

LOGÍSTICA REVERSA APLICADA ÀS OBRAS DE MOBILIDADE URBANA: UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA “WHITETOPPING” PARA CONSTRUÇÃO E PAVIMENTAÇÃO EM CORREDORES DE ÔNIBUS URBANOS

Alex Macedo Araújo¹

Leônidas Alvarez Neto²

Artigo recebido em março de 2016

RESUMO

Este artigo objetiva propor a metodologia *Whitetopping* (cobertura branca) como alternativa tecnológica para construção da pavimentação em corredores de ônibus urbanos. Aborda a possibilidade da pavimentação dos corredores de ônibus a custos mais baixos e em menor tempo. A metodologia adotada é do tipo qualitativa-descritiva, sob a forma de pesquisa documental, bibliográfica e laboratorial. Discute ainda, as leis, as especificações e as normas técnicas relacionadas à construção da pavimentação de vias públicas e, em particular, de corredores de ônibus urbanos. Expõe dados de estudos sobre capacidade, custos, velocidade dos sistemas estruturais de média capacidade de transporte público urbano e propõe a aplicação da metodologia *Whitetopping* para construção da pavimentação em corredores de ônibus.

Palavras chave: Cidade. Transporte. Pavimentação. Passageiro.

ABSTRACT

This article aims to propose a methodology *whitetopping* (white cap) as alternative technology for the construction of paving in urban bus lanes. Discusses the possibility of paving the bus lanes at lower costs and in less time. The methodology is the qualitative-descriptive, in the form of documentary, bibliographical and laboratory research. Also discusses the laws, technical specifications and standards relating to the construction of roads and paving, in particular urban bus lanes. Exposes study data on capacity, costs, speed of structural systems of average urban public transport capacity and proposes the implementation of *whitetopping* methodology for construction paving bus lanes.

Key words: City. Transport. Paving. Passenger.

¹Professor e coordenador de cursos da FATEC Zona Sul, curso de Logística. e-mail: alexgeofelix@gmail.com.

²Professor FATEC Zona Sul no curso de Logística.e-mail: leonidas@jbaengenharia.com.br.

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana³ é um dos temas mais debatidos na atualidade e preocupa a governos nas esferas federal, estadual e municipal, bem como a sociedade civil e iniciativa privada, deste modo as soluções técnicas aos problemas derivados da morosidade no fluxo de tráfego urbano de passageiros devem ser estudadas quanto a sua respectiva viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Este artigo objetiva propor a metodologia *Whitetopping* (cobertura branca) como alternativa tecnológica não exatamente de inclusão inovadora para construção da pavimentação em corredores de ônibus urbanos.

Parte de duas questões basilares: é possível pavimentar os corredores de ônibus a um custo mais baixo? E em menor tempo? Para esse fim fez uso da metodologia qualitativa-descritiva, sob as formas de pesquisas documental, bibliográfica e laboratorial. A pesquisa documental lastreada em leis, especificações e normas técnicas relacionadas à construção da pavimentação de vias públicas e, em particular, de corredores de ônibus urbanos; a de ordem bibliográfica inclui a consulta a estudos sobre capacidade, custos, velocidade dos sistemas estruturais de média capacidade para transporte de passageiros, e; finalmente, a do tipo laboratorial desenvolvida pelos engenheiros Alvarez Neto e Rodrigues, que descrevem em detalhes e entendem promissora a aplicação da metodologia *Whitetopping* para construção da pavimentação em corredores de ônibus urbanos.

O *Whitetopping* é a construção de uma placa de concreto de cimento Portland sobre um pavimento asfáltico existente, em substituição a prática atual que inclui a demolição e construção de uma nova pista. Considerando como escopo a edificação dos corredores de ônibus urbanos despontam ganhos substanciais em termos de tempo e custos materiais e humanos. Configura-se como alternativa interessante, sob o aspecto socioambiental, minimizando os impactos ao meio ambiente urbano, provenientes da demolição e descarte de resíduos sólidos, e também no tocante a entregar a obra em prazo menor em relação às alternativas tradicionais.

A adoção de metodologias mais ágeis e baratas para instauração de transporte coletivo se torna importante devido aos problemas relacionados ao inchaço das grandes cidades, rápida metrôpolização dos atuais centros regionais, aumento do número de cidades médias, concentração das empresas no entorno das grandes cidades e conseqüentemente o aumento da demanda; adiciona-se a periferação da mão de obra urbana, a falta de investimentos em infraestruturas de transporte e a parca oferta de alternativas para suprimento adequado das demandas por mobilidade urbana.

Diferentes tipos de fluxos, incluindo o transporte público de passageiros por ônibus, correspondem a categorias de análise pertencentes direta ou indiretamente a Logística. Em 2016, é imprescindível que projetos devem ser discutidos, sempre que possível, à luz das soluções que contemplem a logística reversa e a logística verde. Esses conceitos avançaram a ponto de surgirem decretos governamentais que os regulamentam.

³ Habilidade de se movimentar em decorrência das condições físicas e econômicas. A mobilidade é um atributo associado às pessoas e aos bens, liga-se às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento, consideradas as dimensões do espaço urbano e a complexidade das atividades nele desenvolvidas (VASCONCELOS, 1996). Deslocamentos são feitos por meio de veículos, vias e infraestruturas (vias, calçadas etc.), o que possibilita o ir e vir cotidiano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005).

As soluções devem se adequar socialmente e mitigarem qualquer eventual impacto ambiental. A proposta do *Whitetopping* para o pavimento de corredores de ônibus reduz os custos de implantação, minimiza os impactos ambientais, sociais e traz maior benefício com menor ônus econômico a população.

Essa proposta tem como premissa evitar as demolições e quando isso for impossível tecnicamente, então, aproveitar na própria obra os resíduos sólidos e entulhos. A construção dos corredores de ônibus gera imenso volume de material a ser descartado e aumenta demasiadamente os custos finais, uma vez que necessita de transporte adequado e de bota-fora⁴ licenciado para esta finalidade. Há problemas ambientais e geotécnicos nas áreas de bota-fora que encarecem seu custo operacional, além de gastos muito significativos relacionados ao transporte até a área para deposição dos resíduos de demolição. Compreende-se, desta maneira, que uma área dessa natureza não deva estar próxima dos grandes centros urbanos acabando por onerar o empreendimento. Assim, evitar obter material de descarte corresponde a diminuir despesas e os passivos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Quando há recursos para a construção de corredores de ônibus e empreendimentos semelhantes se passa a outro nível de dificuldades técnicas: falta de planejamento; ausência de bons projetos; dificuldade na contratação de empreiteiras tecnicamente capacitadas; e, inexistência de controle tecnológico e de memória técnica.

Uma alternativa para as cidades é investir em sistemas de transporte de média a alta capacidade, cuja conclusão corresponde à aplicação de políticas públicas governamentais com duração média de 4 a 8 anos.

Consideram-se como sistemas de média capacidade de transporte os que satisfazem as necessidades entre 10.000 a 30.000 passageiros por hora por sentido, como os corredores de ônibus (preferenciais ou exclusivos), VLTs e VLPs (veículos leves sobre trilhos e veículos leves sobre pneus). Como sistemas de alta capacidade se consideram aqueles sobre trilhos sem nenhuma interferência em seu trajeto, como os trens ou Metrô e com capacidade de transporte de 30.000 a 100.000 passageiros por hora por sentido. (ver Figura 1 e Quadro 1).

⁴ Termo usado em Engenharia e Mineração para designar genericamente os produtos naturais, não servíveis em curto prazo, que necessitam ser colocados de lado, provisória ou definitivamente. Na Engenharia Civil, os bota-foras são constituídos por material não consolidado retirado de escavações (solo, areia, argila) ou material rochoso proveniente de escavações, cortes e túneis. Apesar de não serem úteis de imediato, na obra que está sendo realizada, este material pode ser muito útil em outra obra, seja como material de aterro ou enchimento, seja como matéria prima na produção de pedra marroada ou brita.

Comparação da capacidade dos diferentes tipos de Sistema

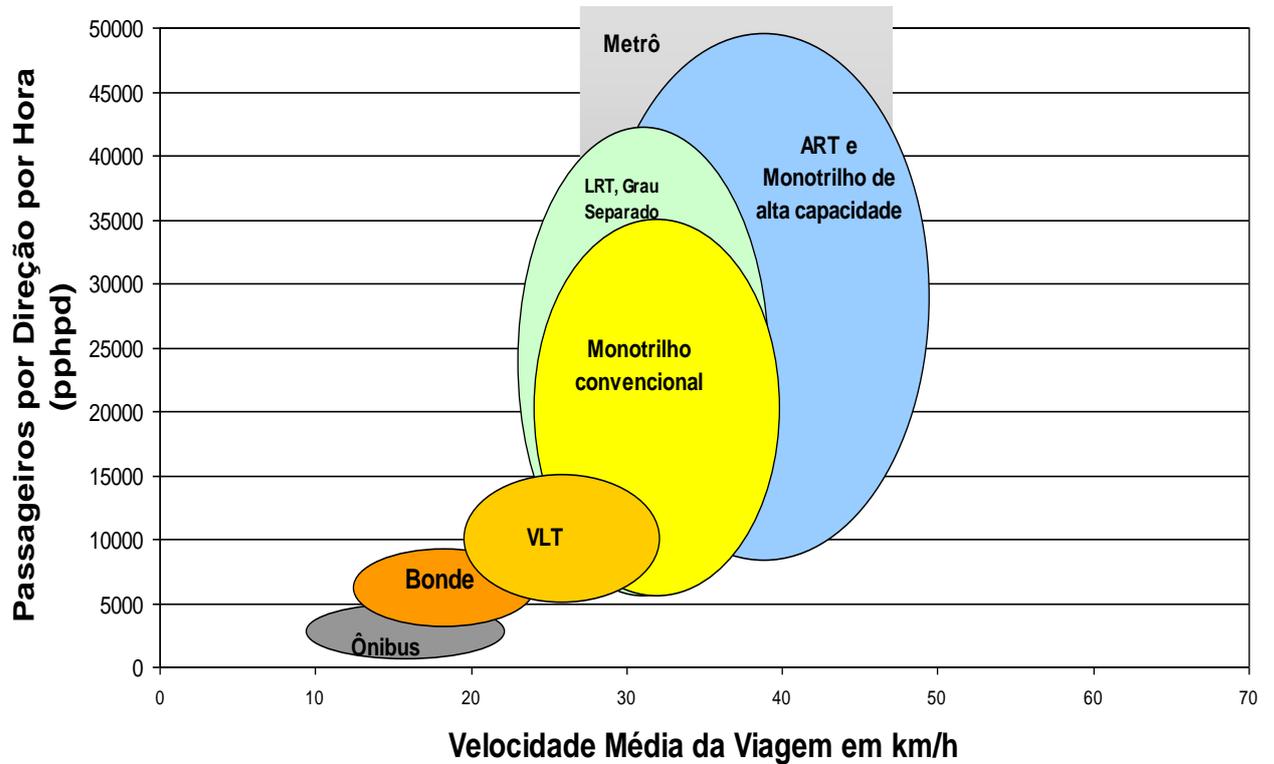


Figura 1 - Comparação da capacidade dos diferentes tipos de sistema
Fonte: GARCIA (2008)

CARACTERÍSTICA	BRT (Bus Rapid Transit)	VLT (Veículo Leve Sobre Trilhos)	MONOTRILHO	METRÔ
Custo médio de implantação (US\$/km)	15-40	20-50	40-70	80-120
Capacidade máxima típica de transporte (mil passageiros /hora)	10-30	10-40	15-50	25-80
Capacidade mínima típica de transporte (mil passageiros /hora)	2.000	2.000	3.000	10.000
Velocidade média (km/h)	25 a 60	25 a 40	40 a 60	40 a 90
Ruído (db)	70 a 90 (elevado)	60 a 80	60 a 80	75 a 100

Conforto	Menor conforto (sofre com interferências de freadas e semáforos)	Conforto médio (sofre com interferências de semáforos e trânsito)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto, passageiros podem apreciar a paisagem)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto)
Interferência no trânsito	Alta	Alta	Mínima (se elevado)	Mínimo (se subterrâneo)
Custo previsto em desapropriação	Elevado	Elevado	Baixo	Médio
Interferência durante a construção	Elevada	Elevada	Média	Baixa
Capacidade de atrair usuários do transporte individual	Baixa	Média	Alta	Alta

Quadro 1 - Comparação entre os sistemas de transporte
Fonte: Oliveira (2012)

Os custos para implantação dessas soluções incluem a construção da via, sistemas de controle e sinalização, material rodante, pontos de parada e terminais, conforme segue:

- a) Nos corredores de ônibus os preços variam historicamente entre US\$1.000.000,00 a US\$15.000.000,00 por km de via, dependendo do tipo de obra, do sistema operacional e de controle adotado, dos pontos de parada e dos terminais ou estações de interligação e transferências e dos tipos de veículos.
- b) Nos sistemas de alta capacidade os preços variam historicamente entre US\$ 80.000.000,00 a US\$ 120.000.000,00 por km, e oscilam em função do tipo de obra de implantação, dos terminais e estações e do sistema operacional e de controle adotado e dos tipos de veículos.

Os valores citados são ilustrativos e servem apenas como linha de base para discussão do objeto deste trabalho.⁵ Um dos fatores que influenciam de maneira muito significativa as decisões de projeto é a necessidade ou não de desapropriações por conta da existência do valor social intangível do imóvel que normalmente não pode ser reparado monetariamente. Sempre que possível os planejadores da cidade adotam como solução as obras enterradas, principalmente onde há densa ocupação urbana resultando em altos custos de implantação. Deste modo, os sistemas de alta capacidade só serão executados em situações extremas, sendo os de média capacidade aqueles que oferecem maior rapidez e menor custo para construção, e utilizados priorizados até o limite de sua adequação.

Os Corredores de ônibus deveriam estar inseridos na categoria de transporte público urbano chamado de “Sistema Estrutural de Média Capacidade”. Um sistema deste tipo reordena todo o transporte público em seu eixo e raio de ação. As linhas que chegam ao

⁵Para se manter referência comparativa internacional, os preços estão escritos em dólares americanos.

Corredor ou aos seus terminais fornecem o serviço de transporte público para aperfeiçoar a eficiência do Corredor e caso este seja exclusivo, gera a readequação de todas as linhas que atendiam este novo tronco, e estas linhas remanejadas para alimentar e melhorar a eficiência do sistema, daí o seu papel estruturante.

Os Corredores de ônibus têm a sua eficiência atrelada ao sistema de informação que atende a uma central que controla a frequência mais adequada à demanda para cada horário específico. O ITS (InformationTransportation System) é o sistema que vai fornecer estas informações, que inclusive permitem aos usuários monitorar o tempo de espera para cada linha.

Outra peculiaridade dos Corredores é o tipo de veículo. Existem os ônibus elétricos, como trólebus, que não emitem ruído e não poluem. Nas cidades onde há sistemas com trólebus o nível de aprovação da população para o sistema de transporte público é sempre maior que a média dos outros sistemas. Os especialistas em transporte público urbano estudam e planejam as alternativas de se projetar um sistema de média capacidade como os corredores de ônibus para solucionar os problemas do transporte público. Com o sistema definido a próxima etapa passa a ser a do projeto e construção.

A implantação de um sistema dessa natureza é um típico problema de infraestrutura urbana que deve ser resolvido por uma equipe multidisciplinar e dentre todas as disciplinas envolvidas nos estudos, projetos e execução, podemos considerar que a pavimentação pode variar de 40% a 80% do valor das obras de implantação do Corredor de Ônibus. A Figura 2 ilustra a seção transversal típica de um corredor preferencial de ônibus.

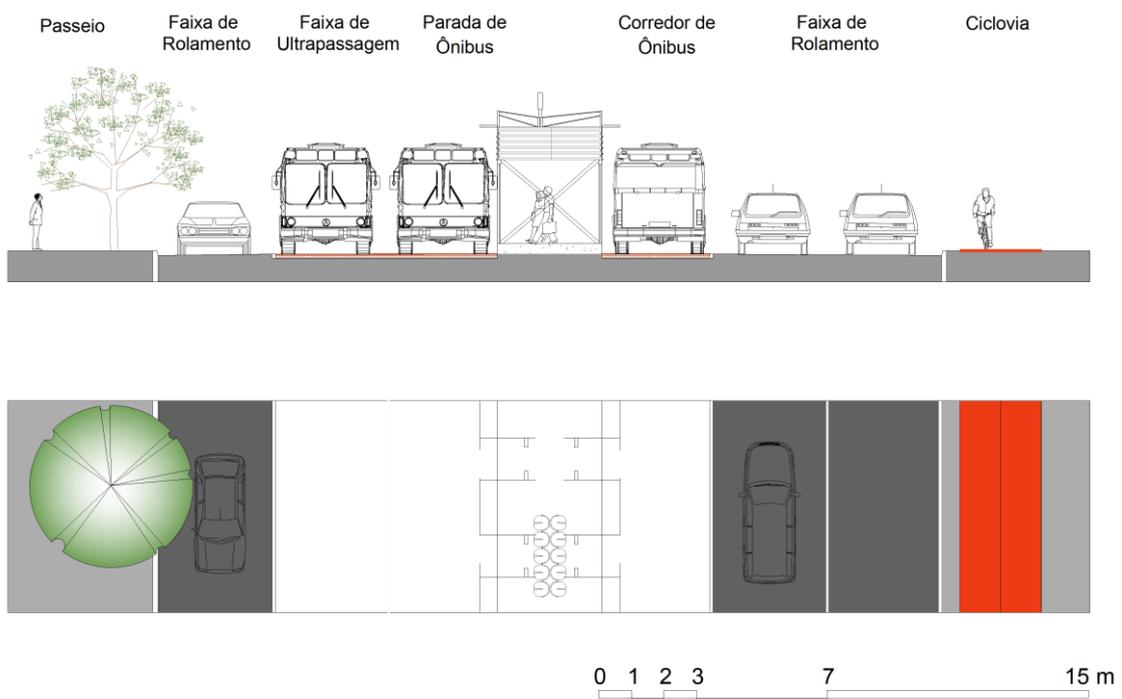


Figura 2: Seção Transversal de um Corredor de Ônibus
Fonte: Elaborado pelos autores

2.1 Logística Reversa na Pavimentação

Na prática a logística reversa minimiza ou elimina o descarte e reinsere um novo material teoricamente com custo menor do que teria na condição de matéria-prima trabalhada em sua primeira industrialização. Sob a ótica da reciclagem e preservação do meio ambiente, a logística reversa, em algumas situações, é considerada logística verde.

Um pavimento é constituído pela construção de diversas camadas de materiais em que se sobrepõem um a outra (Figura 3). Sempre há um estrato final que é visível e conhecido comumente por camada de rolamento, onde os veículos se apoiam e trafegam, e deve permitir o tráfego dos veículos em condições ideais de conforto e segurança, sem defeitos na superfície, oferecendo possibilidades plenas de drenagem adequada e dirigibilidade segura.

Para a construção de um pavimento há diversas camadas (Figura 3). Os resíduos da construção, conhecidos como entulho e aqui denominados RCD, Resíduo de Construção e Demolição, ou RCC, Resíduo da Construção Civil devem ser aproveitados nessas camadas da estrutura do pavimento.

Outro detrito normalmente descartado é o derivado do processo de fresamento das vias, que é o revestimento asfáltico removido por envelhecimento, ausência das qualidades de revestimento necessárias ou por simples remoção para possibilitar a implantação de novas camadas do ponto de vista geométrico. Este resíduo é chamado de RAP, *Reclaimed Asphalt Pavement*, devendo ser reaproveitado e retornando à estrutura do pavimento por intermédio de usinagem com asfalto espumado. Esta reelaboração do resíduo⁶ é realizada em usina específica, disponível no Brasil desde 2008, que injeta asfalto espumado com água, dando qualidade ao material resultante, levando-o que a ser reutilizado como sub-base e até base de uma via.

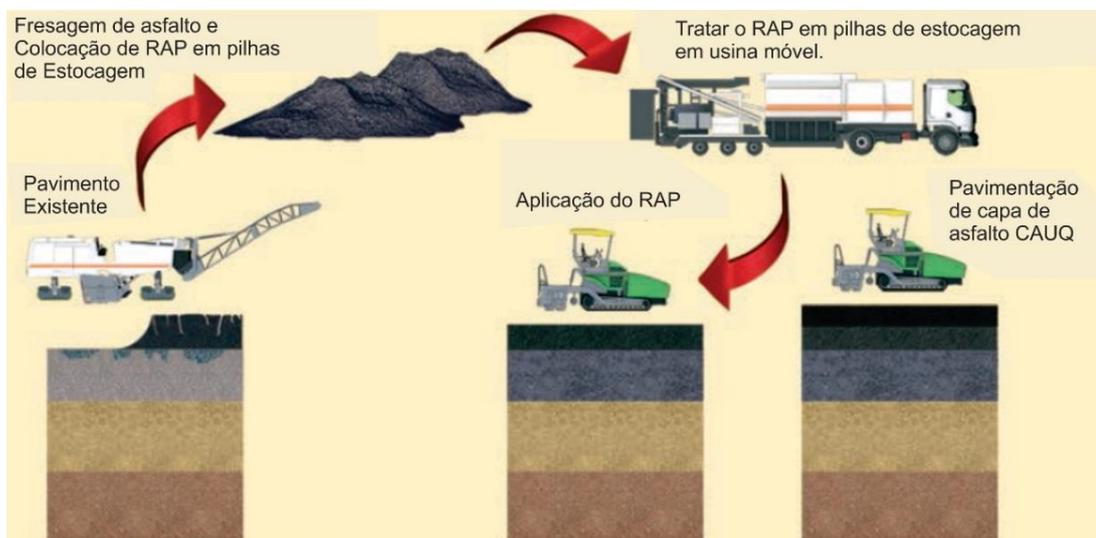


Figura 3 – Ilustração da Fresagem de um Pavimento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dependendo de sua natureza, aproveita-se o RCD como camada de reforço do subleito, sub-base e até base de pavimento. Há ainda a possibilidade de se utilizar o resíduo,

⁶Reusinagem.

ou entulho, com a adição de asfalto espumado e nessa condição pode ser empregado até como revestimento para vias de baixo volume de tráfego.

Os primeiros esforços para a utilização de entulho em obras de pavimentação urbana foram desenvolvidos pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, na década de 1980. No início dos anos 1990, mais precisamente em 1991, a Prefeitura de São Paulo adquiriu a primeira usina de reciclagem brasileira, o que motivou a USP – Universidade de São Paulo – a iniciar séries de estudos e trabalhos para o aproveitamento de material reciclado em pavimentação.⁷

Os estudos sobre o aproveitamento de resíduos da construção e demolição em pavimentação da USP se desenvolveram no Laboratório de Tecnologia de Materiais para Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sob a orientação da professora doutora Liedi Bernucci, que produziu, desde o começo da década de 1990, inúmeros trabalhos e teses sobre o tema.

A possibilidade de aproveitamento do entulho é tratada como grave problema que envolve a responsabilidade de técnicos, especialistas e sociedade civil. Sua utilização depende de uma área para recebimento do entulho e reclassificação, havendo a possibilidade de se aproveitar adicionalmente o material para produção do resíduo com asfalto espumado. Isso requer local com o equipamento adequado, usina móvel onde se adiciona asfalto ao resíduo selecionado e água para que este composto possa retornar a estrutura de pavimento na hierarquia que o projeto definir.

As misturas asfálticas com borracha e polímeros avançaram muito nos últimos vinte anos resultando em materiais de alta qualidade, melhor desempenho e vida útil estendida. Estes novos compostos asfálticos, por exemplo, o Gap-graded ou o SMA (*Stone Masticue Asphalt*), apresentam menor deformação ao efeito da trilha de roda, comum em corredores de ônibus; mais adequados para minimizar o efeito de aquaplanagem, apresentam melhor atrito, mostram-se mais seguros e emitem menor ruído (função da velocidade de tráfego), representando ganho ambiental significativo às áreas amplamente urbanizadas.

Nos concretos há inúmeras soluções: o pavimento de concreto simples, o pavimento estruturalmente armado, pavimentos protendidos, pavimentos com fibras de polietileno, polipropileno e de aço.

Relacionam-se as especificações de serviço da Prefeitura Municipal de São Paulo que obrigam a utilização de entulho nas estruturas de pavimentos novos a serem construídos.

Especificações Técnicas

- a) ETS-001/2003: Camadas de Reforço do Subleito, Sub-Base e Base Mista de Pavimento com Agregado Reciclado de Resíduos Sólidos da Construção Civil (DO de 20/03/2003);
- b) ETS-002/2009: Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto (DO de 11/06/2009).

⁷ O entulho é entendido com um material descartado sem nenhum tratamento que pode ser reaproveitado, o resíduo já é um passo dentro da logística reversa, ou seja, o material descartado é selecionado e classificado e depois reaproveitado. Estas usinas permitem essa operação.

2.2 Inovação Tecnológica Proposta

Assim, propõem-se que seja executado em corredores de ônibus um pavimento em concreto de cimento Portland, apoiado sobre o pavimento existente, realizando o “*whitetopping*”, ou cobertura branca. Para que esta solução seja a melhor alternativa tecnológica há a injunção de algumas condições especiais. O pavimento existente deve possuir desempenho adequado para funcionar como sub-base da nova placa de concreto e as condições de geometria devem favorecer esta solução.

Não é pretensão detalhar os princípios dos dimensionamentos desse pavimento, sendo assim, determina-se tecnicamente o módulo de reação (k) da estrutura em que se apoiará o pavimento de concreto. Esse parâmetro foi determinado por uma metodologia desenvolvida pelos engenheiros Alvarez Neto e Rodrigues, que considera como dados de entrada:

- a) O grau de fissuração do pavimento existente determinado pelo equipamento Movie-Geo;
- b) A deflexão do sistema de camadas onde se vai apoiar a placa de concreto, obtida pelo equipamento FWD ou viga Benkelman;
- c) O módulo de resiliência desse sistema de camadas; e,
- d) O tipo de solo pela classificação MCT para solos tropicais.

Para o dimensionamento dessa alternativa tecnológica foram usados os seguintes métodos de obtenção de dados e de cálculos:

- a) Determinação dos Módulos de Resiliência por meio do equipamento LWD (*Light Weight Deflectometer*);
- b) Classificação dos solos pelo método MCT (Miniaturas Compactadas Tropicais);
- c) Dimensionamento dos pavimentos flexíveis pelo método ABN (Alvarez, Bernucci, Nogami), revalidado para vias de tráfego pesado pelo método do engenheiro Alvarez Neto;
- d) Método de restauração de pavimentos flexíveis com a utilização de RAP espumado em usina fixa, desenvolvido pela Wirtgen;
- e) Determinação do módulo de reação do subleito k para o dimensionamento de pavimentos rígidos por intermédio do índice de fissuras, levantamento do estado da superfície dos pavimentos pelo Movie-Geo, usando o método dos engenheiros Alvarez Neto e Rodrigues.
- f) Recomendações da PCA para projetos de pavimentos rígidos adaptadas para as condições tropicais de apoio sobre sub-base asfálticas pelo método do engenheiro Rodrigues.

Existe destacada aceitação de que técnica da solução ideal para o pavimento de corredores de ônibus, caracterizado por tráfego pesado canalizado, é o pavimento de concreto de cimento Portland. Historicamente este tipo de pavimento é raramente adotado nos projetos, por inúmeras razões, a principal sendo o alto custo inicial de implantação da obra.

A solução adotada proposta é sustentada por uma “bandeira ecológica” e se qualifica como o resultado da busca por solução econômica e de grande longevidade. No sistema viário contíguo ao corredor de ônibus, conhecido como sistema viário associado, recomenda-se, para a base dos pavimentos que precisarem ser reconstruídos, a utilização de RAP espumado, que é o material fresado das vias pavimentadas com adição de asfalto para retornar como base de pavimentos. Para manter coerente a escolha da melhor solução técnica se propõe como camada de revestimento asfáltico no sistema viário adjacente ao corredor de ônibus a aplicação da mistura asfáltica SMA, com polímero e borracha, e como base dos pavimentos que precisarem ser reconstruídos a utilização de RAP espumado aplicando-se os conceitos da Logística Reversa.

Este partido de projeto é um marco na tecnologia de implantação de corredores de ônibus porque conjuga simultaneamente valiosa solução sob os aspectos técnicos, financeiros, sociais e ambientais, sobretudo porque inova tecnicamente apoiando a placa sobre o pavimento existente.

A título de exemplo, uma seção transversal dos pavimentos propostos para o Corredor de Ônibus e para o Sistema Viário Associado pode ser visualizada nas Figuras 4 e 5. A proposta da construção de placa sobre o pavimento existente é a de maior economicidade e solução ecológica porque minimiza as escavações e demolições dos pavimentos existentes e quando a demolição for inevitável se aproveita o material, que seria descartável.

Além disso, o fato de apoiar a placa de concreto sobre um pavimento existente garante o controle do cronograma de execução da obra, pois as externalidades são resultantes das demolições e escavações, que nesse caso serão reduzidas a zero. A seção Tipo apresentada nas figuras mostra o pavimento dimensionado para esta alternativa.

CAMADAS	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	ESPESSURA (cm)
Tela Q 159 Placa de concreto de cimento Portland 30 MPa		16
Tela Q 246 Lona Plástica Concreto para regularizar o apoio da placa		≤ 5
Pavimento asfáltico existente		

Figura 4 - Seção do Pavimento “Whitetoopping”
Seção Tipo Concreto Armado sobre Pavimento Existente “Whiteopping”
Fonte: Elaborado pelos autores

A construção do corredor em *whitetoopping* praticamente obriga que a solução do pavimento do sistema viário associado saia da cota da borda externa da placa de concreto e concorde com a cota da sarjeta da borda oposta à do corredor no sistema viário associado. Nas áreas em que por questões estruturais haverá a necessidade de se refazer a base do pavimento, tem-se o perfil representado na figura 5.

CAMADAS	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	ESPESSURA (cm)
Revestimento asfáltico - SMA imprimação ligante		5
Base de RAP Espumado imprimação ligante		30
Camada granular - RCC (resíduo de construção civil)		40

Figura 5 - Seção Transversal do Pavimento do Sistema Viário Associado ao Corredor de Ônibus
Fonte: Elaborado pelos autores

Em todas as soluções supracitadas se adotou para o revestimento asfáltico a mistura chamada de SMA, para as camadas de base e sub-base a composição asfáltica com RAP espumado e resíduo da construção civil. Para a viabilidade econômica dessa solução se considera o custo para implantação da placa de concreto como inferior ao das soluções em pavimento asfáltico.

Há duas razões principais: a primeira é a não demolição do pavimento existente, que passará a ser sub-base do pavimento novo, em concreto. Isso é possível porque a distribuição das cargas da placa para a fundação é a mesma que a de uma laje de concreto, requerendo capacidade de suporte da fundação menor do que aquela necessária ao pavimento flexível. A segunda razão é que este tipo de projeto prevê uma placa armada, caso a opção fosse por uma placa de concreto simples haveria espessuras finais de concreto da ordem de 24 cm. e isso também aumentaria a espessura da camada asfáltica de reforço do sistema viário adjacente, gerando o aumento do orçamento de todo o pavimento.

As condições geométricas e estruturais desses projetos propiciaram a solução. Deve-se ainda destacar que não é usual construir a placa sobre o pavimento asfáltico existente e se considera essa metodologia inovadora no meio técnico contemporâneo e adequada aos interesses dos governos e da sociedade.

Tecnicamente a solução proposta traz como grande diferencial seis pontos essenciais e de alta importância, que ocorrem simultaneamente:

- a) Melhor solução técnica;
- b) Menor prazo de execução;
- c) Menor custo de implantação;
- d) Menor interferência com o dia a dia da cidade;
- e) Menor impacto ambiental; e,
- f) Benefício da operação no menor tempo possível.

Considerando projetos similares já implantados no Brasil e operacionalmente ativos poucos foram construídos com o pavimento adequado a tráfego pesado canalizado, ou seja, não dispuseram da utilização da construção em concreto de cimento Portland. As alternativas tecnológicas que empregam pavimento asfáltico nos corredores de ônibus apresentam desempenho insatisfatório, com custo de manutenção da camada de rolamento excessivamente alto, resultado operacional de aumento no tempo de viagem, elevação do LCC (*Life Cycle Cost*), Custo no Ciclo de Vida e, finalmente, incremento no custo de operação, manutenção e renovação dos ônibus.

O custo de manutenção do material rodante (ônibus) e o custo no aumento do tempo de viagem devem ser mensurados no momento da tomada de decisão. Um dos argumentos contrários à implantação do pavimento rígido é a dificuldade de realizar a manutenção das redes de serviços subterrâneas, por outro lado o gerenciamento destas instalações sob o pavimento de concreto será feito demolindo-se a placa necessária à intervenção e depois a reconstruindo sem nenhuma obstrução técnica.

Interferências transversais deverão passar sob as placas de concreto com sistemas não destrutivos de passagem de dutos, hoje com preços competitivos em relação aos da demolição e reconstrução. Além do preço de construção mais competitivo se relacionam outras vantagens além da solução dada em pavimento de concreto: o pavimento asfáltico.

Segundo o conceito de custo do Banco Mundial (2016), o custo total da escolha de tipo de pavimento é composto por três fatores, ver Quadro 2. Consideramos todos estes custos na análise de viabilidade tratada neste artigo.

Custos do Pavimento	Custos dos Usuários	Custos de Operação e da Sociedade
Construção	Operação dos Veículos	Meio Ambiente
Manutenção	Tempo de viagem	Mobilização e Sinalização
Reabilitação	Acidentes	Acidentes

Quadro 2 - Custo total para escolha de um tipo de pavimento

Fonte: Organizado pelos autores

Listam-se a seguir, outras características importantes dos pavimentos rígidos para corredores de ônibus:

- a) A texturização da superfície elimina o fenômeno de aquaplanagem;
- b) Melhor visibilidade por reflexão, reflete até 30% mais luz do que o pavimento asfáltico;
- c) A produção de concreto consome menos 3 a 4 vezes energia do que a de asfalto;
- d) Há economia entre 30 a 60% de energia elétrica na iluminação pública e na sinalização, devido à cor mais clara dos pavimentos em concreto;
- e) O pavimento em concreto tem vida útil maior que o de asfalto, gerando menos rejeitos de manutenção, além do que, quando gerados são inteiramente recicláveis;

- f) O menor número de intervenções para manutenção gera redução de congestionamentos e, portanto, reduz o consumo de combustíveis e a emissão de gases pelos veículos;
- g) A diminuição nas intervenções de manutenção reduz os prejuízos ambientais;
- h) A maior durabilidade do pavimento reduz o tempo de viagem; e,
- i) A maior durabilidade do pavimento reduz o custo operacional.

A relação comparativa de preços da metodologia *Whitetopping* é apresentada na tabela a seguir e se demonstra vantajosa em relação ao concreto armado convencional e concreto simples.

Alternativa	Espessura da placa (cm)	R\$ / m²	R\$ / km
<i>Whitetopping</i>	16	135,00	472.500,00
Concreto armado convencional	20	400,00	1.400.000,00
Concreto simples	24	600,00	2.100.000,00

Tabela 1 - Custo total para escolha de um tipo de pavimento

Fonte: Elaborado pelos autores

O engenheiro e doutor em Pavimentação Alvarez Neto, propôs esta solução (*whitetopping*) para o Corredor de Ônibus Jabaquara-Ferrazópolis-São Mateus, no ano de 1987, que foi construído pela Companhia do Metropolitano de São Paulo; em 2015, no Corredor de Ônibus de Jundiaí, na avenida dos Imigrantes Italianos; e, depois, em São José dos Campos em corredor com 80 km. de extensão nos trechos referentes aos Corredores Andrômeda e Estrada Velha.

A metodologia proposta não foi executada no Corredor do Metrô e nos Corredores de Ônibus mais recentes das respectivas Prefeituras, que estão analisando o projeto *Whitetopping* como alternativa técnica viável para atingir as metas de tempo, custo e escopo presentes em seus respectivos Planos de Governo, Plano Diretor Estratégico e Plano Orçamentário.

3 MÉTODO

A metodologia qualitativa-descritiva baseou-se em:

- a) Pesquisa documental lastreada em leis, especificações e normas técnicas relacionadas a construção da pavimentação de vias públicas e, em particular, de corredores de ônibus urbanos sendo as principais: ETS-001/2003 que trata das Camadas de Reforço do Subleito, Sub-Base e Base Mista de Pavimento com Agregado Reciclado de Resíduos Sólidos da Construção Civil (DO de 20/03/2003) e a ETS-002/2009: Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto (DO de 11/06/2009).

- b) Revisão bibliográfica respeito da capacidade, custos e velocidade dos sistemas estruturais de média capacidade para o transporte de passageiros em zonas urbanas.
- c) Pesquisa laboratorial desenvolvida e experiência vivencial dos engenheiros Leônidas Alvarez Neto e Públio Penna Firme Rodrigues, que descrevem e pesquisam em detalhes e propõem a aplicação da metodologia *Whitetopping* para construção da pavimentação em corredores de ônibus urbanos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tecnicamente a alternativa proposta apresenta desempenho satisfatório, desde que a placa de concreto *whitetopping* esteja assentada sobre sub-base homogênea, quanto à capacidade suporte e quanto à geometria. Essas condicionantes exigem uma camada complementar à sub-base existente que terá a função de dar uma configuração geométrica adequada e homogeneizar o suporte da placa de *whitetopping*.

Os estudos realizados nos projetos em referência, sobretudo no projeto de São José dos Campos, nos Corredores Andrômeda e Estrada Velha, mostraram que, mesmo com essa camada de regularização, os custos de implantação ficaram abaixo dos custos das soluções que envolvem a demolição e construção integral de nova estrutura de pavimento de concreto, com a construção das camadas de reforço do subleito, de sub-base e da placa de revestimento.

Nos projetos convencionais, em muitas áreas, a demolição do pavimento existente para a implantação do pavimento de concreto obriga à reconstrução da fundação do pavimento, onerando ainda mais o custo da implantação da obra.

5 CONSIDERAÇÕES

A solução da placa em *whitetopping*, que não é tecnicamente inovadora, mas que pouco se aplicou em corredores de ônibus, configura-se como alternativa, em contrapartida às soluções de projeto usuais nesses corredores. Entende-se que a natural dificuldade em se adotar uma solução, que embora tecnicamente adequada, seja pioneira, é sempre difícil para o meio técnico. Porém, nesse caso, a velocidade de implantação, a segurança da qualidade final e a redução dos custos justificariam a decisão pelo *whitetopping*.

Realça-se ainda, questões para a não adoção da alternativa proposta:

- a) Reduzir os prazos de implantação da obra, eliminar os custos de transporte de materiais, minimizar os impactos ambientais e os custos extras de licença de bota-fora, interessa?
- b) Os atores envolvidos se preocupam em atingir os resultados melhores?
- c) Quais seriam os beneficiários e os prejudicados, do ponto de vista financeiro?

Essas questões importantes pairam sobre os contratantes (as Prefeituras), os projetistas, os contratados (os Empreiteiros), sobre todos os responsáveis, por insistirem em desprezar as soluções de engenharia disponíveis e detentoras de melhores resultados para os protagonistas envolvidos.

6 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ NETO, Leônidas. **Proposta de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, com a Utilização de Solos Tropicais**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997.
- BALLOU, R H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo: Bookman, 2006.
- BENEVOLO, Leonardo. **A História da Cidade. Tradução por Silvia Mazza**. São Paulo: Perspectiva. Traduzido de Storia Della Città. Roma, Itália: Laterza&FigliSpa, 1983.
- BERTAGLIA, P R. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- BOWERSOX, Donald J, CLOSS, David J. **Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2010.
- BOARETO, Renato. Brasília: Ministério das Cidades, 2004. Apostila.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria de Transportes e da Mobilidade Urbana. **Estatuto da mobilidade urbana: texto básico de fundamentação do anteprojeto de lei**. Brasília: Ministério das Cidades, 2 de maio 2005. Documento para discussão.
- _____. Ministério das Cidades. **Sistematização do seminário de mobilidade urbana em regiões metropolitanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2004.
- _____, Ministério das Cidades. **Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável: Princípios e Diretrizes**. Brasília, 2004.
- _____. **Construindo uma cidade acessível**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 172p.
- _____. Ministério das Cidades. **Planejamento territorial urbano e política fundiária**. Cadernos Cidades: programas urbanos. Brasília: Ministério das Cidades, 2004.
- _____. Ministério das Cidades. **Política nacional de mobilidade urbana sustentável**. Cadernos Cidades: programas urbanos Brasília: Ministério das Cidades, 2004.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria de Transportes e da Mobilidade Urbana. **A mobilidade urbana sustentável**. Texto para Seminário da Mobilidade Urbana no Brasil.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: criando redes que agregam valor**. 2ª ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- Diário Oficial do Estado de São Paulo. ETS-001/2003: **Camadas de Reforço do Subleito, Sub-Base e Base Mista de Pavimento com Agregado Reciclado de Resíduos Sólidos da Construção Civil** (DO de 20/03/2003);
- DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. ETS-002/2009: **Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto** (DO de 11/06/2009).
- GARCIA, Francisco. **Os desafios da mobilidade nas cidades brasileiras: tecnologias de ponta para novos projetos ferroviários**. Apresentação para 15ª Reunião intermediária dos ALAMYS. São Paulo: Junho/2008. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custo-medio-gerencial> . Acesso em maio de 2016.
- LEITE, P R. **Logística Reversa**. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2009.
- OLIVEIRA (1), Isabel Cristina Eiras de. **Estatuto da cidade: para compreender**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 2001.

- OLIVEIRA, Uarlem José de Faria. **Proposta de Implantação de Sistema de Transporte de Passageiros do Tipo Monotrilho na Região Metropolitana de Vitória**. Espírito Santo: IFES - Instituto Federal do Espírito Santo, 2012.
- PRINZ, Dieter. **Urbanismo I: projeto urbano**. Tradução: Luís Leão. Lisboa: Presença, 1984.
- _____. **Urbanismo II: configuração urbana**. Tradução: Luís Leão. Lisboa: Presença, 1984.
- SÃO PAULO. **Monotrilho Jardim Ângela – Santo Amaro: um novo sistema de média capacidade em São Paulo**. São Paulo: SPTRANS, 2010. 238p.
- SOUZA, Marcelo Lopes. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e a gestão urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.
- VASCONCELLOS, Eduardo. **O que é trânsito**. Editora: Brasiliense, 1992.
- _____. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas**. São Paulo: Annablume, 2002.
- VIEIRA, Glécia; VIZZONI, Ronaldo. **Como Construir *Whitetopping***. Revista TÉCNICA, setembro de 2005.