

PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CONCRETO ASFÁLTICO TRADICIONAL (CBUQ) E CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE

Ervan Miranda Junior¹

Graziele Miranda Ramos Santana¹

Daiana Valt Nepomuceno²

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre o pavimento de concreto asfáltico tradicional também chamado de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e concreto asfáltico drenante. Para a análise de custos de implantação, foram elaboradas tabelas utilizando como base os índices de custos unitários do DER-ES, datados de junho/2016. No parâmetro viabilidade, foram expostas as principais vantagens e desvantagens do concreto asfáltico drenante em relação ao tradicional. Diante dos dados que foram apresentados, verificou-se que financeiramente a pavimentação asfáltica tradicional é mais vantajosa do que a pavimentação asfáltica drenante. No quesito viabilidade, a pavimentação drenante aparece como dispositivo de prevenção de acidentes em vias urbanas, com fatores favoráveis em oposição a acúmulos de água nos períodos que ocorrem maiores precipitações de chuva. A junção entre o poder público e o privado, foi essencial para sua implantação experimental locada na área de estacionamento da USP – Universidade de São Paulo, a qual colaborou com estudos técnicos para experimentos laboratoriais e verificações, levando em consideração seu sistema de drenagem, a execução de um reservatório podendo reutilizar a água para fins ambientais. Esse caso serviu como base para ser incorporado em outras regiões, como o Trecho de Tamboré em São Paulo, com procedimentos quanto uma solução alternativa para redução de ruído na via, a colaboração em precaução quanto a alagamento, proporcionando adoção de uma

¹ Acadêmico de Engenharia Civil da Faculdade Capixaba da Serra - MULTIVIX

² Orientador do projeto de pesquisa. Docente da Faculdade Capixaba da Serra – MULTIVIX

técnica compensatória em diversos empreendimentos, o qual mostrou-se muito eficiente para ser executado em múltiplos locais, privados ou em áreas públicas.

Palavras chave: Estudo comparativo. CBUQ. concreto asfáltico drenante, Custos. Viabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura dividida em camadas de espessuras finitas, construída sobre uma fundação, denominada de fundação do subleito que tem a função de resistir aos esforços vindos do tráfego de veículos, tende a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento. Geralmente, as camadas mais próximas da superfície têm melhores características e custos de implantação mais elevados. (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2001), o Brasil tem como principal modal de transporte terrestre, o rodoviário. Dessa forma, é extremamente importante se desenvolver tecnologias que assegurem maior segurança aos usuários das vias. Um método, bastante utilizado no exterior visando à melhoria das condições de segurança e conforto das rodovias, é a utilização do concreto asfáltico drenante.

Pavimento de concreto asfáltico drenante comumente chamado de pavimento permeável, também serve para captar e acumular água em cisternas, uma solução ideal para aproveitamento de água potável (com os certos tratamentos) e água não potável, que é uma saída para uma solução de escassez de água, que podem ser amplamente utilizados em condomínios, loteamentos, edifícios (PINTO, 2011).

O concreto asfáltico drenante tem sua granulometria de agregados superior do que o asfalto comum dosado com mistura betuminosa criando espaços de vazios. Logo o seu índice de vazios é maior, aumentando a sua capacidade drenante da via. Dessa maneira, a água proveniente da chuva pode percolar através de seus vazios. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo dados do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2006), No Brasil em 2006, foi aproximadamente 28 bilhões de reais os gastos totais com acidentes de trânsito. Em 2011, o número de acidentes em rodovias federais foi de 188.925, resultando destes, 7.008 com vítimas fatais e 63.980 com ferimentos, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2012).

Como é explícito a elevação do índice de acidentes nas condições chuvosas, sendo ainda mais necessário o desenvolvimento de métodos técnicos que favoreçam a segurança sob tal condição.

O objetivo deste trabalho é mostrar por meio de estudos, o custo, a viabilidade técnica da implantação do concreto asfáltico drenante, visando à segurança e desobstrução do trânsito, mantendo o fluxo constante de veículos em dias de precipitações intensas.

Para o comparativo de custo foram elaboradas tabelas utilizando como base os índices de custos unitários do DER-ES, datados de junho/2016 e para realizar a análise de viabilidade foi feito uma revisão bibliográfica do tema dos dois tipos de pavimentos em estudo como camadas constituintes, composição granulométrica e algumas vantagens e desvantagens do pavimento drenante sobre o tradicional. Também foi apresentados dois locais no estado de São Paulo onde aplicaram esse tipo de pavimento de concreto asfáltico drenante e os resultados que obtiveram.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. INTERAÇÃO ENTRE PNEU E PAVIMENTO

Segundo Pottinger *et al.* (1986) o entendimento do contato entre o pneu dos veículos de rodagem e o pavimento nos trás diversos fatores a serem considerados, tais como: estado de conservação do pneu, condição meteorológica, velocidade de tráfego e coeficiente de atrito do contato pneu-pavimento.

Está relacionado com o estado que a superfície de rolamento se encontra. A durabilidade das camadas de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, da intensidade do tráfego e também das características estruturais do pavimento. (Oliveira, 2009).

Os sulcos dos pneus existem para serem capazes de escoar a água para que não ocorra a aquaplanagem, fenômeno em que as rodas perdem o contato com o piso asfáltico, causando ao motorista a perda de direção e controle do veículo. O deslocamento de um veículo sobre uma pista em condições de chuva, gera três Zonas de interação pneu-pavimento: Zona Seca, Zona Intermediária e Zona Molhada (CARDOSO, 1995), conforme ilustra a Figura 1.

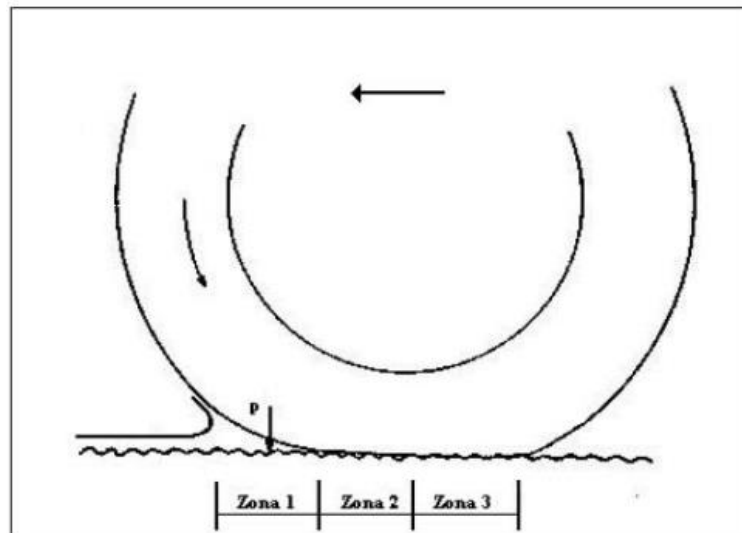


Figura 1 - As três Zonas de contato pneu-pavimento.
Fonte: CARDOSO, 1995.

Na Zona 1, tem-se o início do contato entre o pneu e a lâmina de água. Nessa zona ocorre o maior acúmulo de água e é onde se tem o maior risco de aquaplanagem. Já na Zona 2, se inicia a quebra da lâmina d'água e se inicia o contato do pneu com o piso. Por fim, na Zona 3 existe o contato completo entre pneu e pavimento, porém sabe-se que o contato é menor em uma pista molhada afetando o tempo de frenagem caso necessário. O aumento da velocidade e da película d'água ocorre a diminuição da Zona 3 e respectivo aumento das Zonas 1 e 2.

A ocorrência do fenômeno de *spray* aumenta os riscos de acidentes nas vias de tráfego de alta velocidade, uma vez que se agrava à medida que se aumenta a velocidade dos veículos. Os riscos são inerentes à redução da visibilidade dos veículos que trafegam próximos à carros que estão se deslocando à frente. O *spray* é projetado no para brisas dos veículos que estão trafegando atrás, reduzindo consideravelmente a visibilidade e aumentando o tempo de reação dos motoristas (CORREA, 2009).

Outro fator que reduz a segurança de tráfego, é a formação do *spray*, ou aspersão de finas gotas d'água, que reduzem a visibilidade dos motoristas aumentando ainda mais o risco de acidentes. Tal fenômeno ocorre devido à interação entre os sulcos dos pneus com a água, que ao girarem projetam a água para cima, além do lançamento lateral da água pelos pneus.

Com a ocorrência do *Spray* em rodovias molhadas, a chance de acidentes é bem maior, devido a visão do motorista ficar comprometida com a asperção da água, que afeta a visibilidade de todos os motoristas que trafegam na rodovia. A Figura 2 ilustra a formação do *spray*.



Figura 2 - Spray gerado pela velocidade entre o pneu em contato com a lâmina D'água no asfalto.
Fonte: Blog do caminhoneiro, 2016.

2.2. CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE

O pavimento asfático usualmente é composto de quatro camadas principais, sendo: o reforço de subleito, a sub-base, a base e o revestimento. Essas camadas possibilitam a resistência aos esforços aplicados a elas por meio dos veículos, sem que altere sua comodidade (BERNUCCI *et al.*, 2008). A Figura 3 mostra as camadas predominantes de um pavimento de concreto asfáltico (flexível). Há possibilidade de se construir diversas camadas com arranjos de materiais, para potencializar as necessidades em diversos propósitos para o pavimento, sendo capaz de torná-lo mais econômico.

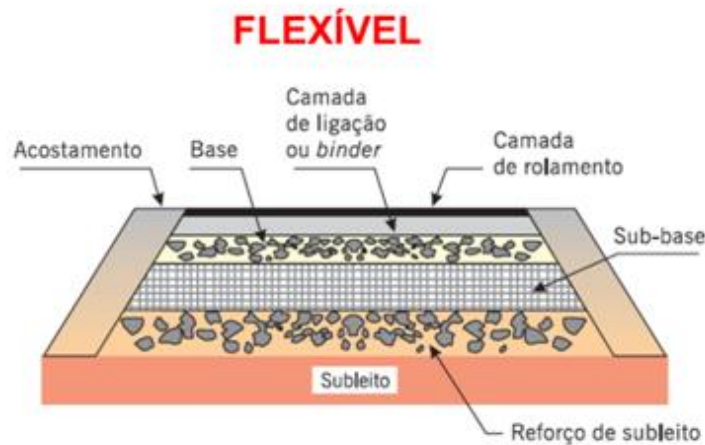


Figura 3 - Corte transversal de pavimento asfáltico flexível.
Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

A diferença para o asfalto tradicional e os asfalto drenante está na camada de revestimento, ou seja, na mistura asfáltica utilizada. A camada de revestimento utilizada no asfalto drenante é chamada de camada porosa de atrito (CPA).

A camada superior dos pavimentos de concreto asfáltico drenante é construída de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração da areia fina da mistura dos agregados do pavimento deixando uma abertura para que a água percole.

Se fosse aplicada apenas uma camada de concreto asfáltico drenante sobre o pavimento, como camada única de revestimento, a estrutura do pavimento estaria suscetível à entrada d'água. Dessa maneira, o pavimento não seria estável e teria seu colapso com o uso. Como ilustrado na Figura 4, onde há uma camada superior drenante de granulometria aberta e uma inferior impermeável.

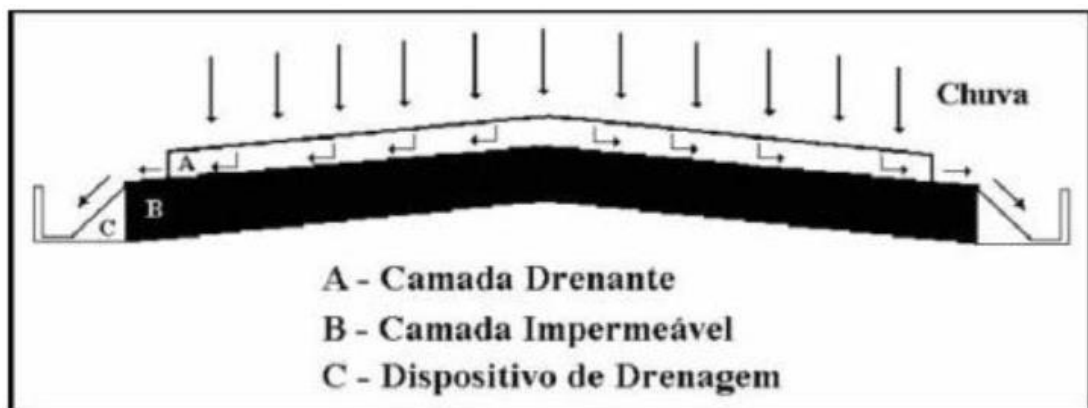


Figura 4 - Perfil do pavimento drenante
Fonte: Revista Pavimentação - ABP, Janeiro 2006.

Conforme a ilustração da Figura 4, visando a drenagem do pavimento sem abalar a estrutura, empregam-se ao menos duas camadas de revestimento nos pavimentos drenantes, onde há uma camada superior drenante (A) de granulometria aberta e uma camada inferior impermeável (B). Após a água percolar pela camada de concreto asfáltico drenante, segue para a camada impermeável aonde ocorre o escoamento superficial até chegar diretamente nos dispositivos de drenagem (C), para que não penetre nas camadas de subleito e não prejudique a estrutura do concreto asfáltico drenante.

Diante disso, após a triagem do local que receberá a CPA, se faz necessário verificar a capacidade de tráfego de veículos e condições climáticas para que a escolha do material seja benéfica a todos. Segundo a especificação brasileira do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem do Espírito Santo (DNER-RJ 386/99) recomenda - se para o concreto asfáltico drenante cinco faixas granulométricas com teor de ligante asfáltico entre 4,0 e 6,0% , conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da Camada Porosa de Atrito

Peneira de malha quadrada		Faixas					
		Porcentagem em massa, passando					
ABNT	Abertura mm	I	II	III	IV	V	Tolerância
¾"	19,0	-	-	-	-	100	-
½"	12,5	100	100	100	100	70-100	±7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	±7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	±5
Nº 10	2	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	±5
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13	±5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	±3
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	±2
Ligante modificado por polímero, %		4,0-6,0					±0,3
Espessura da camada acabada, cm		3,0		≤ 4,0			
Volume de vazios, %		18-25					
Ensaio Cântabro, % máx.		25					
Resistência à tração por compressão diametral, a 25°C. MPA, min.		0,55					

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

As misturas asfálticas do concreto asfáltico drenante são misturas abertas que mantêm uma grande porcentagem de vazios com ar não preenchidos através das pequenas quantidades de filler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Essas misturas asfálticas a quente possuem normalmente entre 18 e 25% de vazios segundo a norma DNER-ES (386/99).

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) utilizado no concreto asfáltico drenante deverá ter baixa suscetibilidade térmica e alta resistência ao desgaste. O ideal é utilizar um CAP modificado por polímero para aumentar a durabilidade e reduzir a desagregação. A sub-camada à camada porosa do asfalto drenante deve ser impermeável para evitar a percolação de água, para que não atinja a estrutura do pavimento. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

3. RESULTADOS

3.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE DO CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE

Para análise da viabilidade técnica foi utilizado como parâmetro as características físicas e os impactos que o pavimento de concreto drenante causa no ambiente e na sociedade perante o concreto asfáltico tradicional.

3.1.1. Vantagens

A seguir foi apresentada algumas vantagens da implementação do sistema de construção do CPA, baseado em diversas pesquisas que foram e estão em andamento para disseminação da pavimentação drenante.

3.1.1.1. Redução da Formação de *Spray*

O sistema de drenagem da CPA auxilia na diminuição do escoamento superficial de água na pista, de modo consequente, decorre menor projeção das minúsculas gotículas de água aos veículos que seguem atrás. Desta forma, tem-se a redução do fenômeno de formação do *Spray*, limitando o aumentando a segurança aos usuários que utilizam a via. (MACEDO, 2003)

3.1.1.2. Redução do Risco de Hidroplanagem

Segundo Roseno (2005), a camada porosa de atrito aumenta a capacidade drenante do pavimento. Outro aspecto positivo da presença de uma camada superficial permeável é a frequência com que ocorrem precipitações tropicais no Brasil, aliviando o acúmulo de água na pista. Quando ocorrem as grandes precipitações a maioria das estradas não tem capacidade drenante suficiente. Desta forma, a permeabilidade superficial age como paliativo das grandes descargas iniciais de chuva.

3.1.1.3. Moderação do Fenômeno de Espelhamento

A existência de lâmina de água, sobre a camada de revestimento do pavimento causa um fenômeno de espelhamento, quando ocorre o pavimento funciona com uma certa capacidade reflexiva da luz. Se feita uma analogia aos espelhos, a película de água, formada na superfície, atua como vidro, e o revestimento asfáltico como metal refletivo. Este fenômeno acaba por provocar ao condutor significativa perda da capacidade de enxergar a sinalização horizontal, principalmente nos períodos noturnos, em que a luz projetada pelos faróis é refletida. (ACIOLI, 2005)

3.1.1.4. Melhoria da Aderência em Condições Chuvosas

Segundo Macedo (2003), além da diminuição do risco de aquaplanagem, com a extinção da lâmina de água na pista de rolamento, a área de contato do pneu com o pavimento aumenta. Isso se explica devido à redução das Zonas 1 e 2 de contato do pneu com o pavimento. Dessa maneira, aumenta-se a força de atrito entre pneu e asfalto auxiliando ainda mais na segurança do condutor e passageiros.

3.1.1.5. Redução do ruído de rodagem

Embora a intenção de se utilizar asfalto drenante não seja essa, mas a redução do ruído de rodagem foi significativa, os pavimentos drenantes desempenham boa absorção sonora de rodagem. Isto se dá pela existência de vazios.

Os dois principais causadores de ruído de rodagem são em ordem de relevância: o momento que o ar é aprisionado entre os sulcos dos pneus e o pavimento. Ao se

liberar o ar aprisionado nos sulcos dos pneus, produz-se um pequeno estampido. Deste modo, os estampidos, causados pela liberação de ar, são reduzidos ou até mesmo eliminados, as ondas sonoras entram nos vazios da camada porosa e são parcialmente absorvidas e reduzidas (SILVA, 2007). No Gráfico 1 mostra a influência na emissão de ruídos.

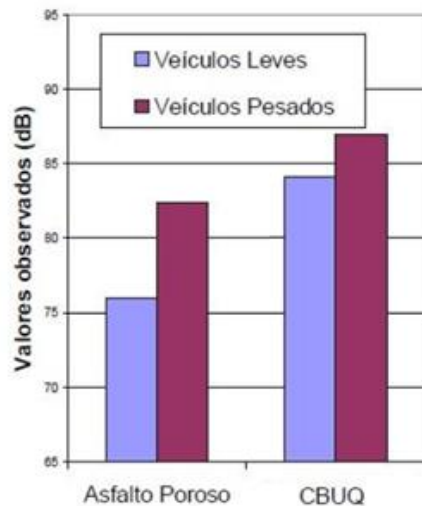


Gráfico 1 - Influência da emissão de ruídos para vários pavimentos.
Fonte - Teixeira *et. al.* 2001.

Nota-se que para a situação observada, a redução de ruído para veículos leves atinge quase 10 dB(A), quando empregado o asfalto poroso em comparação ao concreto convencional.

3.1.2. Desvantagens

A seguir foi apresentado duas principais desvantagens da implementação do sistema de construção do CPA.

3.1.2.1. Colmatação

Um dos principais problemas inerentes ao pavimento drenante é a colmatação sofrida durante sua vida útil. Que é o fenômeno que causa a perda de drenabilidade da água com o tempo, causada pelo preenchimento dos vazios da camada drenante. O preenchimento se dá pelas várias fontes de poluição as quais as estradas estão expostas. Dessa forma, esse trecho poluído perde sua função drenante com o fechamento dos poros da camada drenante. (SOARES, 2014)

A manutenção preventiva mais usada consiste na remoção das partículas que bloqueiam os vazios através de jateamento e aspiração de água. Mas, os resultados desses processos são limitados, chegando a apenas 39% de recuperação da drenabilidade da camada.

3.1.2. 2. Perda de resistência aos esforços tangenciais em trechos íngremes

Deve-se ter cuidado que quanto à escolha das rodovias que receberão tecnologia drenante, tendo em vista os esforços tangenciais aos quais o pavimento estará exposto. Em serras íngremes, onde há alta aceleração frequente, seja pela frenagem ou esforço de subida, é inviável a aplicação de CPA. Isso se explica pela presença de vazios na camada de rolamento que geram perda de resistência aos esforços tangenciais.

Os esforços tangenciais frequentes e de grande importância, acarretam em arrancamento de agregados e descolamento superficial. Desse modo, deve ser evitado também, o emprego de granulometria aberta em locais de manobras bruscas, como subidas e cruzamentos. Outra ocasião em que se deve fechar a granulometria da camada de rolamento é onde haja curva acentuada, pela mesma razão das tensões tangenciais. (KOLODZIE, 2016)

3.2 ANÁLISE DE CUSTO

A seguir foi efetuado o cálculo de custos (por metro quadrado) dos pavimentos, asfálticos tradicionais (CBUQ) e asfálticos drenantes visando comparar os custos de execução, tomando como base tabelas oficiais de custos para cada item de serviço.

Com a finalidade de comparar a implantação estrutural do pavimento com o revestimento asfáltico, foram elaboradas as Tabelas 1 e 2. Todos os dados utilizados na montagem foram extraídos da Tabela de Referência de Preços do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo – DER-ES (sem desoneração). Cabe ressaltar que nos custos apresentados está incluso o BDI de 23,32%. A Tabela 1, mostra o custo de implantação de um pavimento de concreto asfáltico drenante com o custo por m² dos itens de serviços que compõem cada etapa deste tipo de pavimentação.

Tabela 1 Composição de custos de materiais para aplicação do asfalto drenante.

Valores de mercado - Data base Junho/2016

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UND.	PREÇO UNIT.	CPA	
		(R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Regularização e compactação do subleito h= 0,20 m	m ²	3,65	1	3,65
Sub-base de solo estabilizado, granulometricamente sem mistura inclusive escavação e carga	m ³	22,88	0,15	3,43
Concreto Asfáltico Poroso	m ³	659,78	0,05	32,99
Macadame Betuminoso	m ³	188,53	0,05	9,43
Pedrisco	m ³	40,64	0,01	0,41
Imprimadura Ligante	m ²	11,59	1	11,59
Macadame Hidráulico	m ³	176,45	0,25	44,11
Pó de Pedra	m ³	151,09	0,1	15,11
Geomembrana	m ²	24,89	1	24,89
			TOTAL	R\$ 145,61

Fonte: Adaptado DER-ES (2016)

Analisando a tabela acima, foi observado que o custo por m² para implantação da pavimentação asfáltica derenate dimensionada neste estudo foi de R\$ 145,61. A Tabela 2, mostra o custo de implantação de um pavimento de concreto asfáltico tradicional (CBUQ) com o custo por m² dos itens de serviços que compõem cada etapa deste tipo de pavimentação.

Tabela 2 – Composição de custos de materiais para aplicação do asfalto CBUQ.

Valores de mercado - Data base Junho/2016

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UND.	PREÇO UNIT.	CPA	
		(R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Regularização e compactação do subleito h= 0,20 m	m ²	3,65	1	3,56
Sub-base de solo estabilizado granulometricamente e sem mistura inclusive escavação e carga	m ³	0,15	24,91	3,74
Base de solo brita, 50% em peso, inclusive fornecimento, exclusive transporte de brita	m ³	0,2	65,8	13,16
Imprimação inclusive fornecimento e exclusive transporte comercial do material betuminoso	m ²	1	5,42	5,42
CBUQ (camada pronta-capa) inclusive fornecimento e transporte do CAP e da massa	t	0,096	264,85	25,43
			TOTAL	R\$ 51,31

Fonte: Adaptado DER (2016)

Analisando a tabela acima, foi observado que o custo por m² para implantação da pavimentação asfáltica dimensionada neste estudo foi de R\$ 51,31.

Foi verificado que a pavimentação asfáltica tradicional (CBUQ) retratou diferença de 64,76% menor por metro quadrado que a pavimentação asfáltica drenante, devido ao elevado custo do CPA para pavimentar. Podendo ser verificado que o concreto asfáltico drenante utiliza-se uma maior quantidade de matéria prima para execução de todas as camadas. Como pode ser verificado, só o preço por metro cúbico do concreto asfáltico poroso (R\$32,99) , representa um valor maior que a metade de todo do pavimento asfáltico tradicional executado (R\$ 51,31).

A utilização de ligante asfáltico modificado afeta o aumento do custo final do pavimento. Esse aumento se dá pela necessidade de se utilizar ligantes modificados na mistura, devido às dificuldades de execução, comportamento mecânico e durabilidade.

4. ESTUDO E APLICAÇÕES DO CONCRETO DRENANTE NO BRASIL

Para análise de melhorias após a aplicação do concreto asfáltico drenante, selecionou-se dois trechos que foram estudados e já estão concluídos em São Paulo. O primeiro trecho no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da USP e o segundo trecho foi alguns quilômetros da Rodoanel.

4.1 ESTACIONAMENTO DA USP

Foi realizada a execução do concreto asfáltico drenante em um estacionamento nas dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP e esse estudo proporcionou a aceitação de uma técnica compensatória que serviu como base para ser empregada em inúmeras regiões em entidades particulares ou públicas. Sua execução foi de forma agil, pois na maior parte do tempo foi utilizado o processo mecanizado, o que acarretou mais comodidade aos veículos e seus condutores.

Conforme o professor José Rodolpho Martins do departamento de engenharia hidráulica e ambiental da USP, com a necessidade de suprir a prefeitura de São Paulo e apresentar resultados que possam ser indicados para execução em diversos empreendimentos municipais, manifestou-se então a idéia inicial, e enfatizou mais estudos técnicos. Visando também, métodos para empreendimentos maiores que

não disponibilizam de área permeáveis, para o cumprimento da legislação, sendo 15% de área impermeável do total do terreno . E para os que possuem piscinas, uma retenção antes de escoar direto para o sistema de drenagem.

Visando o CPA como um reservatório e sua empregabilidade em regiões que apresentam pontos de alagamento devido as águas pluviais, ou locais amplos impermeabilizados, planejando a captação e destinação, em conformidade com o tipo de tráfego, propensão estrutural e retenção quanto aos níveis granulares. Posteriormente por meio de processo licitatório, juntamente com a USP houve a contratação da empresa para executar os serviços necessários, projetando o levantamento topográfico, sondagem, entre outros, de acordo com as normas do DER/SP ET-DE-P00/028 (2006) – Concreto asfáltico poroso.

O embasamento para elaboração dos projetos, foi o levantamento planialtimétrico do local, onde foram observados e citados os elementos primordiais, o que foi crucial para marcação e locação dos pontos e sequentemente ao projeto geométrico. Para implantação do pavimento, se fez necessário o conceito da coordenadas, a qual adequa-se a terraplenagem para o corte e o aterro.

Diretrizes foram efetuadas para o processo de saída do reservatório e da captação do escoamento superficial, foi estabelecido também utilizar por um período a boca de lobo da rede de drenagem externa, como receptor das águas pluviais, obtendo momentaneamente as cotas de fundo, classificando o nível inferior e a coordenação da galeria.

4.1.1 Características do concreto asfáltico poroso utilizado

A área do estacionamento era cerca de 1600 metros quadrados no total, sendo que foram executados 800 metros quadrados de asfalto drenante, com agregado homogêneo e uma mistura asfáltica adaptado por polímeros e acréscimo de fibras, sobreposto por uma camada de 5cm de mecadame betuminoso de pedra nº 3.

Para certificar que há possibilidade de percolação de água na camada, foi imprescindível analisar a permeabilidade da CPA. Utilizando um corpo de prova do concreto asfáltico drenante, certificando que irá transpor em ambos os lados,

conforme sua lâmina de água foi possível mesurar sua vazão, aprovando-se sua permeabilidade (10^{-2}cm/s).

4.1.2 Característica do tráfego da região

Segundo a Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras do município de São Paulo (SIURB-SP, 2010), quanto a classificação de tráfego para o estacionamento, foi avaliado como do tipo leve, o qual tem em média a circulação de 20 veículos com até 10 toneladas força por eixo, diariamente.

4.1.3. Processo de execução

Inicialmente com a utilização de caminhões, retroescavadeiras foi realizada a remoção de áreas verdes, ou deslocamento, atendendo aos termos ambientais. E efetuando aberturas de caixas de pavimentação, corte de camadas de solo, aterro e compactação do sub leito.

Logo após foi realizada a execução da rede de drenagem onde foram utilizados tubos de 300 mm e 400 mm e bolsa de concreto, assentando acima do berço de brita 3, em conformidade com as inclinações representadas em projetos, conforme a Figura 5.



Figura 5 – Execução da obra de drenagem no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP.

Fonte: Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP, 2009.

Após a execução do sistema de drenagem acentou-se a geomembrana ou manta de polietileno de alta densidade onde foi necessário certificar se o projeto foi elaborado para fins de infiltração, retenção ou armazenamento. E posteriormente

posicioná-la com o mesmo rugas possíveis, toda via, após finalizar o preparo do subleito, conforme Figura 6.



Figura 6 – Implantação da geomembrana no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP. Fonte: Centro Tecnológico de Hidráulica da USP, 2009.

Após o emprego da manta, utilizou-se o derramamento de pedra número 3 por camadas de 10 cm e com o rolo compactador plano vibratório, foi dosando e assentado para altura de 25 cm. A consolidação mecânica foi aplicada de modo manual a pedra nº 1 e pedrisco que atribuiu ao remate da camada travando-a, conforme a Figura 7.



Figura 7 – Implantação da pedra 3 no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP.

Fonte: Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP, 2009.

Em seguida foi realizada as sarjetas onde a superfície da sarjeta tinha que estar compatível com o nível final do piso, sendo supervisionado topograficamente, definindo-se a cota final de concretagem, considerando a última camada de revestimento nos dois lados, conforme a Figura 8.



Figura 8 – Implantação das sarjetas no estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP.

Fonte: Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP, 2009.

Ajeitou-se uma faixa com 5 cm de camada para amparo ao revestimento com macadame betuminoso afixado estruturalmente com britas de graduação inferiores dispondo a pedra nº 1 e pedrisco, sendo compactados com rolo vibratório. Posteriormente recebeu o concreto asfáltico drenante na ultima camada, concluindo a obra, conforme Figura 9.



Figura 9 – Obra concluída do estacionamento do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo – USP. Fonte: Centro Tecnológico de Hidráulica da USP, 2009.

4.2. RODONEL

Segundo Extra.globo (2010) em atendimento aos requisitos do Ministério Público, são efetuadas periodicamente medições para controle na emissão de ruídos em diversas rodovias brasileiras, por sua vez, a foi interditado em 15/12/10, o Rodonel em meio os quilômetros 5,7 e 16 nas proximidades do km 12,5 na localidade de Tamboré. Foi feita uma avaliação em determinados trechos para verificar quanto se produz de ruído e se atende ao aprovado pela cidade, em conformidade com o plano de gestão ambiental.

Anteriormente, os moradores de um condomínio de luxo, adjacente a rodovia, apresentavam sucessivas reclamações referentes aos barulhos emitidos pelas transições de veículos. Para realização da medição, os veículos foram deslocados para as alças de acessos, sem deixar de cumprir seus destinos. E devido as análises, foi possível averiguar que a classe de barulho estava em posição elevada ao permitido, que durante o dia são de 55 dB e de noite de 45 dB.

Como a empresa que prestou o serviço de asfalto juntamente com a USP, estava apurada para aplicar o CPA no Trecho de Tamboré na Rodonel, neste caso avaliaram o local e por intermédio de ensaios laboratoriais, e certificaram que usariam o mesmo que no estacionamento da USP, assim como a equivalência na dosagem. A implantação do CPA na Rodonal contribuiu para o desenho na barreira acustica quanto ao nível sonoro, assim como também quanto ao estrutural apresentando sua eficiencia quanto a permeabilidade. As Figura 10 e Figura 11 ilustram a execução e conclusão da obra utilizando o CPA.



Figura 10 – Execução da implantação do CPA na Rodovia Rodoanel em São Paulo.
Fonte: Empresa City (2017).



Figura 11 – Obra Concluída na Rodovia Rodoanel em São Paulo.
Fonte: Empresa City (2017).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo um estudo comparativo entre o concreto asfáltico tradicional (CBUQ) e concreto asfáltico drenante (CPA), salientando as principais vantagens e desvantagens técnicas. Desejando-se mostrar os benefícios econômicos e de segurança que esta tecnologia é capaz de proporcionar ao usuário da via, tais como: redução de gastos provenientes de acidentes rodoviários, custos aceitáveis de implantação e aumento de segurança das rodovias.

Foi verificado que, a pavimentação asfáltica tradicional apresentou uma diferença de 64,76% menor em relação ao custo da pavimentação drenante, levando em consideração o custo de implantação por metro quadrado. Tal fato se deu, principalmente, ao alto custo do CPA para a pavimentação.

Mesmo o valor do CPA sendo maior que o CBUQ a viabilidade compensaria o gasto relativamente mais elevado, prezando a segurança dos usuários da rodovias, a qualidade e resistência do material é um ponto a se destacar, pois o tempo de vida do material é maior, necessitando de manutenção a longo prazo.

O Brasil sendo um país tropical com ocorrência de precipitações sazonais de grande porte, a empregabilidade do CPA seria de grande valia para reduzir drasticamente acidentes nas rodovias, pois além de ser viável e durável, tem diversas outras vantagens descritas neste artigo. Sua empregabilidade é uma realidade de fácil implantação, desde que observadas as peculiaridades de execução e projeto. Dessa forma, foram explicitadas as características que otimizam o desempenho dos concretos asfálticos drenantes.

Por fim, para cada caso específico há uma aplicabilidade, seja pavimentação asfáltica CBUQ, seja pavimentação drenante, mas pode-se identificar que a pavimentação CBUQ é mais indicada para ruas com velocidade média baixa que tenham um sistema de drenagem pluvial, devido ao custo mais elevado, a pavimentação asfáltica drenante é o mais indicada para vias coletoras e em rodovias.

6. REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. UFRJS, Rio Grande do Sul, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT (Brasil) **Modais de transporte de carga no Brasil**. 2001.

BERNUCCI et al. **Pavimentação asfáltica – Formação básica para engenheiros**. 1. ed. Gráfica Imprinta, Rio de Janeiro, 2008.

CARDOSO, S.H. et. al. (1995). **Proposta para implantação de centros de análise e controle de acidentes (CACA) em órgãos rodoviários e vias urbanas**. 29ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPV, Cuiabá, MT. p. 285-302.

CORRÊA, A. L. V. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picps de cheias**, São Paulo, 2009.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESPÍRITO SANTO – DERES, (Brasil). **Composição de custos do Concreto Asfáltico Drenante e o Concreto Betuminoso Usinado a Quente**, Espírito Santo, 2016.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO – DER - SP, (Brasil). **Especificação Técnica do Concreto Asfáltico Poroso**, ET-DE-P00/028, São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER - RJ, (Brasil). **Pavimentação: pré-misturado a quente com asfalto polímero, camada porosa de atrito**, Rio de Janeiro, 386/1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT (Brasil). **Quadro 0101 – Número de acidentes por gravidade da ocorrência**, 2012.

EXTRA.GLOBO, **Dersa (Desenvolvimento Rodoviário S.A.) pode ter de reduzir ruído do Rodoanel na região de Tamboré**. Disponível em: < <https://extra.globo.com/noticias/brasil/dersa-pode-ter-de-reduzir-ruído-do-rodoanel-na-região-detambore692323>>. Acesso em 5 de outubro de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA (Brasil). **Impactos Sociais e Econômicos dos acidentes de trânsito nas Rodovias Brasileiras**. Relatório executivo, 2006.

KOŁODZIE, J. V. M. **Estudo das propriedades acústicas, drenantes e mecânicas de revestimentos asfálticos porosos**. Florianópolis, SC, 2016.

MACEDO, C. G. O. **Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. p 12-19. Brasília, 2003.

OLIVEIRA, C. G. M. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante. Distrito Federal**. p 28-46, 2003.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

POTTINGER *et al.* **The tire pavement interface**. Baltimore ASTM Standards. p. 9-15, 1986.

ROSENO, J. L. **Avaliação de uma mistura asfáltica porosa com agregados calcários e asfalto borracha**. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SIURB-SP, **Dados da Classificação de tráfego do estacionamento da USP**, São Paulo, 2010.

SILVA, A. P. S. **Estudo de Eficácia na redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes**. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2007.

SOARES, E. P. **Avaliação da Capacidade de Infiltração dos Pavimentos drenantes**. Brasília, 2014.