Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Técnicas para reciclagem de pavimentos de concreto

Bruno Ramos Rufino dos Santos *nUSP: 8590081*
Renato Fernandes Fontoura de Lima *nUSP: 8585686*
Alphonse Pierre Elvis Bonnin

São Paulo
2018

Introdução

Os pavimentos de concreto de cimento Portland (CCP) têm sido muito utilizados nas estradas de primeira categoria e em vias urbanas de alto tráfego de muitos países. No Japão, Alemanha, Itália, Inglaterra e Bélgica, aproximadamente 50% das estradas são de concreto, enquanto nos Estados Unidos a percentagem é de cerca de 26%.

Segundo Senço (1997), os precursores dos pavimentos rígidos foram os ingleses, que iniciaram a sua construção em 1865. O primeiro pavimento de concreto construído nos Estados Unidos da América data de 1891 e hoje funciona como calçadão para pedestres. Foi executado na cidade de Bellefontaine, no Estado de Ohio.

Em diversos países, principalmente Alemanha e Estados Unidos, o pavimento de concreto passou a ter preferência para auto-estradas, antes da Segunda Guerra Mundial. Nessa época a Alemanha tinha cerca de 92% de suas auto-estradas em concreto. A partir do término da Segunda Guerra Mundial, a produção nacional de cimento foi destinada prioritariamente ao suprimento de necessidades fundamentais da emergente indústria da Construção Civil, o que conduziu os setores de pavimentação a lançarem-se em empreendimentos que não dependessem desse produto.

O pavimento de concreto ressurgiu, nos últimos anos, em países de características tão diversas como o México, a África do Sul, a Espanha e a Índia. Isso ocorreu porque, em primeiro lugar, seu custo inicial tornou-o atraente diante das alterações nos preços dos derivados de petróleo (Pitta, 2009). Atualmente, pode-se destacar seu emprego em rodovias nacionais, como na terceira faixa de interligação Anchieta - Imigrantes; na marginal da rodovia Presidente Dutra (SP); na pista descendente da Rodovia dos Imigrantes; na pista sul das Marginais da Rodovia Castelo Branco; no Rodoanel Mário Covas; em avenidas como a Av. Assis Brasil (RS) e no Nordeste, onde o Exército Brasileiro executa 142,5 km dos 336,0 km de pavimento rígido na Rodovia BR101/NE, nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

Entre as diversas nomenclaturas existentes, Balbo (1997) defende uma uniformização dos termos usuais em pavimentos, a saber: pavimento rígido – é o pavimento cuja camada superior, resistindo grande parcela de esforços horizontais solicitantes, acaba por gerar pressões verticais aliviadas e bem distribuídas sobre as camadas inferiores.

Entre os principais tipos de pavimentos de concreto, pode-se citar: pavimentos de concreto simples, com armadura descontínua, continuamente armado, estruturalmente armado, concreto protendido e concreto com fibras.

A reciclagem de pavimentos

Segundo Momm e Domingues, (1995):

I.

> 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.

A reciclagem demonstra-se atualmente como uma solução a algumas questões ambientais e econômicas relacionadas a obras de infraestrutura, dentre as quais pode-se citar (DENIT,2006):

I. 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,
II. 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.
III. 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

Quando se pensa em questões ambientais, a reciclagem do pavimento de concreto surge como alternativa principalmente pelo concreto ser 100% reciclado, o que permite uma total substituição de todo agregado natural. Para se ter uma ideia da quantidade de agregado envolvido em uma obra de pavimentação, por exemplo, na pavimentação de um quilômetro de pista simples, sem acostamentos, pode-se consumir 5 vezes a quantidade de agregados consumida na construção de um edifício de 15 andares e dois subsolos (Balbo,2007).

Além das questões ambientais, existem os pontos econômicos envolvidos na reciclagem de pavimentos. O custo dos agregados em uma obra viária representa entre 20% a 30% dos custos de materiais e suprimentos. O processo de reciclagem se compensa financeiramente também quando elimina-se a etapa de descarte de boa parte dos materiais, onerosa nos custos de transporte e deposição em bota-foras.

Pelo pequeno percentual de vias de pavimento de concreto no Brasil (2% de acordo com Balbo 2009), o potencial de reciclagem de concreto em volume é relativamente baixo com o observado em outros países (Tabela 1), principalmente quando imagina-se que 1,5 milhões de m³ de agregado podem representar cerca de 800 KM de revestimento de concreto em rodovias de duas faixas.

Principais estados e cidades com potencial de reciclagem de vias pavimentadas em concreto

Estado	*Volume (m3)*	*%*	*Cidade*	*Volume (m3)*	*%*
Pernambuco	367.376	30,2	Recife	240.554	63.9
Bahia	20.592	1,7	Belo Horizonte	29.700	7.9
Mato Grosso	41.184	3,4	Rio de Janeiro	11.445	3.0
Rio de Janeiro	164.808	13,5	Curitiba	52.488	13.9
São Paulo	550.085	45,2	Porto Alegre	42.025	11.2
Santa Catarina	13.147	1,1			
Rio Grande do Sul	59.626	4,9			
Total	1.216.819	100	Total	376.212	100

(Fonte primária: TSENG e BALBO, 2013)

Outro problema é que a tecnologia pouco desenvolvida no Brasil e a relativamente grande disponibilidade de novos agregados torna a reciclagem de agregados pouco atrativa economicamente, diferentemente do que nota-se em outros países (tabela 2).

. Comparação entre as composições de custos de produção de concretos

Concreto	*Convencional*	*Reciclado*	*Δ (%)*
Custo total (R$)	204,22	243,29	~ 19
Agregado graúdo (R$)	19,00	51,15	~ 169
Agregado miúdo (R$)	2,49	19,37	~ 678

Técnicas de reciclagem

Existem vários métodos de tratamento de um pavimento de concreto para finalidades de sua restauração. As mais comuns são:

I. Quebra, craqueamento e assentamento das placas de concreto (reciclagem “in situ”)
II. Emprego de mantas geotêxteis, malhas e compósitos como dispositivos anti trincas;
III. Compósitos absorventes;
IV. Remoção e britagem de placas para uso como agregados reciclados.

Neste trabalho, vamos destacar as mais usadas no Brasil, Reciclagem “in situ” e remoção e britagem:

1. Reciclagem a frio “in situ” com adição de cimento portland

É uma técnica de reabilitação voltada basicamente para a melhoria da qualidade estrutural do pavimento. A reciclagem é um processo de reconstrução parcial da estrutura do pavimento asfáltico com aproveitamento dos materiais existentes.

O processo consiste em triturar parte do pavimento asfáltico e misturá-lo simultaneamente com o cimento espalhado na pista. Depois de devidamente compactada, a camada reciclada passa a absorver muito bem os esforços gerados pelo tráfego e suas principais características são:

- elevada resistência;
- baixa deformabilidade;
- grande durabilidade na presença de água;
- baixa susceptibilidade a variações de temperatura.

A técnica é relativamente nova no Brasil. Segundo relatos, a primeira obra de reciclagem “in situ” realizada no país ocorreu no início dos anos 90, na restauração da rodovia DF 065. As primeiras experiências mostraram-se satisfatórias e desde então centenas de quilômetros de estradas já foram recuperadas por meio da reciclagem.

Existem várias modalidades de reciclagem, porém, a mais utilizada no Brasil é a reciclagem com adição de cimento portland. A técnica é muito difundida no meio rodoviário e rapidamente transformou-se numa demanda real, seja pelas questões ambientais (aproveitamento dos materiais existentes no pavimento), seja pela facilidade e rapidez de execução. Além disso, o pavimento reciclado torna-se uma estrutura mais uniforme e mais resistente do que o pavimento original.

Agregados são adicionados com a finalidade de corrigir a granulometria do material que é o resultado do processo de trituração, após isso regenera-se a ligação entre os materiais da camada na mistura final adicionando um polímero ou betume e aditivo, no caso, um agente rejuvenescedor.

O processo de execução é constituído pelas seguintes etapas: (figuras a seguir)

1. Espalhamento prévio do cimento, que pode ser manual ou mecanizado (figuras 1 e 2)
2. Trituração do pavimento e homogeneização de materiais (figura 3)
3. Compactação (figura 4)
4. Nivelamento
5. Acabamento da superfície
6. Cura

7. Aplicação do novo revestimento



Figura 1: Espalhamento manual



Figura 2: Espalhamento mecanizado



Figura 3:Trituração e homogeneização de materiais



Figura 4: Compactação da camada reciclada

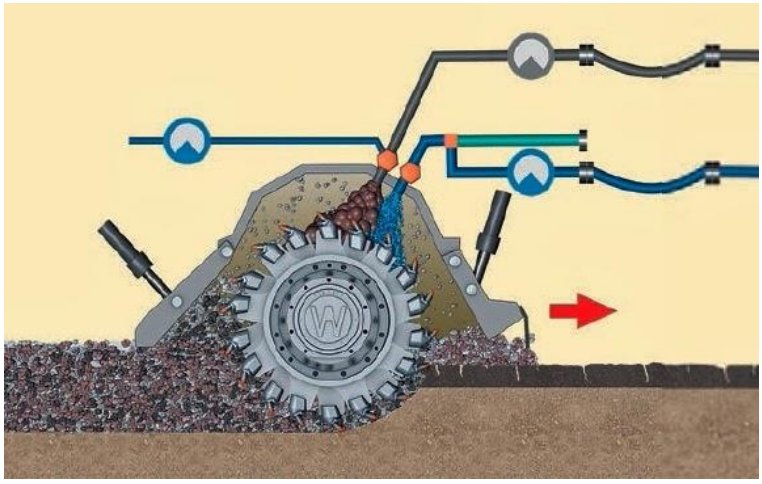


Figura 5: Sistema interno de uma trituradora

2. Remoção e britagem:

Antes de se retirar as placas de concreto, é necessário remover todo o material asfáltico da pista, caso haja. A maneira mais eficiente de se fazer isso é através da fresagem a frio e remoção da superfície asfáltica com uma pá carregadeira (Figura 6).



Figura 6: Remoção da superfície de asfalto: fresagem + pá carregadeira

Para se retirar as placas de concreto para a reciclagem do pavimento existem diversos métodos, como martelos, bolas de demolição e quebradores de impacto. Seus mecanismos são baseados na queda de uma massa elevada sobre o pavimento.

As Figuras 7 e 8 mostram respectivamente um equipamento de martelo por gravidade e um de martelo hidráulico multi cabeças:



Figura 7: Martelo por gravidade



Figura 8: Martelo hidráulico multi cabeças

A Figura 9 abaixo mostra o equipamento mais indicado atualmente, o equipamento de viga vibratória, acoplada a uma ferramenta que estilhaça o concreto sem transmitir as vibrações para o subleito e placas adjacentes, sendo o equipamento que menos danifica a base, além de causar menos ruído, mais indicado para áreas urbanas.



Figura 9:Equipamento de viga vibratória

Quando o pavimento é armado, é necessário soltar os pedaços de concreto do aço. Para isso, pode-se usar uma retroescavadeira ou um trator de lâmina com cortador frontal. Para carregar os materiais são utilizadas pás carregadeiras e caminhões caçamba.



Figura 10:Cortador de lança frontal

- **Mecanismos de britagem:** Os britadores mais utilizado normalmente são de mandíbula e de impacto (Figura 11 abaixo). Os de mandíbula tem a vantagem de quebrar somente uma pequena fração dos agregados naturais presentes no concreto, enquanto os de impacto quebram igualmente partículas de argamassa aderida e de graúdos naturais, produzindo agregados reciclados de qualidade inferior. Porém, alguns pesquisadores afirmam que os britadores de impacto são mais eficientes pois quebram o material no ponto mais fraco, levando a uma melhor qualidade do agregado, sendo que os britadores mandíbula comprimem os agregados provocando fissuras prejudiciais à resistência às variações térmicas.

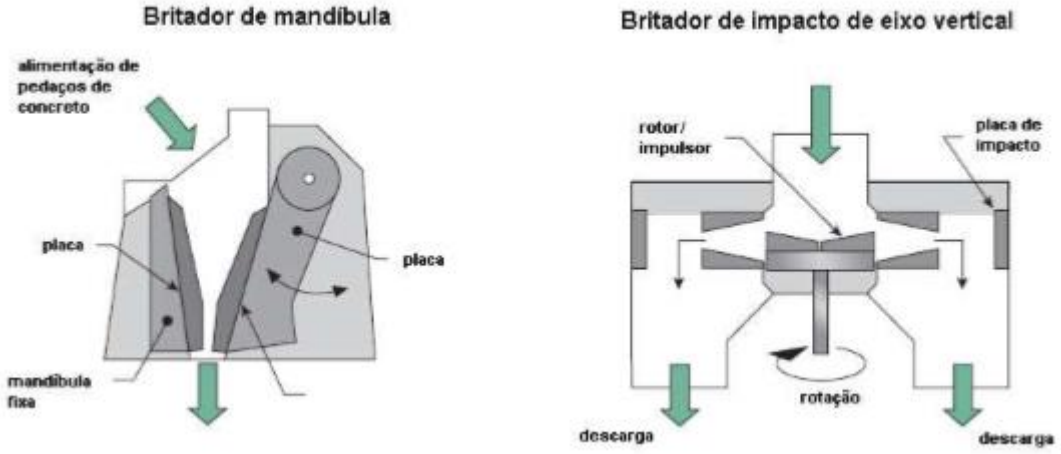


Figura 11: Britadores de mandíbula e de impacto, respectivamente

Entretanto, estudos comprovam que a diferença entre a eficiência dos agregados na prática não é alta, sendo assim, não é justificado o uso de britadores de impacto, pois demandam maiores gastos de manutenção.

Em relação a viabilidade técnica do emprego do concreto em questão como matéria prima para a obtenção de um novo concreto, a grande maioria dos ensaios apresentou resultados satisfatórios, comprovando a viabilidade do emprego dessa solução.

Reciclagem de pavimentos nos EUA

A reciclagem de pavimentos de concreto e uma prática antiga que já era utilizada de maneira extensa na Europa desde os anos 1940 e nos Estados unidos desde os anos 1970 (1). A produção de concreto agregado reciclado de todas fontes (inclui também demolições) foi estimada em torno de 140 milhões de toneladas em 2014.

A Snyder et al. Identificou em 1994 perto de 100 projetos de utilizando concreto agregado reciclado. Foram avaliados 9 desses projetos sucessivamente em 1997 e 2006. A maioria desses projetos e dos mais recentes encontram um êxito elevado em performances. Alguns desses projetos tem falhas prematuras, e permitem melhorar o processo para ter performance similar o superior aos concretos e pavimentos obtidos por métodos convencionais.

Por exemplo, lajes de comprimento elevado com reforços de aço mais distantes tendem a apresentar mais fissuras transversais, porque o agregado reciclado tem menos atrito para compensar em lugares de fissuras.

Apesar desses alguns projetos com falhas, existem vários que tevê sucesso. Um desses 9 projetos era a reciclagem de pavimento de concreto para produzir pavimentação de concreto continuamente armado, na rota I-10 perto de Houston, Texas (1995).

Um trecho velho de 30 de pavimento de concreto continuamente armado foi esmagado e utilizado para providenciar 100% dos agregados granulares e finos da nova mistura.
O empreiteiro tinha dificuldades iniciais para produzir concreto trabalhável porque as condições de humidade na estocagem dos agregados de concreto reciclado não estavam adequadas. Este problema foi resolvido com a instalação de sistemas de sprinklers para controlar a humidade.
Tinhas também alguns problemas com a variabilidade na resistência, geralmente com ocorrências ocasionais de resultados muito baixos nos ensaios. O empreiteiro foi intimado a modificar o design da mistura para produzir resistências médias maiores.
Desde esse projeto a Texas DOT (departamento de transporte do Texas) limita a utilização de concreto reciclado a menos de 20% da composição total dos agregados finos.
O módulo de elasticidade baixo do agregado reciclado é considerado como um dos fatores principais da performance excelente nesse projeto até hoje (1).

Um papel escrito em conjunto com o departamento de transportes de Indiana e a universidade de Purdue teve como objetivo de avaliar a performance de concreto feito com agregados **granulares** reciclados, em contraste com agregados "virgens" (2). As misturas avaliadas contenham 30%, 50% ou 100% de RCA, e dois tipos de cimento diferentes (*primeiro só "Portland type 1", o segundo 80% de "Portland type 1" e 20% de ASTM C 618 Class C "fly ash").* Em seguida, foram criadas misturas com granulometrias modificadas (ajustando o ratio fino/granular e adicionando um agregado reciclado de tamanho médio, que não era concreto de pavimento).

Com os dois cimentos, os concretos com 30% de reciclados apresentavam características comparáveis ou melhores que o concreto de controle (0% de reciclados). Com 50%, as performances eram menos impressionantes, mas ainda satisfazem o requerido pela INDOT (indiana DOT). Só o agregado com 100% de granular reciclado e o primeiro cimento não satisfazia aos padrões.
O estudo também mostra que mudar a granulometria com a introdução de outro agregado de tamanho médio não proveniente de pavimentos não afetava de maneira benéfica a resistência do concreto.

O estudo conclui que devido a fonte única dos agregados reciclados, é melhor tomar uma margem e utilizar agregados com 30% de reciclado ou eventualmente com 50%, se for com o uso do segundo cimento (fly-ash).

Bibliografia

CP Road Map. *Concrete Pavement Recycling and the Use of Recycled Concrete Aggregate in Concrete Paving Mixtures.*

Kho Pin Verian, Nancy M. Whiting, Jan Olek, Jitendra Jain, Mark B. Snyder. *Using Recycled Concrete as Aggregate in Concrete Pavements to Reduce Materials Cost.*

Balbo, J.T.; Dornelas, R.C. Custos de reciclagem de pavimentos de concreto e seu potencial econômico na realidade brasileira, 2015.

Balbo, J.T. (2009) Pavimentos de concreto. Oficina de Textos,
São Paulo.

Costa, C.;Filho, W. O uso de reciclagem de pavimentos, como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil,2010

Tseng, E. (2010) Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo

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.

Balbo, J. T. Pavimentos Asfálticos – Patologias e Manutenção. São Paulo: Plêiade, 1997.

Balbo, J. T; Contribuição à análise estrutural de reforços com camadas ultradelgadas de concreto de cimento Portland sobre pavimentos asfálticos; Tese de Livre-Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 195 p., São Paulo. 1999

TSENG, E. *Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregados para construção de novos pavimentos de concreto: O caso do rodoanel metropolitano Mario Covas*. São Paulo – 2010.

HILARIO, R. Q. *USO DE PAVIMENTO RECICLADO ADICIONADO COM CIMENTO PARA USO COMO REFORÇO DE BASE PARA RODOVIAS – ESTUDO DE CASO: BR-120.* Ouro Preto – 2016