodos de reciclagem

Condição do Pavimento	Reciclagem a Quente em usina	Reciclagem a <u>Quente In situ</u>	Reciclagem a <u>frio In situ</u>
Defeitos de superfície			
Desagregação	X	X	
Exsudação	X	X	
Empolamento	X	X	
Deformação			
Corrugações	X	X	
Afundamentos de trilha de roda	X	X	
Depressões	X		X
Trincamento (associado a carga)			
Couro de Jacaré	X		X
Longitudinal (na trilha de roda)	X	X	X
Trinca de borda	X		X
Trincamento parabólico	X	X	
Trincamento (não associado a carga)			
Blocos (retração)	X		X
Longitudinal (juntas)	X	X	
Transversal (térmica)	X		X
Reflexão de trincas	X		X
Remendos de manutenção	X		X
Qualidade de rolamento			
Desnível generalizado	X	X	
Adensamentos	X	X	
Afundamentos Localizados	X	X	

Fonte: Adaptado de FHWA, 1998.

2.3 Reciclagem de Pavimentos Asfálticos

Segundo BERNUTTI et. al. (2006), a reciclagem de pavimentos se baseia na reutilização de materiais fresados combinados com agentes rejuvenescedores e ou ligantes asfálticos novos, ou ainda com incorporação de agregado para correção granulométrica, de espuma de asfalto ou de emulsões asfálticas e até de cimento Portland.

A reciclagem de pavimentos é feita através da reutilização parcial ou total dos materiais de revestimento e/ou da base e/ou da sub-base. Após a desagregação, os materiais são misturados novamente ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica. (MOMM; DOMINGUES, 1995 apud COSTA; PINTO, 2011).

COSTA E PINTO (2011) relataram que inicialmente, a retirada do material da pista era realizada através de equipamentos manuais com dispositivos de lâminas e escarificadores, (Figura 10).

Figura 10 - Trator pesado equipado com escarificador - Komatsu Ripper



Fonte: komatsu

Atualmente, a retirada do material da pista é realizada através de máquinas fresadoras. Porém o princípio é basicamente o mesmo: Fragmentação, trituração e retirada da camada antiga do pavimento, para então reutilizá-la combinada a outros componentes.

2.4 Um Breve Histórico

A técnica de reciclagem de pavimentos teve início em 1915, nos Estados Unidos. Até a década de 30, uma quantidade considerável de pavimentos foi reciclada. Logo após esse período, houve um grande aumento da oferta de asfalto no mercado, então a construção de um novo revestimento estava custando mais barato do que reciclar, com isso houve uma redução significativa da técnica de reciclagem. (KANDHAL; MALLICK, 1997 apud CASTRO, 2003).

Foi no final dos anos 80 que o termo Reciclagem destacou-se. A preocupação com o meio ambiente surgiu ao constatarem que as fontes de petróleo e outras matérias-primas que não se renovam, estavam se tornando escassas rapidamente e outros métodos deveriam ser utilizados.

Segundo CASTRO (2003), a primeira experiência de reciclagem empregada no Brasil, foi em 1960, pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Os revestimentos betuminosos das ruas eram removidos através de martelete e então eram levados para a usina, para serem misturados novamente. Este processo de reciclagem perdurou até meados de 2014.

De acordo com o histórico de reciclagem das rodovias no Brasil, a primeira rodovia a ser reciclada foi a Anhanguera, no trecho entre São Paulo e Campinas, no ano de 1985. (CAMPOS, 1987; MELLO; CAMERATO, 1995).

2.5 Material Fresado de Pavimentação

2.5.1 Definição

Existem dois tipos de processos específicos e equipamentos para a fresagem: o processo a frio, que efetua o desbaste por meio simples abrasivo, e processo a quente, que utiliza o pré-aquecimento da estrutura para facilitar o desbaste da mesma. (BARROS, 2013).

O DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, em seu Glossário de Termos Técnicos Rodoviários, define fresagem de pavimentos sendo o “desbastamento a quente ou frio de superfície asfáltica, como parte de um processo de reciclagem de pavimento asfáltico”.

2.5.2 Classificação dos tipos de fresagem

Segundo BONFIM (2007), pode-se classificar a fresagem de pavimentos quanto à espessura de corte (superficial, rasa e profunda) e quanto à rugosidade resultante da pista (Padrão, fina e microfresagem).

Quanto à espessura de corte

•Fresagem superficial

Esse tipo de fresagem é destinado apenas à correção dos defeitos existentes na superfície do pavimento. Dispensa o posterior recapeamento da pista, pois permite níveis mínimos de conforto e segurança. Esta técnica pode ser utilizada para reparar defeitos como a exudação e as deformações plásticas.

O DNER, em seu curso de reciclagem de pavimentos, diz que a maioria das aplicações de fresagem melhora a superfície da rodovia, o que favorece ao usuários a resistência à derrapagem.

•Fresagem rasa

A fresagem rasa normalmente é executada nas camadas superiores do pavimento, em alguns casos, pode chegar à camada de ligação. Esse processo tem em média 5 centímetros de corte. É utilizado na correção de defeitos funcionais e em remendos superficiais. Esse tipo de intervenção em pavimentos rodoviários vem estão sendo bastante utilizados. A fresagem rasa garante uma qualidade melhor no rolamento para os usuários das vias, além de ser uma forma positiva economicamente, e trazer benefícios socioambientais.

•Fresagem profunda

Este tipo de fresagem atinge níveis consideráveis, podendo ir além da camada do revestimento, ou seja, pode atingir as camadas de ligação, de base e até sub-base do pavimento. A técnica é utilizada, normalmente, em pavimentos que necessitam de reparos estruturais. Mas também pode ser empregada em serviço de pequeno porte como o requadramento de buracos.

Quanto à rugosidade resultante na pista

•Fresagem padrão

Inicialmente classificada como fresagem standard, sua fresagem é resultante do cilindro originalmente oferecido nos equipamentos. A distância lateral entre os dentes de corte do cilindro fresador é de 15 mm aproximadamente. Sua utilização ocorre especificamente em projetos que visam à aplicação de uma nova camada de

revestimento, posteriormente.

•Fresagem fina

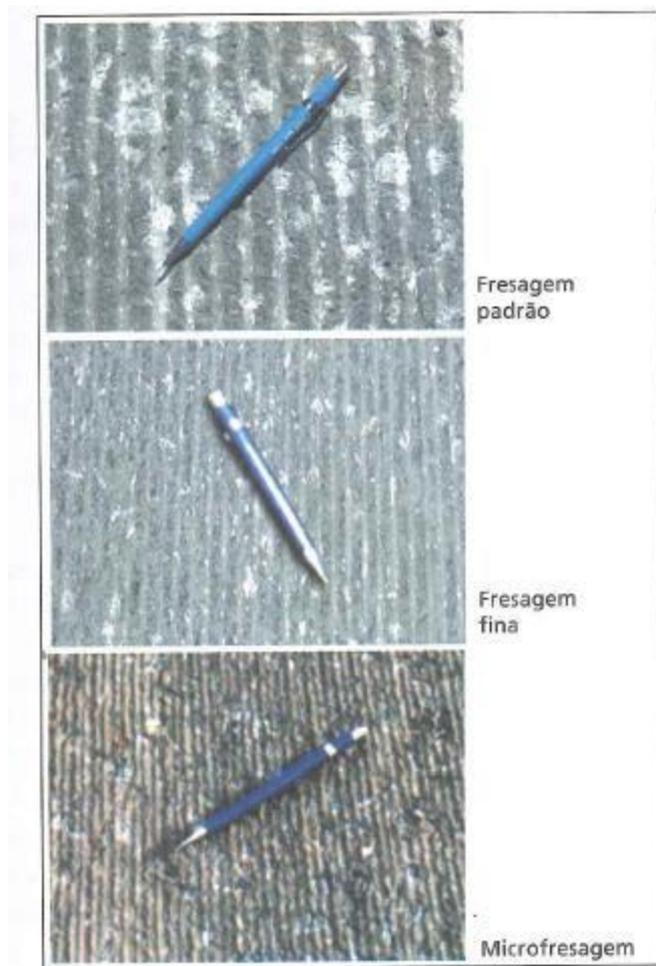
Seus cilindros frisadores possuem distância lateral entre os dentes de 8 mm, resultando em sulcos menores e menor rugosidade na pista. Sua eficácia está na utilização de regularização das vias, por trazer melhores condições de trafegabilidade aos usuários. Ressaltando que, em alguns casos pode ser suspenso o recapeamento da pista.

•Microfresagem

Sua aplicação gera uma remoção sutil da camada do revestimento, a técnica pode ser utilizada na retirada de faixas de sinalização horizontal das pistas. A microfresagem tem um cilindro com os dentes de corte, posicionados lateralmente a uma distância aproximada de 2 a 3 mm. A aplicação da microfresagem dispensa totalmente uma camada de revestimento posterior, quando empregado na adequação do perfil longitudinal da via.

Comparação entre os tipos de fresagem quando à rugosidade resultante na pista (figura 11).

Figura 11 - Comparação entre os tipos de fresagem quando à rugosidade resultante na pista



Fonte: BONFIM (2007)

2.6 Tipos de Reciclagem

Atualmente existem diversas técnicas de reciclagem de pavimentos. De uma forma geral podem ser classificadas como a frio ou a quente, com processamento em usina ou in situ.

Existem algumas etapas que devem ser seguidas na reciclagem de pavimentos:

A primeira etapa consiste em fresar o pavimento, na profundidade específica do projeto. O corte do pavimento é proporcionado pela fresagem, que pode ser realizada a frio ou a quente, e resulta em partículas com dimensões conforme a profundidade do

corde, qualidade do material sentido da rotação do cilindro, velocidade da máquina, teor de asfalto, condições do revestimento e condições ambientais. (BONFIM, 2000; DNER, (1998)).

Logo depois, o material fresado pode ser levado para ser reciclado em uma usina ou a reciclagem pode ser feita no próprio local. Estas técnicas são denominadas, respectivamente, de reciclagem em usina e reciclagem in situ.

2.6.1 Reciclagem a quente

A reciclagem a quente é um processo em que uma parte ou todo o revestimento asfáltico é removido e reduzido a dimensões apropriadas. Então é feita uma mistura a quente desse material removido com agregado virgem, asfalto ou agente rejuvenescedor, ou agente de reciclagem. Esta técnica pode ser realizada em usina ou in situ (KANDHAL; MALLICK, 1997).

2.6.1.1 Reciclagem a quente em usina

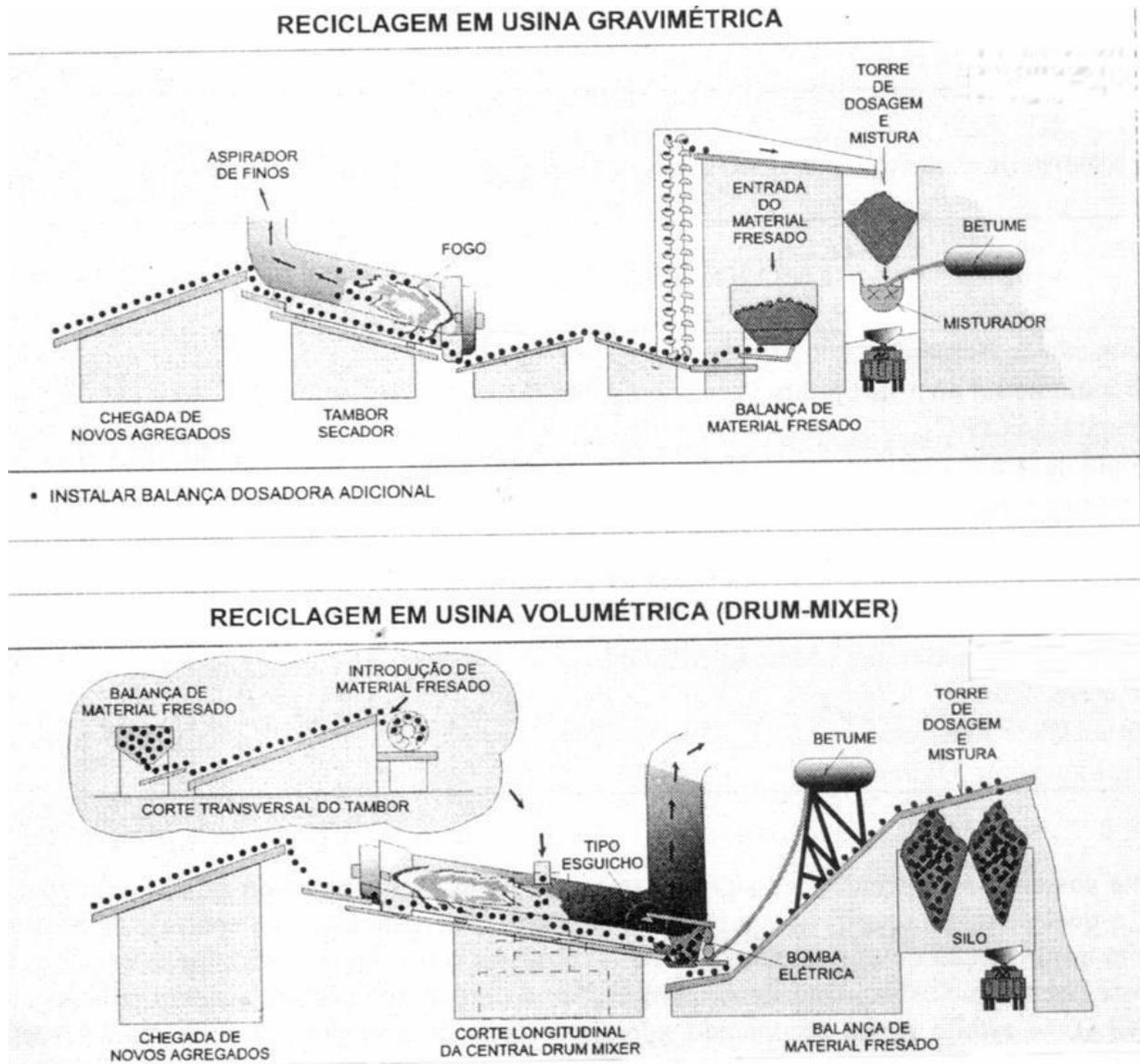
Neste processo é realizada a fresagem à frio das camadas betuminosas existentes (CBUQ, PMF). Então o material é transportado até a usina para ser reciclado. Após a mistura realizada na usina o material reciclado é levado novamente até a pista para ser espalhado e compactado utilizando os procedimentos convencionais. (GONTIJO, 2000) A mistura pode ser realizada em usinas gravimétricas ou volumétricas “Drum Mixer”. Segundo RAMOS et al. (1996) a reciclagem a quente em usinas gravimétricas permite a utilização de até 50% de material fresado na composição da massa reciclada. Caso o tambor secador seja utilizado, pode-se conseguir aumentar esta proporção para 80%.

De acordo com KANDHAL E MALLICK (1997) em usina volumétrica “Drum Mixer”, cerca de 30 a 50% do material fresado é utilizado, em alguns caso o percentual chega a 70%.

“A reciclagem a quente em usina normalmente permite a correção de misturas deficientes e é vantajosa porque permite a reutilização de material que seria descartado e causaria prejuízo ambiental”. (CASTRO, 2003).

Técnicas de reciclagem a quente em Usinas conforme figura 12.

Figura 12 - Técnicas de reciclagem a quente em Usinas



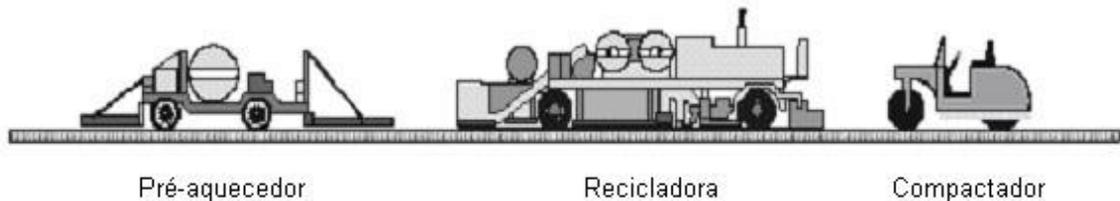
Fonte: GONTIJO, 2000

2.6.1.2 Reciclagem a quente “in situ”

O processo da reciclagem a quente “in situ” consiste na execução da fresagem do revestimento asfáltico, que é misturada a quente no próprio local com ligante novo e/ou agente rejuvenescedor e/ou agente de reciclagem, agregado e/ou mistura asfáltica. Depois a mistura reciclada é distribuída e compactada de forma convencional. (DAVID, 2006). De acordo como KANDHAL E MALLICK (1997), a espessura desse tipo de reciclagem é de 20 a 50 mm.

O equipamento utilizado nesse método de reciclagem é complexo. É constituído de duas unidades, sendo uma pré-aquecedora e uma pequena usina para reciclagem “in situ”. Placas emissoras de raios infravermelhos provocam o pré-aquecimento do revestimento até uma temperatura de 130°C. (CASTRO, 2003). Conforme figura 13.

Figura 13 - Esquema de operação da reciclagem a quente in situ com fresagem a quente



Fonte: PINTO, 2002

2.6.2 Reciclagem a Frio

Segundo MOMM E DOMINGUES (1995) a técnica de reciclagem a frio é assim designada pelo fato de não haver necessidade da utilização de energia para aquecer os materiais durante o seu reprocessamento. Nesse caso, o material fresado pode ser combinado com materiais betuminosos (emulsão asfáltica), agregados, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos. Depois reveste a mistura reciclada com um tratamento superficial ou mistura asfáltica nova a quente, só então poderá ser submetida à ação do tráfego.

2.6.2.1 Reciclagem a frio em usina

A reciclagem a frio em usina ocorre quando o material retirado pela fresagem é transportado para uma unidade móvel de mistura a frio localizado nas proximidades do local de trabalho. Consiste na mistura do material removido com ligante novo e/ou agente de reciclagem gerando o material que será utilizado como base. Se houver necessidade serão empregados novos agregados virgens. (DAVID, 2006)

Dois métodos de reciclagem in situ já foram utilizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, a saber, (DNER apud COSTA; PINTO, 2011):

(FIGURA 14) detalhes de reciclagem a frio em usina.

“a) Método Marine – Com o emprego da recicladora Marine A.R.T. 220 de fabricação italiana, onde a fresagem é realizada a frio”. O equipamento processa a mistura do material a quente e o posterior espalhamento. O DNER elaborou a especificação ES-188/87, que contempla este tipo de procedimento.
b) Método Wirtgen – Com a utilização do remixer da Wirtgen, onde a fresagem é realizada após o aquecimento da superfície do revestimento. Para este procedimento o DNER elaborou a especificação ES-187/87”.

Figura 14 - Reciclagem a frio em usina



Fonte: WIRTGEN, 2004

2.6.2.2 Reciclagem a frio “in situ”

Na reciclagem a frio, a mistura dos materiais é feita sem aplicação de aquecimento e a reutilização é feita no próprio local. Atualmente a operação é realizada através de recicladoras, essas são máquinas capazes de reciclar uma camada espessa do pavimento em uma única passada. (DAVID, 2006)

Segundo USACE (1995) a técnica de reciclagem a frio in situ pode ser desenvolvida de maneira parcial ou total. Onde na reciclagem total, o revestimento asfáltico é reciclado juntamente com a camada granular, enquanto na reciclagem total somente o revestimento é reciclado.

2.6.2.2.1 Reciclagem dos revestimentos asfálticos (reciclagem parcial)

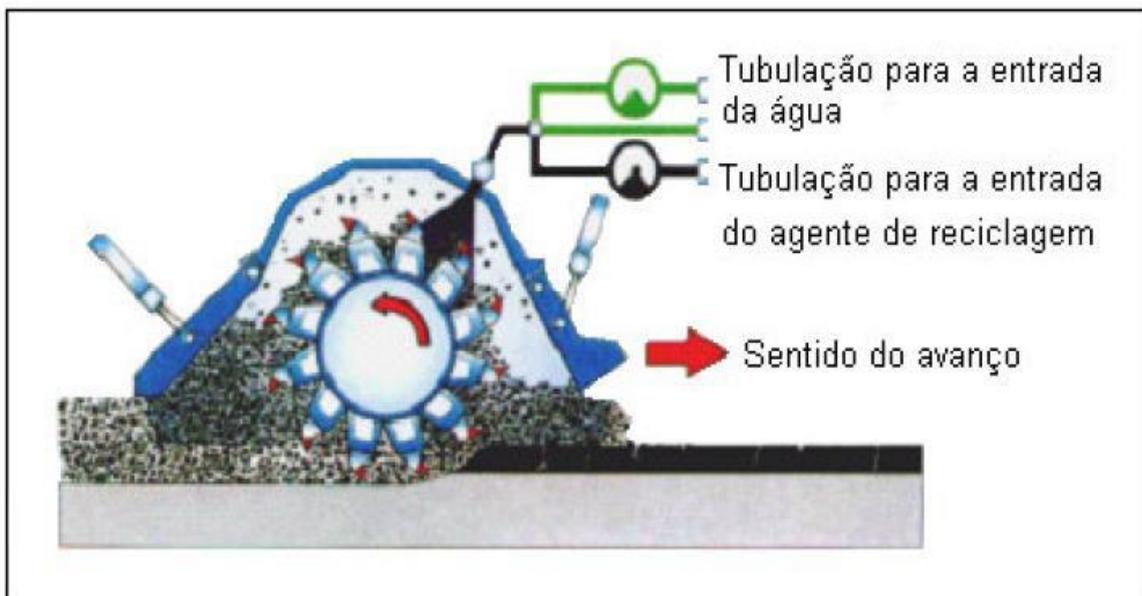
Esse processo é realizado em pavimentos deteriorados, com defeitos apenas no revestimento asfáltico. A técnica se destina a eliminação de problemas superficiais como trincamento (por fadiga), irregularidade superficial, desgaste e baixa resistência à derrapagem. É realizada a fresagem da camada asfáltica sem afetar a base.

O material pode ser misturado com um agente de reciclagem que pode ser espuma de asfalto, emulsão asfáltica ou agente de reciclagem, se necessário, que complementa a quantidade de ligante da mistura. Se houver necessidade pode ser adicionado agregado virgem à mistura, que é espalhado na pista previamente. Logo após é realizado o espalhamento e a compactação dos materiais.

Geralmente, a reciclagem da camada asfáltica é executada na profundidade de 75 a 100 mm, para produzir uma camada de base em rodovias de tráfego médio e baixo (HALL et. al., 2001; KANDHAL; MALLICK, 1997).

Reciclagem a frio in situ revestimento asfáltico (Figura 15).

Figura 15 - Reciclagem a frio in situ revestimento asfáltico

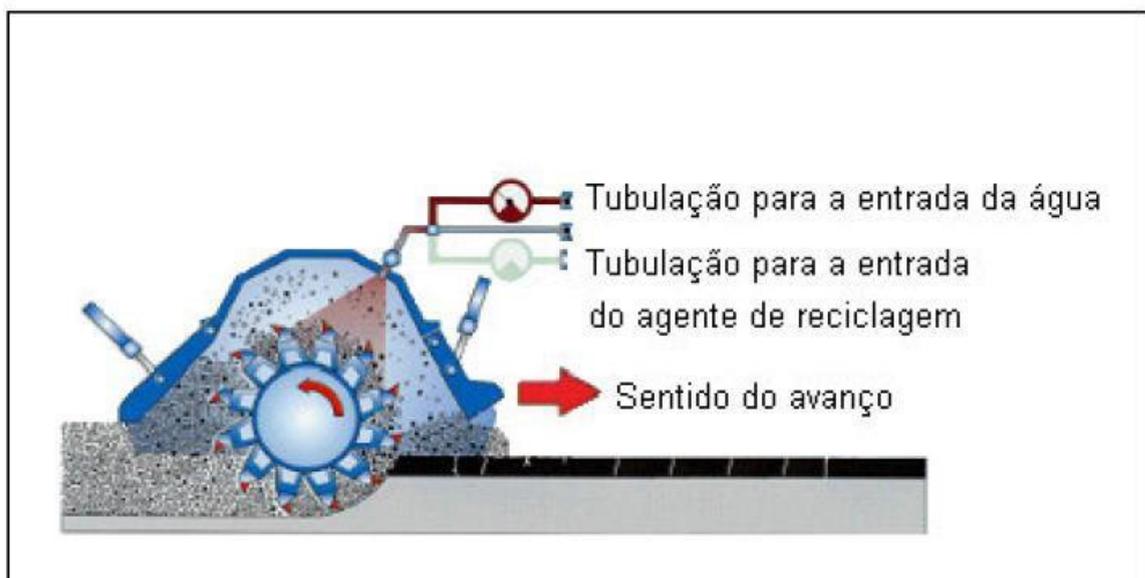


Fonte: WIRTGEN, 2004

2.6.2.2.2 Reciclagem dos revestimentos asfálticos e camadas granulares (reciclagem total)

Este tipo de reciclagem é aplicado para estabilizar a base. O processo é utilizado em rodovias que apresentam problemas no revestimento asfáltico e na base granular ou parte desta, ou seja, a reciclagem atinge maior profundidade. Podem ser utilizados diferentes tipos de agentes de reciclagem como: emulsão asfáltica, espuma de asfalto, cal hidratada ou cimento Portland. Se necessário, pode-se adicionar novos agregados à mistura. Segundo KANDHAL E MALLICK (1997), o método pode ser executado na profundidade de 100 a 300 mm, (FIGURA 16).

Figura 16 - Reciclagem a frio in situ do revestimento asfáltico e camada granular



Fonte: WIRTGEN, 2004

2.7 Vantagens e desvantagens da reciclagem

2.7.1 Vantagens

Existem inúmeras vantagens na utilização da reciclagem de pavimentos, se comparadas às técnicas de construção de pavimento. LIMA (2003) apresenta alguns pontos positivos como: a economia de energia, a manutenção do perfil geométrico existente e ainda a correção dos defeitos superficiais no revestimento. Levando ainda

em consideração, o fato de haver uma redução do tempo necessário para executar obras de restauração das vias. Um fator de extrema importância por se tratarem de intervenções em vias urbanas. Outro benefício é a possibilidade de reabilitar somente uma via da estrada.

O DNIT (2006) também apresenta a reciclagem de pavimentos como uma solução para muitos problemas. Podemos citar as seguintes vantagens:

- Conservação de agregados, de ligantes e de energia, ou seja, a reutilização dos agregados do pavimento degradado propicia uma redução na demanda de novos materiais e das respectivas distâncias de transporte, prolongando o tempo de exploração das ocorrências existentes, além disso, o ligante remanescente pode ter suas propriedades restabelecidas pela adição de asfalto novo ou agente rejuvenescedor. O consumo de energia também pode ser favorecido através de sua redução durante a usinagem da mistura.
- Preservação do meio ambiente, ou seja, evitar a exploração excessiva de jazidas minerais (caixas de empréstimos), evitando assim o acúmulo e/ou geração do passivo ambiental.
- Conservação das condições geométricas existentes, ou seja, a adoção das técnicas de reciclagem permite que as condições geométricas da pista sejam mantidas ou modificadas facilmente, evitando-se problemas, como por exemplo, as alturas em túneis (gabarito vertical) e o acréscimo de carga permanente em pontes e viadutos.

2.7.2 Desvantagens

A reciclagem de pavimentos também possui algumas desvantagens como a necessidade de mão de obra especializada, ainda a dificuldade de acesso das máquinas às obras distantes dos grandes centros urbanos, além disso, faz-se necessária uma análise econômica para realizar os serviços em regiões diferentes, devido às particularidades de cada local. (COSTA; PINTO, 2011)

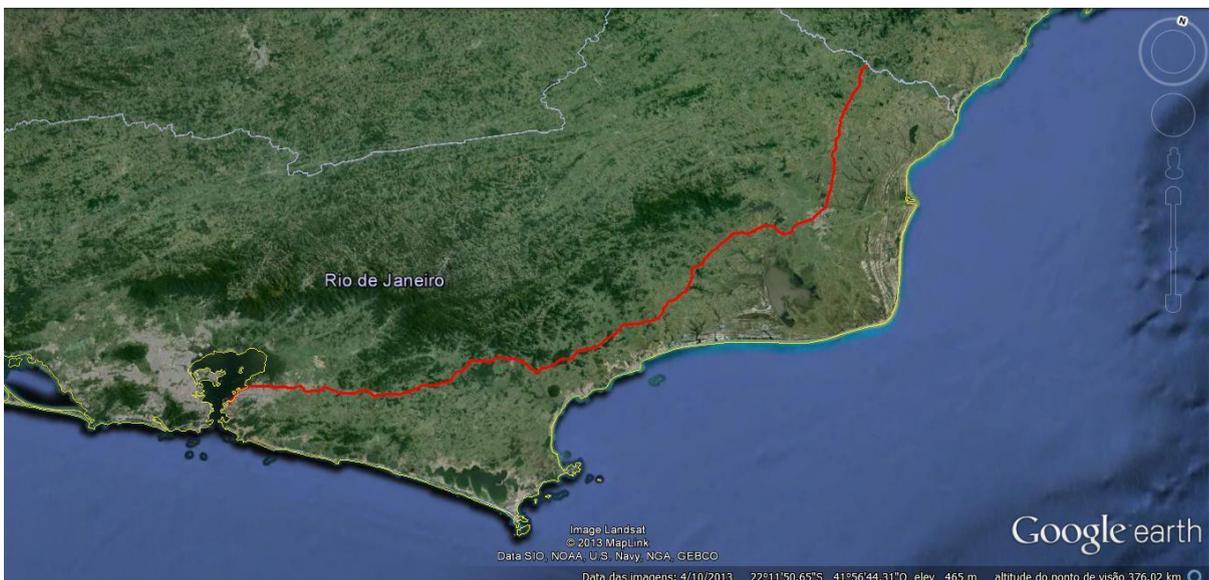
3.0 CASO EM ESTUDO

O capítulo destina-se a apresentação da obra em estudo através das observações e levantamentos realizados em campo. São apresentados os processos de restauração, recuperação e reconstrução dos pavimentos asfálticos através da reciclagem do material fresado.

3.1 Informações sobre o trecho restaurado

Nesse estudo de caso serão relatadas as obras, os procedimentos e técnicas de reciclagens utilizadas por uma das concessionárias do grupo ARTERIS, a Autopista Fluminense, administradora da Rodovia Mário Covas – BR-101/RJ, no trecho entre a Divisa do Espírito Santo com o Rio de Janeiro até a Ponte Presidente Costa e Silva, mais conhecida como Ponte Rio/Niterói. Foto imagem trecho administrado pela empresa Autopista Fluminense conforme mostra figura 17.

Figura 17 - Localização do trecho de concessão da Autopista Fluminense



Fonte: Google Earth

O trecho da Rodovia BR-101/RJ, administrado pela Autopista Fluminense tem 320,100 km, sendo 261,2 em pista simples e 58,9 em pista dupla. Ela liga os seguintes municípios: Campos dos Goytacazes, Conceição de Macabu, Quissamã, Carapebus,

Macaé, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Silva Jardim, Rio Bonito, Tanguá, Itaboraí, São Gonçalo e Niterói.

A Rodovia BR-101 possui um papel importante na rede rodoviária brasileira, pois através dela é feita a ligação entre as regiões Sudeste e Sul do País. Em relação ao contexto econômico, é uma das rodovias mais importantes do estado do Rio de Janeiro, pois conecta a região norte da costa litorânea e suas bacias petrolíferas. Atualmente é responsável pela ligação entre o Arco Metropolitano, Porto do Açu e COMPERJ. Não podendo esquecer que é uma rota essencial para o turismo do Rio de Janeiro, pois permite o acesso a uma região de importantes pólos turísticos, como Búzios e Cabo Frio. (FIGURA 18) Ligação da Rodovia BR 101/RJ com grandes obras econômicas.

Figura 18 - Ligação da Rodovia BR-101/RJ com as grandes obras econômicas



Fonte: Google Earth

Desta forma, torna-se claro o motivo da grande preocupação, tanto da Concessionária Autopista Fluminense, quanto da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) com as condições da trafegabilidade nesta Rodovia, principalmente no quesito pavimentação.

O Programa de Exploração da Rodovia (PER) da BR-101/RJ elenca diversas atividades que a Autopista Fluminense deverá cumprir ao longo dos seus 25 anos de concessão. As que estão vinculadas ao pavimento são: recuperação, manutenção e aplicação de capacidade.

3.2 Obras de Pavimentação

3.2.1 Reciclagem na restauração de pavimentos

A restauração baseia-se no recapeamento do pavimento, onde o material da capa é retirado através da microfresagem ou fresagem, dependendo do seu estado de degradação. De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos (DNIT, 2006), a restauração do pavimento consiste em sobrepor ao pavimento, uma ou mais camadas de material betuminoso e/ou cimento Portland. Dessa forma o pavimento ganha um novo aporte estrutural, dando continuidade ao ciclo de vida.

Quando é realizada a microfresagem, não há reaproveitamento do resíduo produzido, então é feita a aplicação de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) diretamente ao pavimento.

Neste caso foi utilizada a fresagem onde uma camada mais espessa do capeamento foi removida. Esta técnica é realizada quando a fissuração ou desgaste do material ocorre em maior proporção, atingindo um nível mais profundo, porém não indica vestígio de danificação na base (FIGURA 19).

Figura 19 - Fissuras em pavimento asfáltico



Fonte: Autopista Fluminense

Ao realizar a fresagem de um material, deve-se considerar um aspecto importante, como a inspeção da espessura da fresagem, pois esta não pode chegar ao limite com a camada da base, para não haver poluição do material, levando em consideração que são utilizados materiais distintos em cada camada de pavimentação (FIGURA 20).

Figura 20 - Fresagem do capeamento



Fonte: Autopista Fluminense

Na BR 101 (Fluminense) a camada de capeamento fica em torno de 10 cm, o material é retirado até 8 cm, e então, é isolado e levado para a usina, enquanto os outros 2 cm são desprezados. Quando este chega na usina, é peneirado para que sejam utilizados os limites de granulometria especificados no projeto. Com isso há uma perda de aproximadamente 25% de material que não consegue ser reaproveitado.

Despejo de material fresado na Usina de reciclagem (Figura 21).

Figura 21 - Despejo de material fresado na Usina para reciclagem



Fonte: Autopista Fluminense

O material reciclado é levado novamente ao local e então é lançado e compactado com a intenção de criar um capeamento primário.

Lançamento e compactação da primeira camada do capeamento com material reciclado (Figura 22).

Figura 22 - Lançamento e compactação da primeira camada do capeamento com material reciclado



Fonte: Autopista Fluminense

Em cima do material reciclado compactado, é lançada uma segunda camada de pavimento não reciclado composto por CBUQ (Cimento Betuminoso Usinado a Quente).

Lançamento da segunda camada de pavimento (Figura 23).

Figura 23 - Lançamento da segunda camada de pavimento - CBUQ (não reciclado)



Fonte: Autopista Fluminense

Podemos claramente distinguir uma das grandes características que diferenciam as estradas concessionadas com as administradas pelo Departamento Nacional de Infraestruturas Terrestres (DNIT). Muitas rodovias federais não são submetidas com frequência aos processos de manutenção. Algumas passam anos, sem que seja efetuada uma simples manutenção do seu capeamento. A manutenção correta e com maior frequência impede infiltrações e ações de impactos diretamente na camada de base, desta forma pode-se minimizar muito os custos gastos com obras rodoviárias.

3.2.2 Reciclagem na recuperação de pavimentos

A recuperação do pavimento é realizada quando o mesmo apresenta anomalias irreversíveis, ou seja, o pavimento chegou a uma proporção onde só a restauração da capa não é o suficiente para garantir a qualidade do mesmo. É necessária a recuperação da base. Desta forma é feita uma mistura das técnicas de reciclagem.

Primeiramente, são realizados os mesmos métodos utilizados no processo de restauração, com o material da capa. Logo após a fresagem do capeamento, é realizada também, a fresagem da base. Todo o processo de recuperação da base é feito no local da obra, desta forma não há necessidade em deslocar o material fresado para a Usina, o que reduz bastante os custos, (FIGURA 24).

Figura 24 - Fresagem do capeamento



Fonte: Autopista Fluminense

O material fresado é peneirado e reciclado em estações móveis utilizando as técnicas de aproveitamento e a produção de misturas asfálticas a frio, constituídas de material fresado, adição de emulsão asfáltica e cimento na tentativa de melhorar as propriedades mecânicas da mistura em curto prazo, mantendo sua flexibilidade em longo prazo e reduzindo o consumo de energia na restauração de pavimentos.

Maquina de reciclagem in situ do material de base (Figura 25).

Figura 25 - Maquina de reciclagem in situ do material de base



Fonte: Autopista Fluminense

A única desvantagem deste processo está no fato da utilização do cimento na composição, uma vez que se faz necessária à espera de três dias para a cura. Só depois então, o material de capa reciclado na usina é lançado.

A recuperação do pavimento é realizada da seguinte forma:

- O material reciclado da capa é aplicado numa espessura de 8 cm
- Depois aplica-se o ligante e a pintura de ligação
- Por fim é aplicada uma camada de CBUQ em espessura de 5 cm.
Totalizando 13 cm de capa, após a compactação há uma perda de espessura chegando em 10 cm.

Lançamento do material reciclado de base (Figura 26).

Figura 26 - Lançamento do material reciclado de base



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 27 - Compactação de base



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 28 - Lançamento do material reciclado em central fixa da primeira fase do capeamento



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 29 - Pintura de ligação - aplicação do ligante para receber a segunda camada de capeamento



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 30 - Lançamento do material final, não reciclado do capeamento - CBUQ



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 31 - Finalização e compactação final do pavimento



Fonte: Autopista Fluminense

3.2.3 Reciclagem na reconstrução do pavimento

A obra do contorno de Manilha foi realizada como o objetivo de atender o tráfego da comunidade local e também o tráfego pesado de caminhões cujo principal destino é o COMPERJ (Pólo Petroquímico da Petrobras). Por conta do aumento do tráfego de veículos pesados com destinação ao COMPERJ e ao Arco Metropolitano, surgiram diversos problemas na trafegabilidade da rodovia que já apresentava um tráfego lento, devido aos gargalos provocados pelo entroncamento da RJ-104 e BR-493/RJ.

Como solução para a melhoria da trafegabilidade, foi prevista a construção de um contorno, onde os caminhões seriam deslocados para a rua lateral existente, mudando a finalidade da pista existente, que havia sido projetada pelo DNER, para atender um perímetro urbano que se estabeleceu as margens da rodovia. Desta forma se fez necessária a reconstrução do pavimento.

Nesse processo se faz necessária a troca do solo, ou seja, é realizada uma recuperação mais profunda, atingindo o subleito. O subleito foi trocado por rachão que precisou ser compactado com bastante cuidado, por ser um material com granulometria alta, onde existe um número elevado de vazios entre as partículas (FIGURA 32).

Figura 32 - Remoção do material de base e subleito



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 33 - Reforço da capa do subleito com rachão



Fonte: Autopista Fluminense

Na reconstrução da base, foi utilizado o material reciclado, porém utilizando um método diferente do que foi realizado na recuperação do pavimento. Houve a necessidade de trocar o material do subleito, por isso não foi possível utilizar o processo in situ. Outra diferença no processo, foi que não ocorreu fresagem na base, esta foi removida em blocos que foram levados até a usina fixa, para então, ser feito o processo de seleção, trituração, mistura de material, sendo utilizado como ligante dessa camada, o cimento. Na etapa da reconstrução do capeamento, foram adotados os mesmos métodos da restauração do pavimento com fresagem.

Os processos de reciclagem utilizados na reconstrução do pavimento são o de reciclagem a frio na base e o de reciclagem a quente na capa, mas ambos em usinas fixas.

Figura 34 - Finalização da base com material reciclado com adição de cimento (processo de cura)



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 35 - Aplicação da primeira camada do capeamento, com material reciclado a quente



Fonte: Autopista Fluminense

Figura 36 - Aplicação da segunda camada do capeamento com CBUQ



Fonte: Autopista Fluminense

4.0 CONCLUSÃO

As patologias do pavimento asfáltico afetam a trafegabilidade nas rodovias, além de gerar insegurança aos seus usuários. A degradação dos pavimentos, decorrente destas patologias, está relacionada a falta de manutenção, processo que deveria ser realizado frequentemente. O grande problema é que os materiais “virgens” utilizados nos processos de manutenção das rodovias estão se tornando escassos, fato que torna o custo mais elevado, além de causar grande impacto ambiental.

Através dessa perspectiva, buscas por soluções que possam reduzir os custos das obras e o impacto causado pela retirada de matéria-prima da natureza são de grande importância e para isso conta-se com diversas técnicas que permitem o reaproveitamento do material do pavimento retirando-o das áreas afetadas pela patologias através da fresagem, onde é feito um desbastamento da superfície do pavimento de acordo com o projeto. Ao material fresado, pode-se adicionar ligantes, água, novos agregados ou aditivos, dando origem a novas camadas. Essas misturas podem ser realizadas utilizando energia para aquecê-las (Reciclagem a quente, ou pode não haver a necessidade de aquecer (Reciclagem a frio). Em relação ao local da reciclagem, o material fresado pode ser levado para a usina e ser reciclado (Reciclagem em usina), ou então, ser reciclado no próprio local (Reciclagem in situ).

A reciclagem é uma prática que se faz necessária atualmente, em diversas áreas de produção, devido ao grande crescimento populacional e ao desenvolvimento do país. A técnica de reciclar pavimentos é recente, inovadora e de alta tecnologia criada com o intuito de adequar as obras rodoviárias ao conceito de sustentabilidade

O reaproveitamento do material fresado de pavimentação pode gerar diversos benefícios como: a manutenção do perfil geométrico existente e ainda a correção dos defeitos superficiais no revestimento. Levando ainda em consideração, o fato de haver uma redução do tempo necessário para executar obras de restauração das vias. Além disso, permite a conservação de agregados, de ligantes e de energia, com consequente preservação do meio ambiente

. Um grande problema é a necessidade de mão de obra especializada. Para modificar esse cenário é necessário que os novos engenheiros, arquitetos e projetistas se atualizem juntamente com a geração existente. Ainda existem também, as dificuldades de acesso das máquinas às obras distantes dos grandes centros urbanos,

além disso faz-se necessária uma análise econômica para realizar os serviços em regiões diferentes, devido as particularidades de cada local.

Todas as medidas de reciclagem do pavimento são de extrema importância para a economia de energia, a manutenção do perfil geométrico existente e ainda a correção dos defeitos superficiais no revestimento.

As vantagens do processo de reaproveitamento do material fresado de pavimentação se sobrepõem às suas desvantagens. Torna-se evidente, portanto, que é necessário que grandes empresas do ramo rodoviário adotem a técnica, pois reciclar pavimentos de rodovias consiste em um ciclo que se auto alimenta, otimizando tempo, recursos e minimizando os impactos ao meio ambiente.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7207 - Terminologia e **classificação de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

ARAÚJO, ANDRÉ L.C. - **Pavimentação – Reciclagem a frio “in situ” com espuma asfalto**. Trabalho de conclusão de curso- Engenharia Civil. UNISUAM. 2013

BERNUTTI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica dos Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2006.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. São Paulo: Exceção Editorial, 2007.

BARROS, R.F. **Utilização do revestimento fresado da BR-104 como material de reforço da camada de base e/ou sub-base**. / Rafael Falcão Barros. - Caruaru: O Autor, 2013.

COSTA, C.; PINTO, S. **O uso de reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil**. São Paulo: Revista Engenharia, ed. 602, p. 96-102, 2011.

CASTRO, L. N. de **Reciclagem à Frio "in situ" com Espuma de Asfalto**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.

CAMPOS, O.S. (1987). **Serviços de reciclagem de pavimentos realizados nas rodovias da DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S.A**. In: 22 Reunião Anual de Pavimentação. Anais... Maceió. 1987

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (1994). Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico. DNIT 031/2006 - ES. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DA UFPR. Disponível em <<http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/TextoComplementar.pdf>> Acessado em 05/05/2015

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA- ESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2003). **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi- rígidos.** Terminologia. DNIT 005/2003 – TER

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1998). **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos:** DNER. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994). **Curso RP 9 – Reciclagem de Pavimentos.** Rio de Janeiro, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico / Divisão de Capacitação Tecnológica.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2006). Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico. DNIT 031/2006 - ES. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2006) Manual de Restauração de pavimentos asfálticos - 2. Ed. Rio de Janeiro.

DAVID, D. **Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente emulsionado.** Porto Alegre: Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

FHWA. Crumb Rubber Modifier – **Design Procedures and Construction Practices**. U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication n FHWA-SA-93-011, 1993.

GONTIJO, PAULO ROMEU A. **A Técnica da Reciclagem à Quente Empregando Materiais Oriundos da fresagem de Camadas Asfálticas - Procedimentos Essenciais**. In: Reunião Anual de Pavimentação, 32a, ABPv, Brasília,2000.

HALL, K.T. et al. Rehabilitation strategies for highway pavements. National Cooperative Highway Research Program. Web document 35 (Project C1-38). **Transportation Research Board**, Washington. 2001

KANDHAL, P. S.; MALLICK, R. B. **FHWA Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments**. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation. FHWA-SA-98-042. Washington, 1997.

LIMA, A.T. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes**. Programa de Mestrado em Engenharia de em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MARQUES, G.L.O. **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 204 f. 2006.

MOOM, L.; DOMINGUES F.A.A. **Reciclagem de pavimentos a frio in situ superficial e profunda**. In: 29 Reunião Anual de Pavimentação. Anais... Cuiabá,1995.

MELLO, L.G.; CAMERATO C.R. **Reciclagem asfáltica da via Anhanguera- Relato de uma experiência pioneira**. In: 29 Reunião Anual de Pavimentação. Anais... Cuiabá, 1995.

PINTO, S. PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis.** Rio de Janeiro: Editora Copiarte, 2002.

RAMOS, Celso R.; TIZO LÓ, Vânia L.E.S.T.; Moura Cesar M.et GUAISTI, Márcio D. **Reciclagem em Usina Gravimétrica no Município do Rio de Janeiro.** 13o Encontro do Asfalto. Instituto Brasileiro do Petróleo. Rio de Janeiro, 1996.

USACE. **Cold mix recycling.** United States Army Corps of Engineers, UFGS 02965. Washington, 1995.

WIRTGEN GmbH. Misturas de materiais a frio: preparação e processos. Windhagen, 2004