

O USO DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS, COMO ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM OBRAS RODOVIÁRIAS NO BRASIL

*Clauber Costa, MSc.**
*Wandemyr Filho, MSc.***

RESUMO

A necessidade da implantação de empreendimentos na área de engenharia e a constatação de sua viabilidade, segundo critérios técnicos e econômicos, sempre foram suficientes para a tomada de decisões nessa área. Neste sentido, os danos ambientais decorrentes dessas atividades foram considerados por muitos anos uma consequência natural, compensados pelos benefícios oriundos da oferta de bens e serviços. Contudo, o crescente impacto ambiental dessas atividades levou a sua regulamentação, destacando-se a obrigatoriedade do desenvolvimento de estudos de impacto ambiental (EIA) e o respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), em atendimento à Resolução CONAMA nº 001/86, de 23 de janeiro de 1986. Desta forma, o gerenciamento ambiental em obras rodoviárias federais brasileiras, tomou grande impulso nas últimas décadas. Este trabalho tem como objetivo identificar as vantagens da aplicação de técnicas de reciclagem de pavimentos, como forma de minimizar os impactos ambientais causados por obras de restauração e/ou recuperação de rodovias federais brasileiras.

Palavras-chave: Reciclagem de pavimentos. Desenvolvimento sustentável. Meio ambiente.

USE THE RECYCLING OF PAVEMENTS, AS ALTERNATIVE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ROAD WORKS IN BRAZIL

ABSTRACT

The need for the establishment of ventures in the engineering and realization of its viability, according to technical and economic criteria, were always sufficient for making decisions in this area. In this sense, environmental damage from these activities were considered for many years an outgrowth, offset by the benefits from the availability of goods and services. However, the growing environmental impact of these activities led to its regulation, emphasizing the development of mandatory environmental impact assessment (EIA) and its environmental impact report (EIR) in compliance with CONAMA Resolution No. 001/86 of 23 January 1986. Thus the environmental management in roadworks Brazilian federal,

* PACS Assessoria Ltda.-Rio de Janeiro -RJ (email: clauber.costa@ibest.com.br)

** WS Geotecnia Ltda - Belém - PA

took great momentum in recent decades. This work aims to identify the advantages of applying techniques of pavement recycling, to minimize the environmental impacts caused by the works of restoration and recovery of the Brazilian federal roads.

Keywords: *Pavement recycling. Sustainable development. Environment.*

1 INTRODUÇÃO

A escolha brasileira pelo transporte rodoviário traz embutidas diversas consequências ambientais. Além do grande efeito poluidor dos gases liberados pelos escapamentos dos automóveis, há o impacto da construção das estradas que implica retirada e transferência de enormes quantidades de terra, desmatamento, alterações na forma de escoamento das águas, assoreamento de rios e expansão urbana associada e os impactos advindos da manutenção das vias.

De acordo com o Banco Mundial, existem mais de 15 milhões de quilômetros de estradas pavimentadas e rodovias no mundo inteiro. Cada ano, centenas de milhares de quilômetros das mesmas requerem grandes restaurações. Os governos e as autoridades locais no mundo inteiro gastam anualmente uma quantia estimada em 100 bilhões de dólares americanos no empenho de manter as rodovias funcionais e seguras. Entretanto, devido a orçamentos inadequados para o setor de transporte e ao custo elevado da restauração convencional, o acúmulo global de estradas deterioradas é significativo.

Pavimentos deteriorados têm como características superfícies de baixa qualidade e defeitos, como trincas, panelas e desagregação. A deterioração do pavimento é influenciada, em grande parte, por condições climáticas severas, volume intenso de tráfego e excesso de cargas, assim como pela qualidade da construção e manutenção da estrada. Essa deterioração tende a acelerar-se após vários anos de serviço, mas a recuperação oportuna com recapeamento ou reciclagem pode restaurar a serventia do pavimento e aumentar a vida útil da rodovia.

A camada da superfície dos pavimentos asfálticos é composta de asfalto, um subproduto do petróleo, e agregado mineral, mistura de rocha de qualidade e areia. Em diversas regiões do mundo, estes materiais estão escassos, tornando-os mais caros. Durante décadas, os responsáveis pela pavimentação têm tentado diversos métodos e/ou tecnologias de restauração e conservação rodoviária, a fim de fazer a melhor utilização do agregado e asfalto presentes nos pavimentos asfálticos deteriorados. Um dos métodos mais promissores é a reciclagem de pavimentos, para a qual há uma variedade de equipamentos e processos consagrados. Estudos do Banco Mundial têm demonstrado que a reciclagem de pavimentos asfálticos é particularmente efetiva em termos de custo, quando realizada antes da deterioração extrema do pavimento.

Segundo Miranda e Silva (2000) a reciclagem de pavimentos tem se mostrado um bom caminho não apenas pela rapidez executiva, mas também pelo aspecto da preservação ambiental.

A técnica de reciclagem de revestimentos asfálticos traz vantagens em relação ao meio ambiente, pois faz uso total ou parcial dos materiais do pavimento existente, com seu devido beneficiamento. Também diminui a quantidade de resíduos gerados pelo método tradicional de recuperação rodoviária, que, em geral, consta de adição de nova camada asfáltica ou mesmo pode ter bota-fora da antiga.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 AMALHA RODOVIÁRIA FEDERAL

O transporte rodoviário passou a evidenciar a sua principal importância no processo de integração nacional a partir dos anos 40, em especial após o término da 2ª Guerra Mundial.

Naquela época este modal ultrapassava o ferroviário na movimentação de cargas, e por volta de 1950, passou também a transportar mais “toneladas por quilômetro” de cargas domésticas do que a navegação de cabotagem.

A malha rodoviária brasileira apresentou sua maior expansão nas décadas de 60 e 70 – período em que cerca de 20 % do total dos gastos do setor público, conforme relatório do Banco Mundial, foram destinados à construção e manutenção de estradas no país.

Os valores apresentados na Tabela 1 mostram a expansão da malha rodoviária brasileira ocorrida no período 1960/1980 e o declínio posterior

Tabela 1 – Evolução da Malha Rodoviária Nacional 1960/2000

Ano	Federal		Estatual		Municipal		Total Geral	
	Pavimento	Total**	Pavimento	Total	Pavimento	Total	Pavimento	Total
1960	8.675	32.402	4.026	75.875	-	353.649	12.703	461.926
1970	24.145	51.539	24.422	129.381	2.001	950.794	50.568	1.131.694
1980	38.895	58.175	41.812	147.368	5.906	1.180.373	87.213	1.386.916
1985	46.455	60.865	63.084	163.987	6.186	1.202.069	115.725	1.426.921
1987	48.544	62.238	70.188	176.115	8.971	1.248.033	127.703	1.486.386
1995*	51.400	67.500	81.900	199.100	14.900	1.391.300	148.200	1.658.000
2000*	57.000	71.000	9.500	213.000	21.000	1.450.000	173.000	1.734.000

* valores aproximados

Fonte: DNIT

** Não estão computados as extensões de rodovias planejadas, mas não implantadas.

A seguir, na figura 1, mostram-se, de forma gráfica, os dados da tabela 1 referentes à extensão da malha pavimentada rodoviária nacional (quantidade acumulada).

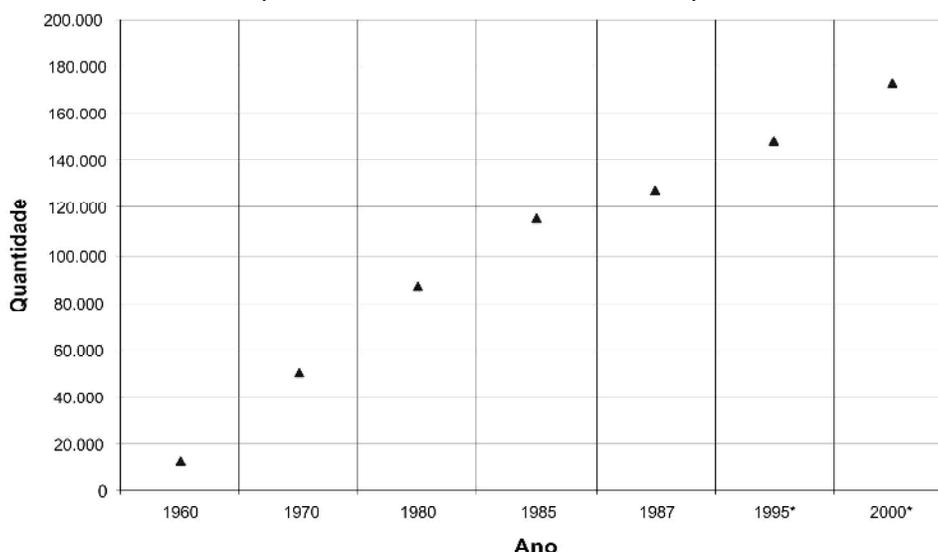


Figura 1 – Evolução da Malha Rodoviária Nacional Pavimentada 1960/2000.

Vale destacar que o modal rodoviário é inserido no processo produtivo com importante função na atividade meio, com relevância no contexto do desenvolvimento global do país, constitui grande indutor do desenvolvimento sócio-econômico e é fator de segurança e de integração político-administrativa.

A falta de investimentos dos órgãos governamentais no setor rodoviário ocorrida nos últimos anos, levou à degradação da rede viária brasileira. As consequências do mau estado de conservação da rede e as perspectivas de agravamento da situação se traduzem em acréscimo do consumo de combustível e no tempo de viagem e elevação do índice de acidentes entre outros impactos negativos.

Assim, com os recursos públicos cada vez mais restritos, existe a necessidade de estudos e pesquisas voltadas às áreas de tecnologia e/ou processos que sejam técnica e economicamente viáveis bem como ecologicamente sustentáveis, de modo a promover um desenvolvimento socioeconômico-ambiental mais adequado.

3 IMPACTOS AMBIENTAIS

Entende-se por Impacto Ambiental qualquer alteração nas propriedades físicas e/ou químicas e/ou biológicas do meio ambiente, provocadas por ações humanas. Estes impactos podem ser classificados segundo uma série de características como as colocadas na tabela 2, a seguir (DNIT, 2005).

Tabela 2 – Características dos impactos ambientais

CARACTERIZAÇÃO DO I.A.	OCORRÊNCIA
Positivo ou Benéfico	Quando a ação resulta na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental
Negativo ou Adverso	Quando a ação resulta em danos a um fator ou parâmetro ambiental.
Direto	Resultante de relação causa efeito (terraplenagem x alteração de relevo e paisagem)
Indireto	Resultante de reação secundária (terraplenagem x alteração de relevo e paisagem x alteração da drenagem natural x surgimento de processos erosivos x surgimento de processo de assoreamento).
Local	Quando a ação afeta apenas o próprio sítio e suas imediações
Regional	Quando um efeito se propaga por área além do sítio de ocorrência
Estratégico	Quando afeta um componente ou recurso ambiental de importância coletiva ou nacional
Imediato	Quando o efeito surge no instante em que se dá a ação (obras de implantação de uma rodovia x geração de empregos na região).
Médio Prazo	Quando o efeito se manifesta depois de certo tempo após a ação
Temporário	Quando o efeito permanece por um tempo determinado.
Permanente	Quando, uma vez executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar, num horizonte temporal conhecido.

Fonte: DNIT, 2005

3.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE EMPREENDIMENTOS RODOVIÁRIOS

Tradicionalmente os programas rodoviários são divididos em 4 (quatro) etapas ou fases, cada qual com características e estudos específicos com potencialidades distintas de impactar o meio ambiente (DNIT, 2005). Essas fases são: viabilidade, planejamento e projeto, construção e operação.

A fase de viabilidade consiste do processo de avaliação de uma rodovia sob o aspecto técnico-econômico, com base em um conjunto de estudos, conceituações e avaliações que permitem caracterizar o volume de tráfego anual e futuro, as alternativas de traçado e a definição técnica das alternativas quanto à capacidade, quantificação do conjunto de obras e à interferência com outros planos e programas, objetivando a avaliação dos benefícios resultantes da implantação comparados com os custos requeridos pela obra.

Segundo Fogliatti (2004), "na fase de planejamento de um sistema de transporte, devem-se incluir estudos de localização do projeto (no caso de projetos rodoviários, estudos de alternativas de traçado), determinado pelo artigo 5º da Resolução 001/86 do CONAMA, respeitando e observando a compatibilidade do projeto com os planos e programas do governo propostos na área de influência, além das análises de pré-viabilidade técnica e econômica do empreendimento".

Segundo Gourdad (2000), na fase de planejamento e projeto, não são observados impactos ambientais significativos nos meios físicos e bióticos decorrentes das atividades apresentadas, porém esta fase pode ocasionar algumas expectativas, gerando impactos no meio antrópico.

Segundo Bella e Bidone (1993) "à medida que se iniciam os trabalhos visando ao projeto de engenharia é muito comum um processo intenso de valorização do preço da terra, tanto nas áreas rurais, como nas áreas urbanas que passarão a ser servidas. Tal valorização tem como consequência as alterações de uso do solo e até mudança do público-alvo,

que pode não resistir às ofertas de compra com valores crescentes, além de ocasionar impedimentos à construção e à operação, e à potencialização de problemas sociais devido a interfaces com áreas de conflito social ou já degradadas ambientalmente”.

Com isso, pode-se destacar como impacto ambiental na fase de planejamento e projeto a grande especulação quanto ao uso do solo, ou seja, a especulação imobiliária.

Durante a fase de implantação (construção) da rodovia, as principais atividades são basicamente: a mobilização, a instalação do canteiro, a implantação da obra e a desmobilização (SÁ, 1996). Assim segundo estudos do Geipot (1995), tem-se como principais impactos observados na fase de implantação de um projeto rodoviário aqueles decorrentes do canteiro de obras, dos desmatamentos e limpeza dos caminhos de serviço, da terraplenagem, empréstimos e bota-fora, da drenagem e da exploração de materiais de construção, como por exemplo, a indução de processos erosivos, os assoreamentos e a evasão da fauna, entre outros.

Após a implantação da rodovia seguem-se as atividades relacionadas à sua operação que são iniciadas após a conclusão das obras de desmobilização de canteiros e usinas, mais precisamente quando for efetivada a liberação do corpo estradal aos diversos usuários, de modo que estes possam utilizá-lo com condições de conforto e segurança.

Assim, a fase de operação engloba atividades de conservação e de restauração. Podem ser destacadas: a conservação de rotina; a de emergência, a especial e o reordenamento do tráfego. Portanto, a conservação da rodovia envolve todas as atividades preventivas e corretivas de controle e de manutenção das rodovias. Podem ser citados como impactos decorrentes desta fase a poluição atmosférica, a poluição das águas, os ruídos e vibrações entre outros. Na Tabela 3 são mostradas as principais fontes de ruído nesta fase. Na tabela 4 são apresentados exemplos de desconfortos causados por exposição a níveis de som em excesso.

Nesta fase também os padrões de qualidade do ar adotados no Brasil tem seus valores limite determinados pela Resolução CONAMA nº 03/90 de 28 de junho de 1990, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 3 – Origem dos ruídos na fase de operação de uma rodovia.

GRUPO DE RUÍDOS	FONTES
Funcionamento dos maquinismos	Funcionamento do motor; entrada de ar e escapamento; sistema de arrefecimento e ventilação etc.
Ruídos de movimento	Pneus em contato com o pavimento; atritos das rodas com os eixos; ruídos da transmissão; ruídos aerodinâmicos etc.
Ruídos ocasionais	Buzinas; frenagens; ruídos da troca de marchas (reduções e acelerações); cargas soltas; fechamento de portas etc.

Fonte: DNIT, 2000

Tabela 4 – Níveis de ruídos e suas consequências.

Nível de ruído	Consequências
Até 50 dB	Leve Perturbação
Maiores que 55 dB	Estresse leve, desconforto
Maiores que 65 dB	Desequilíbrio bioquímico, risco de enfarte e derrame cerebral
Maiores que 80 dB	Liberação de morfina biológica
Maiores que 100 dB	Perda imediata da audição

Fonte: SOUZA, 1992 apud PEREIRA, 2000

Tabela 5 – Padrões primários de qualidade do ar ambiente.

Dióxido de Enxofre SO ₂	80 ug/m ³ 365 ug/m	Média aritmética anual Concentração máxima diária que não deve ser excedida mais que uma vez por ano.
Partículas Totais em suspensão	80ug/m ³ 240 ug/m ³	Média geométrica anual Concentração máxima diária que não deve ser excedida mais que uma vez por ano.
Fumaça	60 ug/m ³ 150 ug/m ³	Média geométrica anual Concentração máxima diária que não deve ser excedida mais que uma vez por ano.
Monóxido de Carbono	10 mg/m ³ (ou 9 p.p.m.) 40 mg/m ³ (ou 35 p.p.m.)	Concentração máxima em amostras de 8 horas, que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano. Concentração máxima em amostras de 1 hora, que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano.

Fonte: DNIT, 2000

Uma vez instalada a rodovia e iniciada a sua operação, começa sua deterioração e, portanto, se faz necessária obra de recuperação. Assim a restauração de rodovias representa um conjunto de intervenções que visam ao restabelecimento/recuperação total ou parcial de uma edificação a uma fase anterior. Dentre os impactos ambientais associados a esta fase, pode-se destacar: a fixação temporária de mão de obra, a emissão de poeira e gases, alterando a qualidade do ar, a incidência de focos de incêndio entre outros.

4 MÉTODOS TRADICIONAIS DE RESTAURAÇÃO E/OU RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA

Métodos tradicionais para o revestimento de pavimentos asfálticos deteriorados são a aplicação de novas misturas asfálticas a quente no recapeamento, com ou sem fresagem a frio, com equipamentos mostrados nas Figuras 2 e 3 como exemplo, e/ou a remoção dos materiais existentes na superfície com equipamento pesado tipo trator de esteira, (Figura 4). Recapeamentos (adequada sobreposição ao pavimento existente de uma ou mais camada(s) constituída(s) de mistura(s) betuminosa(s) e/ou concreto de cimento portland) são tipicamente utilizados sobre toda a superfície da rodovia, incluindo os acostamentos.

Entretanto, essas soluções convencionais utilizam grandes quantidades de recursos naturais, como material betuminoso e materiais agregados (material graúdo e miúdo) de alta qualidade. O processo de recapeamento, de pavimentos asfálticos, além de apresentar um custo relativamente alto, alterar a geometria da pista e sua cota, também consome muito tempo, interrompe o tráfego e é potencialmente perigoso para os motoristas e mão de obra envolvida no trabalho, como mostram os exemplos das Figuras 5, 6 e 7 a seguir.



Figura 2 – Máquina fresadora.

Fonte: www.1gec.eb.mil.br



Figura 3 – Máquina fresadora.

Fonte: www.ciber.com.br



Figura 4 – Restauração rodoviária.

Fonte: www.1gec.eb.mil.br



Figura 5 – Restauração rodoviária.

Fonte: www.prodesivo.com.br



Figura 6 – Restauração rodoviária.

Fonte: www.prodesivo.com.br



Figura 7 – Tapa-buraco.

Fonte: www.1gec.eb.mil.br

4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE RESTAURAÇÃO E/OU RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA

Durante os serviços de restauração e/ou recuperação rodoviária, sobretudo para os métodos tradicionais, identificam-se possíveis impactos ambientais listados na Tabela 6.

Tabela 6: Impactos associados aos métodos tradicionais de reciclagem de pavimentos

MEIO BIOFÍSICO	Possíveis Impactos Ambientais	Exemplos de causas prováveis e/ou sinérgicas
Componente Ambiental: SOLO	1. Degradação do solo por ações inadequadas quando da desmobilização dos canteiros de obra e outras áreas de apoio às obras de implantação do empreendimento; 2. Erosões, deslizamentos, assoreamento, desertificação.	1. Abandono da área de acampamento sem recuperação do uso original; 2. Má disposição de bota fora.
Componente Ambiental: FLORA E FAUNA	1. Aceleração do processo de extinção regional de animais silvestres, ocasionado por atropelamento; 2. Degradação paisagística dentro da faixa de domínio. 3. Evasão da Fauna e Flora	1. Depósito de lixo e de materiais inservíveis ao longo da rodovia.
Componente Ambiental: VISUAL; PAISAGEM; RUÍDOS e AR	1. Alteração da paisagem natural motivada pela deposição de material de descarte; 2. Degradação paisagística do interior da faixa de domínio, agredindo aos usuários e moradores lindeiros; 3. Emissão de poeira e gases, alterando a qualidade do ar; 4. Incidência de focos de incêndios 5. Incidência de ruídos e vibrações.	1. Poeira oriunda da exploração de pedreiras e de ocorrências de materiais de construção; 2. Acúmulo de lixo e resto de vegetação; 3. Operação de máquinas e equipamentos mal regulados.
Componente Ambiental: RECURSOS HÍDRICOS	1. Modificação do fluxo d'água de superfície. 2. Modificações da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	1. Disposição de lixo, graxas e óleos e de materiais removidos para locais de forma inadequada.
MEIO ANTRÓPICO	Possíveis Impactos Ambientais	Exemplos de causas prováveis e/ou sinérgicas
Componente Ambiental: SAÚDE E SEGURANÇA	1. Acidentes envolvendo pessoas; 2. Doenças e intoxicações causadas pela poluição da água e, ou do ar; 3. Excesso de ruídos e vibrações e 4. Veiculação de doenças contagiosas	1. Velocidade excessiva dos equipamentos de obras; 2. Caixas de empréstimo e outras áreas exploradas sem drenagem
Componente Ambiental: COMUNIDADE E ATIVIDADE ECONÔMICA	1. Fixação temporária de mão de obra; 2. Modificação do uso e ocupação do solo na área de influência direta; 3. Possibilidade de inviabilização do uso dos recursos hídricos para recreação; 4. Valorização ou Desvalorização Imobiliária.	1. Vazamento de tanques de combustível, de lubrificantes, de asfalto etc; 2. Falta de critérios no projeto.

Fonte: Do Autor

No impacto ambiental identificado com o surgimento de erosões, deslizamentos, assoreamento, desertificação que normalmente ocorrem em caixas de empréstimo, nos locais de bota-foras e de disposição do material resultante da fresagem do pavimento, a medida mitigadora mais adequada é a execução de obras de drenagem complementares e de substituição de dispositivos.

Ainda sobre o meio biofísico, o impacto ambiental identificado com a aceleração do processo de extinção regional de animais silvestres, ocasionado por atropelamento, a medida mitigadora mais adequada é a execução de “passagem seca” para os referidos animais. Para o impacto ambiental causado pela elevada emissão de poeira e gases, alterando a qualidade do ar (Figura 4) a medida mitigadora mais adequada seria aspergir água nas áreas poeirentas e/ou usar máscaras.

Com relação ao meio antrópico, a medida mitigadora mais adequada para o impacto de acidentes com pessoas e equipamentos envolvidos direta ou indiretamente no serviço, é a adoção de programas de esclarecimento junto aos operários envolvidos na obra e/ou controlar a velocidade de veículos e equipamentos na obra. Já o impacto relativo ao excesso de ruídos e vibrações, uma medida mitigadora adequada seria realizar manutenção regular das máquinas e equipamentos.

De forma geral, o entulho proveniente dos métodos tradicionais de restauração e/ou recuperação rodoviária muitas vezes é gerado por deficiências de implantação de novas tecnologias no processo de construção rodoviária. A melhoria no gerenciamento e controle de obras públicas e também trabalhos conjuntos com empresas, universidades e pesquisadores ligados à construção rodoviária, podem contribuir para atenuar este desperdício.

5 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

5.1 ASPECTOS GERAIS

Segundo Momme Domingues, (1995):

Entende-se por reciclagem de pavimentos, a reutilização total ou parcial dos materiais existentes no revestimento e/ou da base e/ou da sub-base, em que os materiais são remisturados no estado em que se encontram após a desagregação ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica.

Inicialmente a reciclagem era realizada com equipamentos manuais com dispositivos de lâminas e escarificadores (exemplo: Figura 8), para a retirada do material da pista. Atualmente, utilizam-se máquinas fresadoras, (Figuras 2 e 3). Contudo, o princípio básico ainda é o mesmo: fragmentar, triturar e retirar a camada antiga do pavimento e assim reutilizá-la através da combinação com materiais novos obtendo-se uma nova camada, com o emprego de modernas máquinas fresadoras- recicladoras, ou recicladoras/estabilizadoras, (Figuras 9, 11 e 12).



Figura 8: Trator pesado equipado com escarificador (**Ripper**).

Fonte: www.viciana.com.ar/granprof.htm

A reciclagem de pavimento apresenta-se como uma solução para muitos problemas e oferece inúmeras vantagens em relação à utilização convencional de materiais virgens. Podem ser citadas as seguintes (DNIT, 2006):

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.

A partir da crise do petróleo, na década de 70 do século XX, com a escassez de materiais asfálticos e com a crise econômica internacional, os técnicos rodoviários em conjunto com os organismos de fomento, voltaram-se para a idéia de reprocessar os materiais de pavimentação de pistas deterioradas, por meio da reciclagem, de forma a restaurar as condições de tráfego de vias em níveis satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro (BONFIM, 2001).

No Brasil, a primeira utilização da técnica de reciclagem de revestimentos betuminosos aconteceu na Cidade do Rio de Janeiro em 1960, quando, na época, o revestimento era removido por meio de marteletes, transportado para a usina e remisturado. A primeira rodovia a ser reciclada foi a Via Anhanguera, trecho entre São Paulo e Campinas, na década de 1980 (PINTO, 1989).

Simultaneamente foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Rodoviárias/ Departamento Nacional de Infraestrutura Rodoviária (IPR/DNIT) uma pesquisa para adequar as tecnologias de reciclagem trazidas da Itália e da Suíça às condições brasileiras. Foi com base nessas obras que o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, elaborou a especificação de serviço de concreto betuminoso reciclado a quente no local.

A reciclagem em usinas estacionárias, ou seja, usinas de asfalto cujas instalações são fixas, teve na década de 80, importante papel no desenvolvimento da reciclagem no Brasil iniciada com a introdução de usinas do tipo "Drum Mixer", isto é, equipamentos cuja mistura asfáltica é feita dentro de um tambor misturador e apresentam funcionamento contínuo (Figura 9), trazidas do exterior ou fabricadas no país. Várias obras lançaram mão dessa técnica, no âmbito do DNIT, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro e do Departamento de Estradas e Rodagem – SP (DER-SP).

5.2 TIPOS DE RECICLAGEM

De maneira geral, os especialistas do meio rodoviário costumam classificar as técnicas de reciclagem de pavimentos asfálticos em duas modalidades, que são a reciclagem a quente e a frio, que por sua vez podem ser processadas no próprio local, ou seja, "in situ", ou em usina apropriada.

A reciclagem de pavimentos, a quente e a frio, com propósito de manutenção, reabilitação e reconstrução foi reportada pela primeira vez em 1915 nos Estados Unidos (ZELAYA, 1985). Até a década de 1930, foi reciclada uma quantidade considerável de pavimentos, principalmente urbanos. Após esta década, o número de obras com aplicação da técnica de reciclagem foi reduzindo em virtude do aumento da oferta de asfalto no mercado, o que tornava a construção de um novo revestimento mais barata que a sua reciclagem.

A reciclagem a quente pode ser feita em usina estacionária, ou seja, usinas de asfalto cujas instalações são fixas, ou pode ser "in situ", de acordo com as especificações de serviço ES 033/2005 e ES 034/2005 do DNIT, respectivamente.

A reciclagem a quente em usina estacionária é um processo em que uma parte ou toda a estrutura é removida e reduzida, geralmente através de fresagem a frio, e posteriormente transportada para ser misturada e recuperada em usina de asfalto apropriada.

O processo inclui a adição de novos agregados, material de enchimento, cimento asfáltico de petróleo (CAP) e se necessário, um agente rejuvenescedor. O tipo de usina mais empregada é a "Drum mix" (Figura 9), e o produto final deve atender as especificações de misturas asfálticas a serem aplicadas nas camadas de base, de ligação ou de rolamento (DNIT, 2006).



Figura 9 – Usina de asfalto *Mix Drum*.

Fonte: www.ciber.com.br

A reciclagem a quente “in situ” (regeneração), (Figura 10), é um processo de correção de defeitos de superfície, através do corte e fragmentação do revestimento asfáltico antigo (geralmente por fresagem), mistura com agente rejuvenescedor, agregado virgem, material asfáltico, e posterior distribuição da mistura reciclada sobre o pavimento, sem remover do local (DNIT, 2006).



Figura 10 – Super recicladora AR 2000.

Fonte: www.martec.ca

Na década de 90, iniciou-se a reciclagem a frio "in situ", com o emprego das recicladoras móveis *Caterpillare Wirtgen*, cuja operação se desenvolvia no local, com fresagem a frio do revestimento, incorporação de emulsões rejuvenescedoras, homogeneização e espalhamento feito pelo próprio equipamento. No Brasil, o primeiro trecho em que foi utilizada a técnica de reciclagem a frio "in situ", foi na rodovia BR-393/RJ, em novembro de 1993, segmento entre Além Paraíba e Sapucaia, realizada pelo DNER atual DNIT (PINTO et al., 1994).

Dois métodos de reciclagem "in situ" já foram utilizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) atual DNIT, a saber:

- a. **Método Marine**, com o emprego da recicladora Marine A.R.T. 220 de fabricação italiana, cuja 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, cuja fresagem é realizada após o aquecimento da superfície do revestimento. Para este procedimento o DNER elaborou a especificação ES – 187/87.

Quanto ao reprocessamento dos materiais de pavimentação, quando este ocorre sem o dispêndio de energia para o aquecimento dos mesmos, a técnica é designada de reciclagem a frio (MOMM; DOMINGUES, 1995). Podem ser adicionados materiais betuminosos (emulsão asfáltica), agregados, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos. A mistura final é utilizada como camada de base que deve ser revestida com um tratamento superficial ou uma mistura asfáltica nova a quente, antes de ser submetida à ação direta do tráfego. A reciclagem a frio pode ser classificada em (DNIT, 2006):

- a. **Reciclagem com adição de material betuminoso** – consiste na mistura do revestimento e da base pulverizados no local, com adição de material betuminoso para produzir uma base estabilizada com betume.
- b. **Reciclagem com adição de estabilizante químico** – consiste na pulverização e mistura na pista da camada de revestimento, da base e da sub-base, ou de qualquer combinação entre essas, com a adição de estabilizantes químicos (cal, cimentos ou cinzas volantes), para produzir uma base estabilizada quimicamente.

Atualmente a experiência indica que a técnica de reciclagem a frio para restauração de pavimentos pode ser aplicada mais eficientemente nos seguintes casos (DNIT, 2006):

- a. Em rodovias de baixo volume de tráfego (vicinais);
- b. Em acostamentos defeituosos de rodovias principais e
- c. Na utilização do material reciclado como base estabilizada.

Como a reciclagem a quente, a reciclagem a frio pode ser feita em usinas apropriadas ou “in situ”.

A reciclagem a frio em usina pode ser realizada em usinas estacionárias, valendo-se das usinas de solos, que recebe o material fresado e o processa com a adição de material de enchimento, caso necessário, e agente rejuvenescedor emulsionado (DNER, 1996).

Essa técnica é muito utilizada em países europeus e a porcentagem de reaproveitamento do material fresado pode atingir cerca de 90% (DNER, 1996).

Também podem ser utilizadas usinas móveis, (Figura 11), que podem produzir misturas com material virgem ou material proveniente de fresagem, (Figuras 1 e 2).



Figura 11 – Usina móvel p/ misturas frias.

Fonte: www.ciber.com.br

A reciclagem a frio “in situ”, (Figura 12) é executada com a utilização de equipamento do tipo fresadora-recicladora, sendo comum no Brasil o uso do modelo da *Wirtgen GmbH* de fabricação alemã, (Figura 13).



Figura 12 – Reciclagem a frio *in situ*.

Fonte: www.paulifresa.com.br



Figura 13 – “Trem de reciclagem”.

Fonte: www.br.com.br/portabr

5.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

O crescente interesse em reciclagem de pavimentos tem motivado os fabricantes a produzir equipamentos especiais para reciclar e re-elaborar as camadas do pavimento. As atuais máquinas recicladoras/estabilizadoras, (Figuras 14 e 15), permitem a reciclagem de estradas mesmo em estado avançado de degradação, além disso, esses equipamentos são soluções de custo acessível e de qualidade para projetos de restauração de rodovias.

Os maiores desenvolvimentos tem ocorrido na melhoria da potência dos equipamentos na produção de peças mais resistentes. Estes avanços são importantes para que haja máquinas capazes de operar de maneira mais econômica, tanto em revestimentos muito espessos, como em bases granulares e em subleitos com alta plasticidade.

Uma dos benefícios da reciclagem consiste de que todo o equipamento e maquinário necessário para o processo podem ser acomodados na largura de uma faixa de tráfego (Figura 16). Em rodovias de pista simples com duas faixas de tráfego, por exemplo, a reciclagem pode ser efetuada em uma metade durante o primeiro turno e a outra posteriormente, e a largura toda, inclusive a pista reciclada, ser reaberta ao tráfego ao cair da noite. Essas vantagens fazem da técnica um processo atraente para a restauração de estradas, otimizando custos e tempo de processamento (Revista CIBER, ano 5, n. 12, set./2004).



Figura 14 – Recicladora/estabilizadora Caterpillar RR 250.

Fonte: www.fresar.com.br/fresar



Figura 15 – Recicladora/estabilizadora Wirtgen WR 2500.

Fonte: www.fresar.com.br/fresar



Figura 16 – Recicladora de pavimentos.

Fonte: www.ciber.com.br

Pista Livre para Tráfego

5.4 VANTAGENS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À TÉCNICA DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

Considerando-se as técnicas de reciclagem comentadas anteriormente, o material removido, que antes era considerado um entulho problemático, passa a ser um excelente produto para a reciclagem, sem prejuízo da qualidade final. A reciclagem permite, assim, ao pavimento primitivo um ciclo de vida maior, além de poupar os recursos naturais da região.

A reciclagem de pavimentos betuminosos em geral se constitui, em relação à solução tradicional de recapeamento(s) sucessivo(s) ou outros métodos de restauração, em uma alternativa possivelmente mais econômica e mais ecológica.

A seguir, serão apresentadas algumas vantagens das técnicas de reciclagem em comparação com o método tradicional de recuperação de pavimentos, no que tange à geração de impactos ambientais negativos nos meios antrópico e biofísico.

Para o meio antrópico, podem ser destacados como forma de otimização dos impactos ambientais de acordo com o componente ambiental saúde e segurança: a redução significativa dos ruídos e vibrações, e a redução de acidentes envolvendo pessoas e/ou equipamentos.

Com relação ao meio biofísico, destaca-se para a componente ambiental, solo, e a componentes visual, paisagem, ruídos e ar: a significativa redução de erosões, deslizamentos, assoreamento, desertificação que normalmente ocorrem em caixas de empréstimo (jazidas), nos locais de bota-foras e de disposição do material resultante da fresagem (corte) do pavimento; a redução da degradação da paisagem natural motivada pela deposição de material de descarte; a redução da emissão de poeira e gases, alterando a qualidade do ar e a diminuição da incidência de ruídos e vibrações.

Entretanto, faz-se necessário uma medida de controle (monitoramento para a cada fase ou etapa) para comparação de ganhos ou perdas, de acordo com os respectivos componentes ambientais, como por exemplo, a componente visual, paisagem, ruídos e ar: avaliar a qualidade do ar (mediros níveis de poeira e gases) e a avaliação de ruídos e vibrações às margens lindes da rodovia (medir o níveis de ruídos), conforme limites anteriormente citados nas tabelas 4 e 5.

6 CONCLUSÕES

O termo reciclagem vem sendo usado nos últimos anos em diversas áreas de produção, pois o processo de reaproveitamento de materiais que anteriormente seriam descartados e na maioria das vezes se torna um "lixo" não desejável é visto com bons olhos por órgãos governamentais e principalmente ambientalistas.

A técnica de se reciclar pavimentos é relativamente recente, porém não menos importante. O reaproveitamento dos materiais existentes do pavimento antigo como fonte principal para a construção de pavimentos novos, pode gerar benefícios como: evitar a exploração excessiva de jazidas minerais, já tão escassas em algumas regiões do país; o ligante asfáltico (CAP) remanescente, pode ter recuperadas algumas de suas propriedades originais, que durante sua utilização foram perdidas por oxidação e volatilização. Citam-se ainda como benefício do uso da técnica de reciclagem: a conservação do greide da pista

evitando-se problemas com alturas sob viadutos, túneis e passarelas e o não aparecimento de degraus nos acostamentos provocados pela aplicação sucessiva de camadas de recapeamento, qualidade adequada e resistência do pavimento reciclado, a redução do prazo de execução da obra, o menor tempo de interrupção do tráfego durante o trabalho, nova concepção de recuperação asfáltica, às vezes até com possibilidade de redução de espessuras do revestimento, sem perda de qualidade e finalmente, pode permitir redução dos custos em relação à restauração convencional.

Pode-se citar como desvantagem da aplicação das soluções de reciclagem, o emprego de mão de obra especializada, o difícil acesso das máquinas às obras distantes dos grandes centros urbanos, como por exemplo, a Amazônia e a necessidade da análise econômica para serviços realizados em diferentes regiões, observando-se as devidas peculiaridades.

REFERÊNCIAS

BELLA, V.; BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niterói: EDUFF, 1993

BONFIM, Valmir. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 2. ed. São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 2001. p. 71-78.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER. **Concreto betuminoso reciclado à quente na usina**, DNER-ES 318/97, Rio de Janeiro, 1997. 152.

_____. **Concreto betuminoso reciclado à quente no local**, DNER-ES 319/97, Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos**, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **Pavimentação - Reciclagem de pavimento à frio "in situ" com espuma de asfalto**, DNER-ES 405/00, Rio de Janeiro, 2000.

_____. **Programa de Capacitação de Pessoal do DNER, Curso RP9 - Reciclagem de Pavimentos**, v.1 e v.2, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Rio de Janeiro, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT. **Corredores de transporte; proposta de ações para adequação da infraestrutura e para racionalização do transporte de grãos agrícolas**. Brasília: GEIPOT, 1995. 1 v.

FOGLIATTI, Maria Cristina, FILIPPO, Sandro, GOUDARD, Beatriz. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos Sistemas de Transporte**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004.

FRANCO, Mauricio Luiz de Oliveira. **Interferência na realização de obras e operações rodoviárias ao meio ambiente, rodovias em meio urbano e o meio ambiente**: 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação) – Especialização em Sistemas de Gestão Ambiental, PUC-PR, Curitiba, 2001.

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, 32., 2000, Brasília: ABPV, 2000.

GOUDARD, Beatriz. **Avaliação ambiental de alternativas de projetos de transporte rodoviário com uso da lógica fuzzy**. (Dissertação de Mestrado) - IME, 2001.

MIRANDA JUNIOR, Juarez; SILVA, César Augusto R. Reciclagem de camadas betuminosas com sub-base estabilizada com cimento na BR-381: uma experiência. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 32., 2000, Brasília: ABPv, 2000.

MOMM, Leto; DOMINGUES, F. A. A. Reciclagem de pavimentos à frio in situ superficial e profunda. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., 1995, Cuiabá, 1995.

PINTO, Salomão; GUARÇONI, Dilma S.; RAMOS, Celso R.; GUERREIRO, Francisco. Recuperação de pavimentos através da reciclagem à frio "in situ" com a utilização de agente rejuvenescedor emulsionado - case studies. In: INTERNATIONAL BUSINESS COMMUNICATIONS – **Workshop**. Rio de Janeiro, 1994.

PEREIRA, D. R. M.; OLIVEIRA, José L. T.; NADALIN, Renato; LUCAS, Pedro V. Z.; GRECA, Amadeu C.; MORILHA JUNIOR, Armando; RIBEIRO, Wagner S.C.; CHIUMENTO, Jinny L. Estudo da influência de aglomerantes em pó e do tipo de ligante asfáltico no comportamento de misturas recicladas com espuma de asfalto. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 11., 2002, Porto Alegre: ABPv, 2002.

PINTO, Salomão. **Tópicos especiais em mecânica dos pavimentos**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1989.

SÁ, M. M. **Contribuição à implementação de um sistema de gestão ambiental na construção de rodovias**: uma lista de verificação para um programa de auditoria ambiental, (Tese de Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1996.

ZELAYA, D. **"In situ" Cold Recycling of Bituminous Pavements**. (Tese de Doutorado) University of Califórnia, USA, 1985.

PEREIRA, D. R. M.; OLIVEIRA, José L. T.; NADALIN, Renato; LUCAS, Pedro V. Z.; GRECA, Amadeu C.; MORILHA JUNIOR, Armando; RIBEIRO, Wagner S.C.; CHIUMENTO, Jinny L. Estudo da influência de aglomerantes em pó e do tipo de ligante asfáltico no comportamento de misturas recicladas com espuma de asfalto. In: **Reunião de Pavimentação Urbana**, 11., ABPv: Porto Alegre, 2002.

PINTO, Salomão. **Tópicos especiais em mecânica dos pavimentos**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1989.

SÁ, M. M. **Contribuição à implementação de um sistema de gestão ambiental na construção de rodovias**: uma lista de verificação para um programa de auditoria ambiental, (Tese de Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1996.

ZELAYA, D. **"In situ" Cold Recycling of Bituminous Pavements**. (Tese de Doutorado) – University of Califórnia, USA, 1985.