



VANTAGENS DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Infraestrutura, Mobilidade e Transporte

VANTAGENS DO PAVIMENTO DE CONCRETO

ENG^o ALEXSANDER MASCHIO & ENG^o MARCOS DUTRA DE CARVALHO



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP foi fundada em 1936 com o objetivo de promover estudos sobre o cimento e suas aplicações. É uma entidade sem fins lucrativos, mantida voluntariamente pela indústria brasileira do cimento, que compõe seu quadro de Associados. Reconhecida nacional e internacionalmente como centro de referência em tecnologia do cimento, a entidade tem usado sua expertise para o suporte a grandes obras da engenharia brasileira e para a transferência de tecnologia das mais diversas formas, a saber:

- Promoção de cursos de aperfeiçoamento e formação, seminários e eventos técnicos.
- Parceria com dezenas de universidades, escolas e instituições de pesquisa do país.
- Apoio às indústrias de produtos à base de cimento.
- Publicação de livros, revistas e documentos técnicos.

Desenvolvimento da Construção

A nova postura da indústria brasileira do cimento, posicionando-se estrategicamente como parte da extensa cadeia da construção civil, levou a ABCP – braço técnico da indústria – a rever atividades, a buscar colaborações mais intensas e diversificadas com os setores, elos e agentes que integram o conjunto que se convencionou chamar de Construbusiness. A atuação da ABCP, nesse sentido, tem sido maciça. Ela ocorre por meio de ações e parcerias que favorecem a oferta de produtos e sistemas altamente competitivos.

EXPEDIENTE

Gestão 2021-2023

Presidente: Engenheiro Civil Ricardo Rocha de Oliveira

Diretoria 2021

1º Vice-presidente: Engenheiro Agrônomo Clodomir Luiz Ascari

1º Diretor-administrativo: Engenheiro Civil José Carlos Dias Lopes da Conceição

2º Diretor-administrativo: Engenheiro Eletricista Brazil Alvim Versoza

1º Diretora-secretária: Engenheira Agrônoma Adriana Baumel

2º Diretor-secretário: Engenheiro Mecânico Carlos Alberto Bueno Rego

3º Diretor-secretário: Engenheiro Civil Rafael Fontes Moretto

1º Diretora-financeira: Engenheira Civil Maria Cristina Graf

2º Diretor-financeiro: Engenheiro Eletricista Marco Antônio Ferreira Finocchio

Jornalista responsável: Patrícia Coen Giannini – DRT/SP 3137

Revisão: Débora Pereira – DRT/PR 5476

Crea-PR

Rua Dr. Zamenhof, 35, Alto da Glória, Curitiba-PR, CEP 80030-320

Central de Informações 0800 041 0067

www.crea-pr.org.br

www.agendaparlamentar.crea-pr.org.br

facebook.com/creapr

twitter.com/crea_pr

instagram.com/creaparana

linkedin.com/company/creaparana

youtube.com/creaparana

Assessoria de Comunicação Social

(41) 3350-6922 / 3350-6934 / 3350-6877

E-mail: comunicacao@crea-pr.org.br

APRESENTAÇÃO

A missão do Crea-PR é valorizar as profissões das Engenharias, da Agronomia e das Geociências, e seu exercício ético. Para isso, todas as ações realizadas incluem os valores do Conselho: ética, foco em resultados, compromisso com a excelência, gestão participativa, interesse público, respeito, desenvolvimento e valorização das pessoas.

Por esses princípios o Crea-PR procura contribuir, orientar e auxiliar a sociedade em geral em temas importantes e relevantes que tenham relação com as profissões regulamentadas pelo Conselho. As publicações temáticas, que integram o Programa da Agenda Parlamentar do Crea-PR, são apresentadas em forma de Cadernos Técnicos, desenvolvidos por profissionais ligados a Entidades de Classe e Instituições de Ensino de todo o estado. A Agenda Parlamentar é um Programa de contribuição à gestão pública na formulação e implementação de políticas públicas municipais, regionais e estaduais, desenvolvida por meio da parceria do Crea-PR com as Entidades de Classe e Instituições de Ensino das áreas das Engenharias, Agronomia e Geociências do Paraná.

Os Cadernos Técnicos oferecem uma visão técnica da situação real e da legislação vigente, que pode ser utilizada como material de apoio a órgãos da administração pública com o objetivo final de melhorar a qualidade de vida da população.

Aproveitamos a oportunidade para colocar o Crea-PR e suas Entidades de Classe vinculadas à disposição dos gestores públicos no auxílio e assessoramento técnico necessário para a implantação das soluções apresentadas neste Caderno Técnico.

Boa leitura!

Eng. Civ. Ricardo Rocha de Oliveira
Presidente do Crea-PR

SUMÁRIO

06

01
Introdução

06

02
Vantagens do pavimento
de concreto

16

03
Técnicas do projeto

19

04
Técnicas de execução e
controle de obras

26

4.1
Execução de pavimento
de concreto em vias urbanas

30

05
Conforto de rolamento

32

06
Normalização

33

07
Considerações finais

34

08
Exemplos

44

09
Referências

01

INTRODUÇÃO

Em uma de suas citações recentes, o Pós-Doutor em Urbanismo pela Universidade da Califórnia, Carlos Leite, enfatiza: “O século XIX foi dos impérios e o XX, das nações. O século XXI é o das cidades”, afirmação essa que reverbera quando atenta-se para o movimento que vem ocorrendo nas últimas décadas e que atinge seu auge nos dias atuais, onde um país que era majoritariamente rural apresenta mais de 80% de sua população habitando o meio urbano (PlanMob 2015).

Claramente, as condições de infraestrutura dos municípios não foram incrementadas de forma proporcional a essa explosão populacional ocorrida no meio urbano que, agravadas agravadas ainda por um incentivo descabido e desregulado à indústria automobilística, traduz-se hoje numa série de problemas de mobilidade, inclusive para municípios pequenos. Segurança, saúde, saneamento, drenagem, arborização dentre muitos outros, também são aspectos diretamente afetados por essa intensa e despreparada ocupação do meio urbano, impactando diretamente para a piora na qualidade de vida dos cidadãos.

Em comum, todos os aspectos acima citados estão inclusos no contexto das vias urbanas nas quais certamente o pavimento tem um papel fundamental. Não simplesmente uma análise das alternativas mais econômicas, mas sim uma mudança conceitual se faz necessária e certamente a solução em concreto tem muito a contribuir para este fim.

02

VANTAGENS DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Os pavimentos de concreto apresentam uma série de vantagens quando comparados a outras soluções de pavimentação, dentre as quais destacam-se:

Grande durabilidade com pouca manutenção

- Vida útil significativamente maior que o flexível, implicando menor geração de resíduos que ainda são inteiramente recicláveis.
- Menor número de intervenções para manutenções que propicia redução de congestionamentos e resulta, consequentemente, em um menor consumo de combustíveis e grande redução de emissões de gases poluentes.





Sem buracos (deformações)

- O pavimento de concreto, por ser rígido, não sofre deformação plástica, afundamentos, trilhas de roda ou buracos.

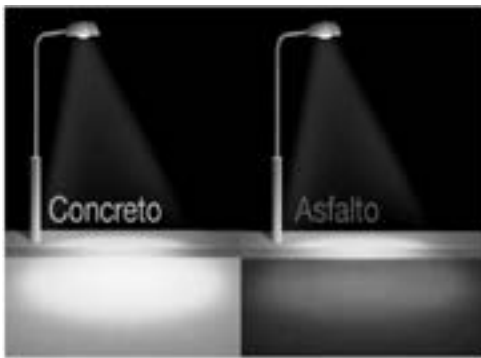


Melhor visibilidade por reflexão e economia de energia elétrica

- Até 30% a mais de reflexão de luz (Stark, Road Surfaces Reflectance Influences Lighting Design, Lighting Design and Application)
- Produção do concreto consome 3 a 4 vezes menos energia que a de asfalto.
- Economia de 30 a 60% de energia elétrica na iluminação pública e na sinalização em virtude da cor mais clara dos pavimentos em concreto. (Pace e Becker, Costo de Pavimentos a lo Largo de su Vida Útil, Buenos Aires, 1999).



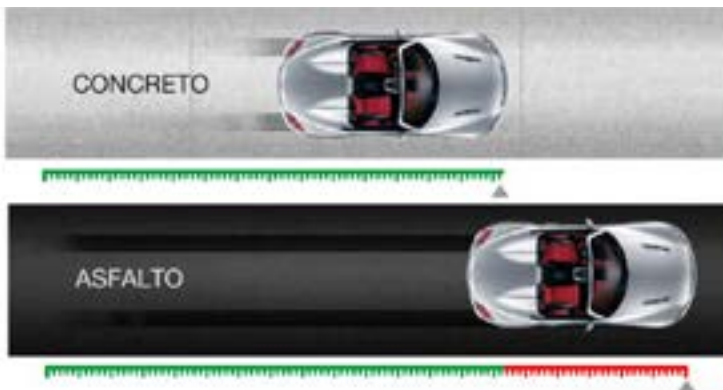
- Considerável contribuição para a melhoria da segurança pública visto a reduzida iluminação dos espaços ser um fator preponderante para a ação de criminosos.



Fonte: Road Surface's Reflectance Influences Lighting Design". RP 269.01P, R. E.

Incremento na Segurança Viária

- Redução na distância de frenagem de até 40%, proporcionando maior segurança viária nas cidades e conseqüente redução de acidentes.



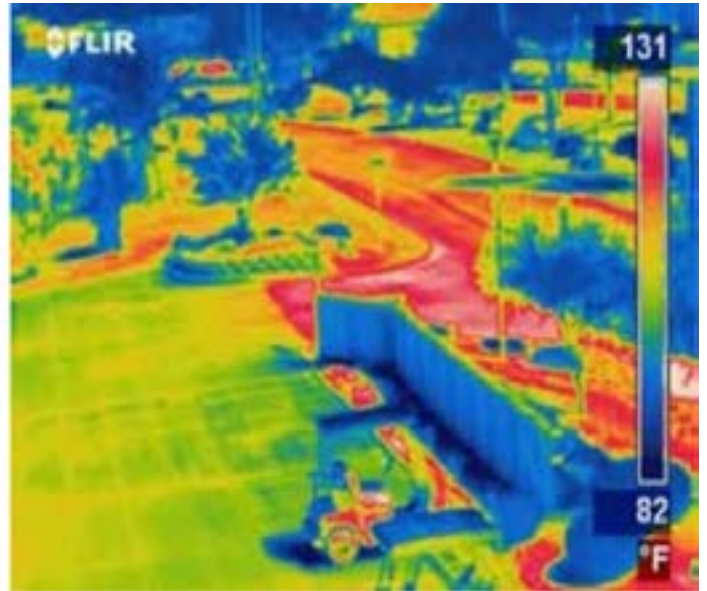
Distâncias Comparadas	Distância de Frenagem (m)		
	Concreto	Asfalto	A.C. %
Seca e Nivelada	50	58	16%
Úmida e Nivelada	96	109	14%
Úmida com Triha de Roda	96*	134	40%

(Ruhl, R.L., Safety Considerations of Rutted and Washboarded Asphalt Road)

Melhoria da Sensação Térmica (Redução do efeito "Ilha de Calor")

- Superfície clara contribui para a redução da temperatura ambiente (cerca de 5°C), proporcionando maior conforto ambiental, redução de gastos com ar condicionado (reduzindo assim a poluição ambiental) e impacto direto na regulação de chuvas. "Heat Island Group" EUA Cool Communities





Contra o calor, Los Angeles faz asfalto mimetizar concreto

Cidade dos EUA combate altas temperaturas com tecnologia que reduz a absorção do calor causada pelos pavimentos

14

[Corta](#) [Compartilhar](#) [Compartilhar](#) [Temas](#) [Compartilhar](#) [+ Mais](#)



Além do programa CoolSeal, que pinta as ruas de Los Angeles em tons cinza claro, Los Angeles também pesquisa pavimentos de concreto que não retenham o calor. Crédito: Prefeitura de Los Angeles

Los Angeles, na Califórnia-EUA, já se prepara para o verão 2019 e prevê temperaturas superiores a 40 °C no auge da temporada. Cercada por deserto, e com grande quantidade de ruas asfaltadas, a principal cidade do oeste dos Estados Unidos é um paraíso para as chamadas “ilhas de calor”. Há pontos em que a temperatura se eleva até 10 °C acima do que, de fato, marcam os termômetros oficiais. Para minimizar esse efeito, a prefeitura de Los Angeles está testando pintar as ruas asfaltadas com tinta cinza claro. A ideia é mimetizar o **efeito causado pelo pavimento de concreto**, que não absorve tanto o calor quanto o asfalto e, conseqüentemente, reduz o impacto das “ilhas de calor” (UHI, do inglês urban heat island).

O programa foi batizado de **CoolSeal** (selo fresco, na tradução literal) e deve se manter pelos próximos 20 anos. Ele inclui também a **substituição do asfalto pelo concreto** em vias mais movimentadas, e que recebem tráfego pesado. A meta é reduzir em 2 °C a temperatura de Los Angeles, até 2039. Para o departamento de manutenção de ruas da prefeitura da cidade, os resultados têm sido animadores. Em algumas ruas onde foi aplicado o CoolSeal, a temperatura do pavimento ficou até 9 °C mais baixa. A tinta usada foi inicialmente desenvolvida para a indústria de defesa dos Estados Unidos, que buscava reduzir a temperatura das pistas de decolagem para impedir que satélites espões usassem raios infravermelhos para localizar aviões.

“BBC Los Angeles - setembro/2017
<https://www.bbc.com/portuguese/geral-41440507>

A influência benéfica do concreto é relatada ainda no artigo “Concrete roads help cities reduce the heat”, publicado pelo “The Salt Lake Tribune”, dos EUA, em que mostra uma redução de até 14 °C na temperatura medida na superfície do pavimento de concreto, em relação àquelas medidas na superfície de pavimentos de cor mais escura, valor similar aos já obtidos aqui no Brasil.

O pavimento de concreto é um aliado efetivo da produção ambiental, por motivos diversos, quais sejam:

- Não aumenta a temperatura do ar (recebe o calor e o dissipa rapidamente, enquanto o asfalto o absorve e conserva); reduz a temperatura ambiente cerca de 5 °C e a temperatura próxima à superfície de cerca de 14 °C;
- É totalmente reciclável ao fim de sua vida útil;
- A estrutura do pavimento de concreto necessária para atender uma solicitação de tráfego é menor que a correspondente em outra alternativa, resultando em menor agressão ao meio ambiente e menor consumo de agregados naturais a ser extraídos da natureza.
- A inexistência do fenômeno de lixiviação no concreto reforça a sua condição de ambientalmente amigável, pois não promove a ocorrência de águas percoladas capazes de contaminar o lençol freático ou de águas superficiais capazes de contaminar cursos d’água ou mananciais.
- O cimento portland, seu principal componente, agrega valor a subprodutos industriais que não teriam uso prático senão de ser incorporado na fabricação do cimento, utilizando-os como substitutos de combustíveis (pneus inservíveis, óleos usados, solventes, graxas, etc),

substitutos de matéria-prima (areia de fundição, gesso, etc) ou como adições (fíler calcário, escórias de alto-forno, cinzas volantes de termelétricas, gesso sintético, etc).

- A constante preocupação ambiental por parte da indústria cimenteira nacional, principalmente com relação à redução de emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, mormente o CO₂, faz com que produza cimentos com adições, com substituição parcial de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e, ainda, com um dos menores fatores clínquer/cimento do mundo (razão entre consumo de clínquer e produção de cimento), constituindo-se referência mundial nesse campo.
- O pavimento de concreto permite significativa economia de combustível e redução na emissão de gases geradores do efeito estufa pela frota circulante, conforme mostrado no trabalho “Green Highways - Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements”, da American Concrete Pavement Association (ACPA), dos EUA, ilustrado na figura.

REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E DE EMISSÕES

Table 2. Yearly potential savings in cost, CO₂, NO_x, and SO₂ for a typical major arterial highway

Fuel Savings (%)	Fuel Saved [gal (l)]	Fuel Cost Saved (dollars)	CO ₂ [tons (metric tons)]	NO _x [lb (kg)]	SO ₂ [lb (kg)]
Minimum: 0.80	99,500 (377,000)	\$298,000	1,150 (1,040)	25,900 (11,700)	3,280 (1,490)
Average: 3.85	479,000 (1,810,000)	\$1,430,000	5,510 (5,000)	125,000 (56,700)	15,800 (7,170)
Maximum: 6.90	858,000 (3,250,000)	\$2,570,000	9,880 (8,960)	224,000 (102,000)	28,300 (12,800)

Note: CO₂ = carbon dioxide equivalent (includes carbon dioxide, methane, and nitrous oxide), NO_x = nitrogen oxides, SO₂ = sulfur dioxide.

Economia anual de combustível e redução na emissão de gases geradores do efeito estufa proporcionadas por uma frota de 20.000 veículos por dia, sendo 15% de veículos pesados, do tipo reboque (Tractor-trailer), trafegando em uma rodovia pavimentada com concreto (whitetopping ou obra nova), com 100km de extensão, conforme a ACPA/EUA.

A ecoeficiência do pavimento de concreto foi demonstrada no trabalho “Estradas de concreto: Durabilidade, economia, segurança e menos impacto ambiental”, desenvolvido pela Votorantim Cimentos, com base no estudo feito pela Fundação Espaço Eco, a partir do conceito de Análise de Ciclo de Vida, que indica que o pavimento de concreto é 13% mais ecoeficiente que o pavimento asfáltico, para um período de análise de 20 anos. Esse trabalho relata que nas etapas de construção e manutenção da rodovia o concreto gera menos impactos que o asfalto em cinco das dez categorias de impacto ambiental analisadas. Destaca a economia de 20% de recursos naturais e a redução de 56% na toxicidade analisadas. Destaca a economia de pavimento de concreto. Mostra ainda que os impactos gerados pelos gases de efeito estufa, nas etapas de construção e manutenção do pavimento, são compensados em 5 anos de uso das estradas de concreto.

Vantagens Ambientais

- O principal insumo do concreto é o cimento.
- O cimento contribui com o meio ambiente por meio do co-processamento de resíduos e das adições na sua produção.
- Co-processamento: Destruição térmica de resíduos industriais indesejáveis, com alto poder energético (valor calorífico) em fornos de cimento, sem prejudicar a qualidade final do produto. Substituto de combustível. (Ex.: Pneus inservíveis, óleos usados, solventes, etc).
- Adições: Aproveitamento de resíduos industriais na composição do cimento, dando-lhe características técnicas especiais: durabilidade das estruturas, resistência aos meios agressivos, etc. (Escória siderúrgica, cinza volante e pozolanas).

- Através do co-processamento um pavimento de concreto consome até 6x mais pneus inservíveis do que um asfalto borraça, vide exemplo do Arco do Rio de Janeiro:

Pavimento Flexível



Consumo de pneus/km: 1.582

Pavimento de Concreto



Consumo de pneus/km: 8.467

Em virtude das diversas vantagens ambientais e relativas a durabilidade e segurança alguns países da América Latina já vem utilizando os pavimentos de concreto há muitos anos como solução para ambientes urbanos, como é o caso da Argentina, onde facilmente encontramos regiões com pavimentos de idade superior a 50 anos e que nunca sofreram qualquer tipo de manutenção.

Dada a atual competitividade do custo do cimento em relação ao asfalto, esta situação tem se intensificado ainda mais proporcionando a utilização das soluções em concreto na maioria dos países americanos (Chile, México, Guatemala, Equador, Colômbia, Peru, Uruguai, Argentina, Paraguai, Panamá).

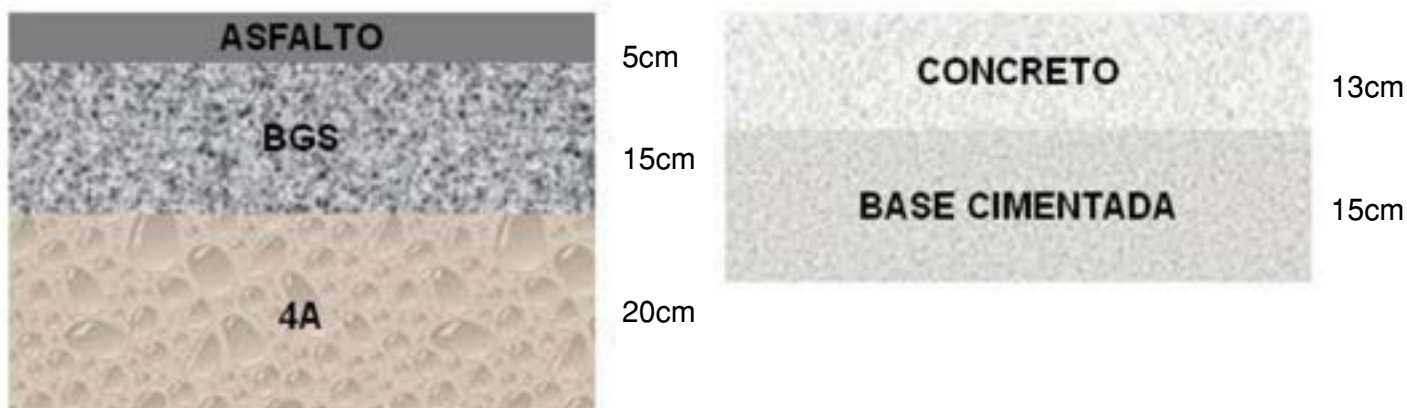
Para a análise de competitividade em questão utilizou-se como referência a pavimentação dos loteamentos São João e Jardim Planalto na cidade de Contenda.

Levou-se em consideração para efeito de dimensionamento do pavimento de

concreto os parâmetros de tráfego e solo considerados no dimensionamento do pavimento asfáltico, sendo o tráfego $N = 1,0 \times 10^6$ e o índice de suporte do solo $IS = 8,3$.



Esses parâmetros resultaram nas seguintes soluções de pavimento:



Calculando-se os custos totais para pavimentação dos loteamentos de acordo com essas soluções, conforme tabela do ParanáCidade, chega-se aos seguintes custos de implantação:

R\$ 1.793.480,61
R\$/m ² 111,61

R\$ 1.336.052,93	-34,2%
R\$/m ² 83,14	

Incluindo-se as despesas de manutenção e reconstrução (quando necessárias) ao longo do tempo, visto principalmente à diferença de vida útil consideradas no dimensionamento, temos os seguintes montantes:

Manutenção em 20 anos (sob condições normais)
Execução de remendos e tapa-buraco em 2% da área pavimentada, com manutenção rotineira e recapeamento no ano 10.
R\$ 998.290,18

Manutenção em 20 anos (sob condições normais)
Demolição e reconstrução de 10% a 15% das placas de concreto.
R\$ 294.319,89

Incluindo-se então os dados relativos à manutenção, temos ao longo de 20 anos os seguintes investimentos necessários:

	ASFALTO	CONCRETO	
IMPLANTAÇÃO	R\$ 1.793.480,61	R\$ 1.336.052,93	- 34,2%
MANUTENÇÃO	R\$ 998.290,18	R\$ 294.319,89	
CUSTO TOTAL	R\$ 2.791.770,79	R\$ 1.630.372,82	- 71,2%

As manutenções neste consideradas são estimadas de acordo com critérios técnicos e experiências reais e podem variar conforme o incremento de tráfego e outras características que impactem o pavimento e sua estrutura.

Os valores considerados referem-se apenas à pavimentação, excluindo-se portanto itens de drenagem, paisagismo, calçada e afins.

A seguir, estão apresentadas diversas outras vantagens dos pavimentos de concreto além da competitividade econômica.

Estudo elaborado pelo especialista argentino e doutor em pavimentação, Edgardo

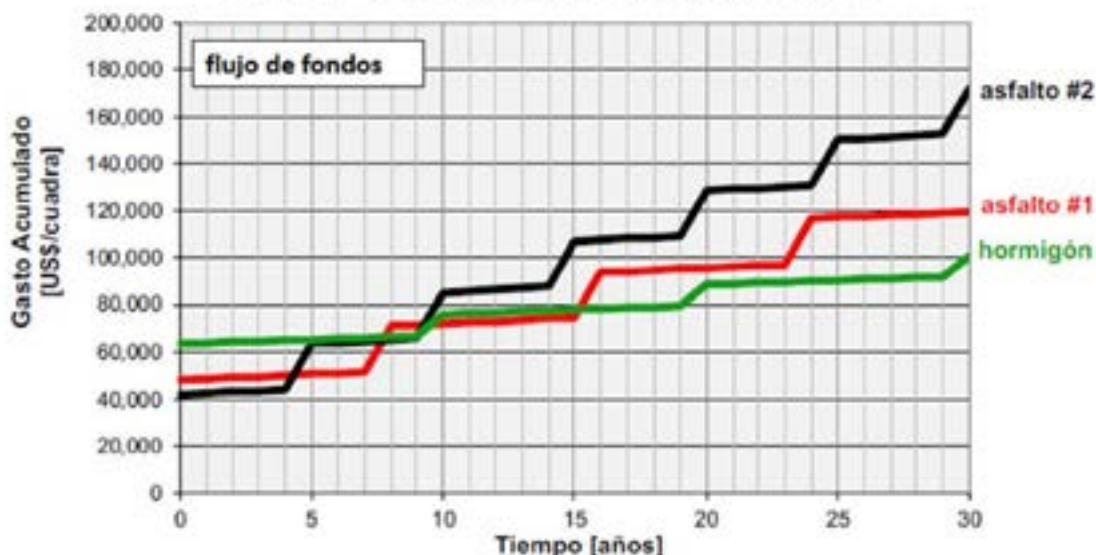
Becker, demonstra que em virtude das vantagens técnicas dos pavimentos de concreto (principalmente durabilidade e pequena manutenção) em comparação a soluções em asfalto, pode-se obter um melhor retorno do investimento público no longo prazo atingindo-se patamares de até 52% a mais de vias pavimentadas em um mesmo período com o mesmo recurso.

Vale enfatizar ainda que o mencionado estudo é de 2011 desenvolvido para a realidade argentina e que, se considerarmos as condições atuais de custos do asfalto no Brasil certamente o resultado positivo para o pavimento de concreto será muito mais expressivo.



Fuente: E. Becker, 2011. Análisis de Costos de Ciclo de Vida de Pavimentos Urbanos

Mejor desempeño a Largo Plazo



Fuente: E. Becker, 2011. *Análisis de Costos de Ciclo de Vida de Pavimentos Urbanos*

03

TÉCNICAS DO PROJETO

Mostram-se a seguir procedimentos técnicos recomendados para a elaboração do projeto e a execução e o controle de obras de pavimentação de concreto destinadas a rodovias e vias urbanas.

As obras de pavimentação de concreto deverão ser licitadas com o Projeto Executivo de Pavimentação, o qual deverá conter todos os elementos de projeto necessários à sua adequada execução.

O Projeto Executivo de Pavimentação, elaborado por empresa especializada, deverá contemplar os estudos e documentos técnicos descritos a seguir:

- Estudos de tráfego, com definição da frota completa de veículos que solicitará o pavimento, durante o período de projeto de 20 anos.
- Estudos geotécnicos da fundação, com identificação do nível do lençol freático.

- Estudos de geometria e traçado da via.

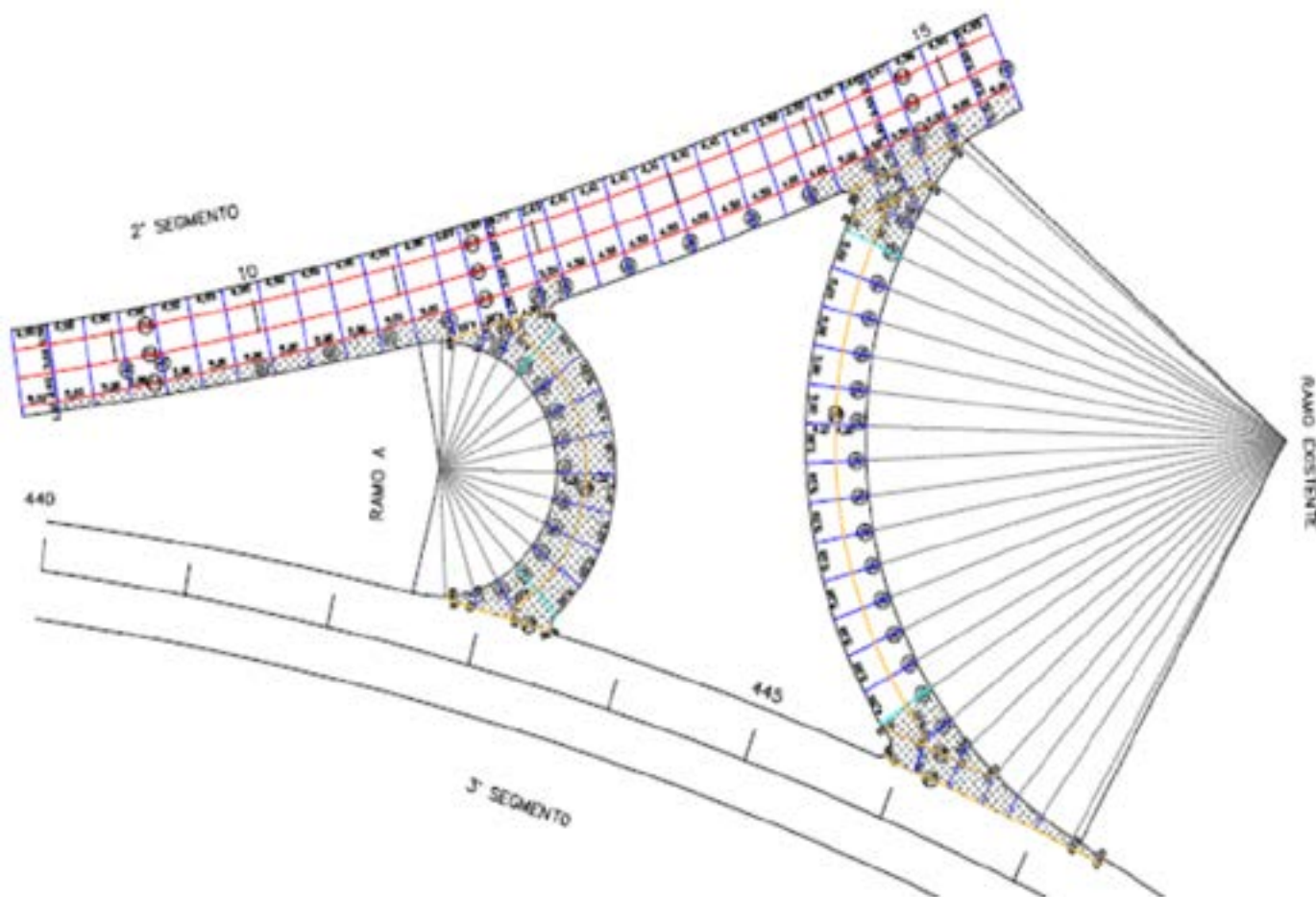
- Memória de cálculo do pavimento rígido pelo método da Portland Cement Association (PCA), dos EUA, de 1984, conhecido como Método da PCA/84. Esse método considera como critérios de ruptura da estrutura do pavimento a fadiga da camada de concreto de cimento portland e os danos causados pela erosão das camadas subjacentes. O cálculo da espessura da placa é função do comportamento desta com relação à ruína por esses dois critérios. Além dos parâmetros discutidos anteriormente, o tráfego, a utilização ou não de barras de transferência e a existência ou não de acostamento de concreto também são fatores fundamentais que afetam o dimensionamento. A metodologia de cálculo e os conceitos utilizados no dimensionamento são detalhados no trabalho "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements", da Portland Cement Association (PCA), dos EUA, de 1984, no Estudo Técnico da ABCP "ET-97 - Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto Pelo Método da PCA/1984", e no Manual de Pavimentos Rígidos, do DNIT, de 2005. A memória de cálculo deverá conter ainda a definição dos tipos, características

tecnológicas e espessuras das camadas constituintes da estrutura. Apesar do método da PCA/84 ser o mais comum, existem outros métodos de dimensionamento consolidados (AASHTO, OPTIPAVE, PAVEMENTDESIGNER, entre outros), que podem ser igualmente utilizados, conforme avaliação do projetista no que diz respeito às variáveis contempladas em cada um deles.

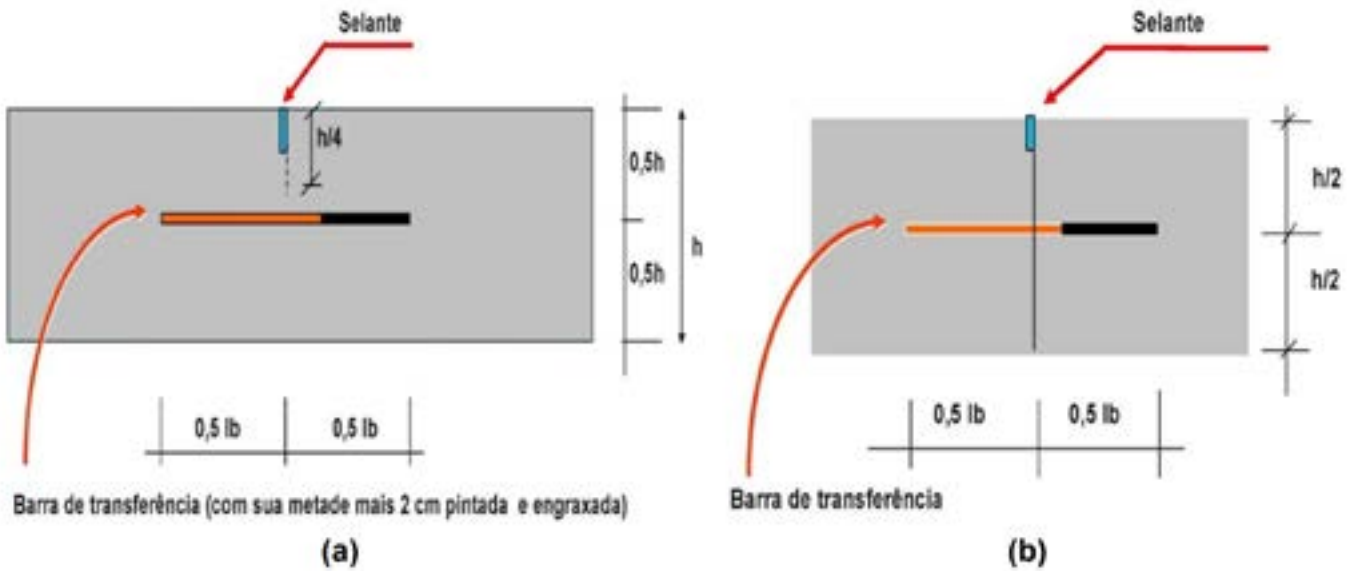
- Projeto geométrico de pavimentação, incluindo traçado em planta, perfis longitudinais e seções transversais, com indicação de caimentos transversais e longitudinais.
- Projeto geométrico de distribuição de placas e detalhamento de todos os tipos de juntas do pavimento, quais sejam: juntas transversais de retração, com barras de transferência, juntas transversais de construção, com barras de transferência,

juntas longitudinais de articulação, com barras de ligação, juntas longitudinais de construção de topo, com barras de ligação, juntas transversais de transição entre o pavimento rígido e flexível, juntas longitudinais de transição entre pavimento rígido e flexível, juntas de expansão, com barras de transferência, e juntas especiais, se houver necessidade.

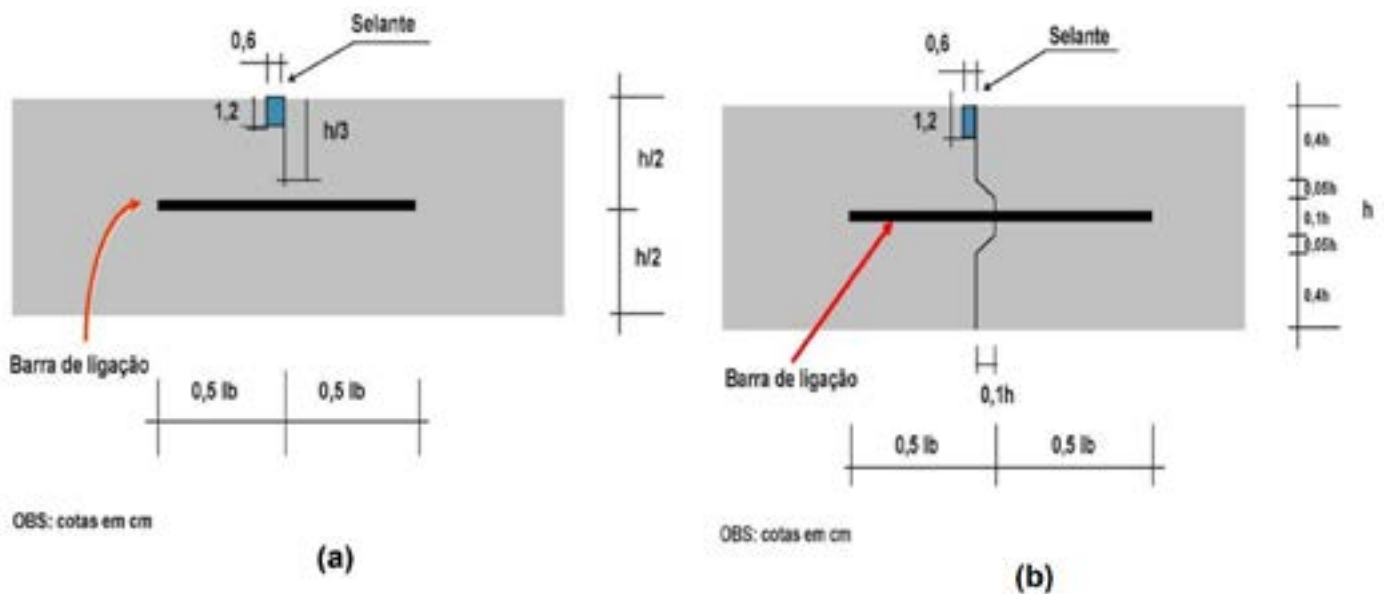
- Todas as juntas devem ser mostradas em planta, na escala 1:250 ou 1:500, e em corte, com detalhes elucidativos, incluindo o detalhamento dos reservatórios de selagem. As figuras a seguir ilustram um exemplo típico de projeto geométrico de distribuição de placas, em planta, bem como os tipos usuais de juntas de pavimentos de concreto, conforme mostrado no Capítulo 40 - Pavimentos Viários de Concreto, do livro Concreto: Ciência e Tecnologia, do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), de 2012.



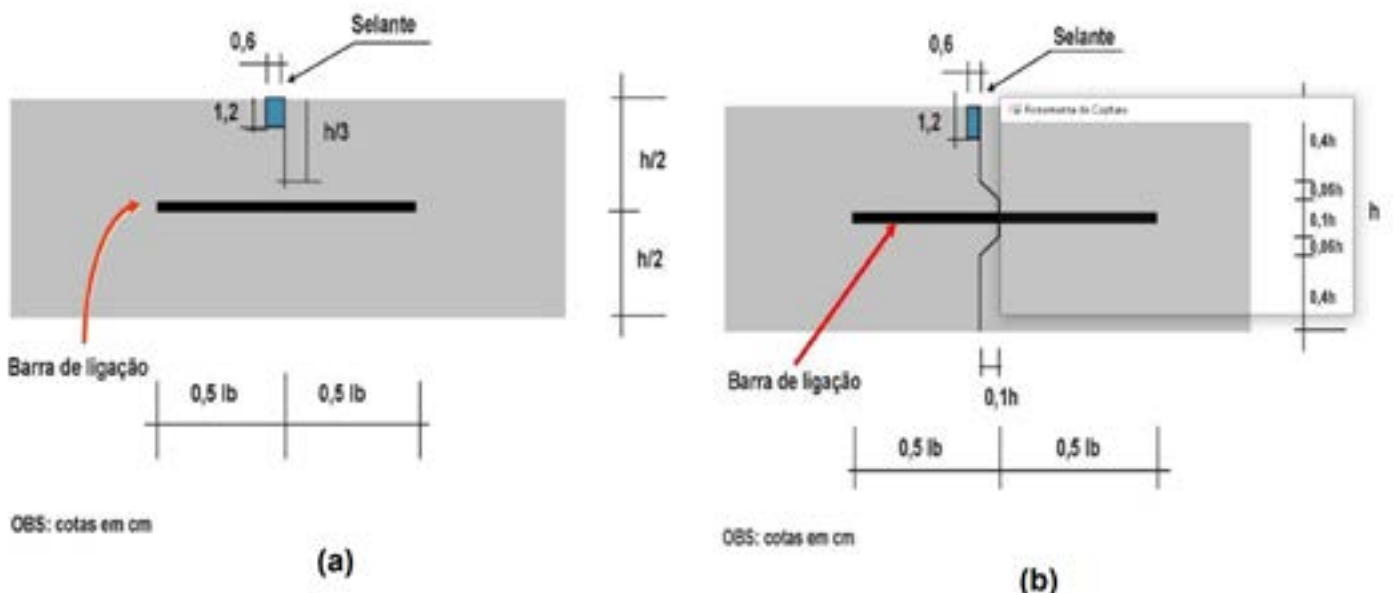
Exemplo típico de projeto geométrico de distribuição de placas, em planta. (Carvalho, M.D. - Livro: Concreto: Ciência e Tecnologia, IBRACON, Capítulo 40 - Pavimentos Viários de Concreto, 2012).



Junta transversal de retração, serrada, com barras de transferência (a); Junta transversal de construção, de topo, com barras de transferência (b).



Junta longitudinal de articulação, serrada, com barras de ligação (a); Junta longitudinal de construção, de encaixe macho-fêmea, com barras de ligação.



Junta de expansão, em encontro com estruturas (a); Juntas de expansão, com barras de transferência (b).

- Devem ser estudadas, na fase de projeto, as larguras mínimas de plataforma necessárias para a operação segura dos equipamentos de pavimentação, mormente no caso das vibroacabadoras de formas deslizantes, por serem equipamentos de grande porte e pesados, tanto para os trechos em tangente como para os trechos em curva.

- É importantíssimo o detalhamento do Projeto de Drenagem do Pavimento, parte integrante do Projeto Executivo de Engenharia.

04

TÉCNICAS DE EXECUÇÃO E CONTROLE DE OBRAS

Os procedimentos de execução e de controle de obra deverão estar em conformidade com as normas vigentes no país, com especial atenção às normas DNIT 049/2013 - ES - Pavimento rígido - Ex-

ecução de pavimento rígido com equipamento de forma deslizante, para a execução com vibroacabadora de formas deslizantes, DNIT - 048/2004 - ES - Pavimento rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de forma-trilho, para execução com equipamento operando sobre formas fixas, do tipo acabadora de rolo, e a DNIT - 047/2004 - ES - Pavimento rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte, para equipamento operando sobre formas fixas, do tipo régua vibratória.

Detalhes da execução passo a passo do pavimento de concreto com equipamentos de grande, médio e de pequeno porte estão descritos no Capítulo 40 - Pavimentos Viários de Concreto, do livro "Concreto: Ciência e Tecnologia, do IBRACON, aqui já citado.

As figuras a seguir ilustram resumidamente a sequência de execução dos pavimentos de concreto com vibroacabadoras de formas deslizantes, quais sejam: lançamento, espalhamento, adensamento, acabamento, texturização e cura do concreto, seguidos de serragem e selagem das juntas.



(a)



(b)

Lançamento (a) e espalhamento do concreto (b).



(a)



(b)

Adensamento (a) e acabamento do concreto (b).



(a)



(b)

Texturização (a) e cura do concreto (b).



(a)

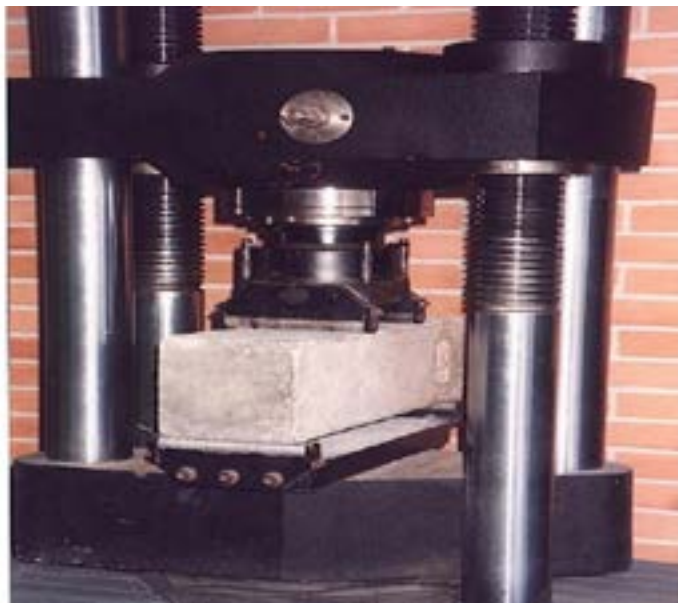


(b)

Serragem (a) e selagem (b) das juntas.

Com relação às características tecnológicas do concreto a ser utilizado na pavimentação, recomenda-se que atendam aos seguintes requisitos:

- O concreto deverá ser dosado por método experimental, de modo a atender à resistência característica à tração na flexão ($f_{ctM,k}$) medida aos 28 dias, estipulada em projeto.
- A resistência à tração na flexão deve ser determinada em corpos de prova prismáticos, confeccionados e curados conforme as normas ABNT NBR 5738:2016 e ABNT NBR 12142:2010, utilizando-se o carregamento nos terços médios do corpo-de-prova, com dois cutelos, como ilustrado na figura.



Ensaio de resistência à tração na flexão, em corpos de prova prismáticos, com carga aplicada nos terços médios, por meio de dois cutelos, segundo a norma ABNT NBR 12142:2010.

- O consumo mínimo de cimento deverá ser de 350 kg/m³, a ser definido quando da dosagem racional do concreto, em função da resistência à tração na flexão especificada em projeto.
- A relação água/cimento deverá ser menor ou igual a 0,50.
- A consistência do concreto será medida

pele Ensaio de Abatimento, conforme a norma ABNT NBR NM 67:1998. O abatimento do concreto será função do equipamento vibroacabador.

- A dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve exceder 1/3 da espessura da placa do pavimento, ou 38 mm, obedecido o menor valor.

- O teor de ar incorporado, determinado conforme a norma ABNT NBR NM 47:2002, deve ser menor ou igual a 4%.

Além dos procedimentos de execução e de controle de obra descritos nas normas aqui citadas, devem ser seguidas as recomendações a seguir mostradas.

- A sub-base deverá estar o mais nivelada e regularizada possível, dentro de rigorosas especificações de execução e de controle topográfico, de modo que não interfira na operação do equipamento vibroacabador e na qualidade final do pavimento. O controle topográfico deverá gerar o Plano Cotado da sub-base, com as devidas correções das cotas de execução do pavimento de concreto, de

modo a garantir a espessura da camada definida em projeto. A principal característica do Plano Cotado é que a partir do levantamento das cotas das seções transversais da camada executada, torna-se possível compará-las com as cotas de projeto da nova camada, superior, a ser construída, e por diferença dessas cotas, verificar quais seriam as espessuras dessa nova camada, nos diversos pontos escolhidos nas seções transversais. No caso da existência de pontos com espessuras executáveis inferiores à de projeto, é possível definir um fator de correção de cotas que altera o greide da nova camada acabada, de modo a restabelecer e garantir a espessura de projeto dessa camada, conforme exemplificado nas figuras.

Placa - Espessura Estimada (m)					Placa - Espessura Corrigida (m)					
LE + 4,10	LE + 2,05	CENTRO	LD + 2,05	LD + 4,10	Correção	LE + 4,10	LE + 2,05	CENTRO	LD + 2,05	LD + 4,10
0,221	0,218	0,219	0,217	0,236	0,015	0,236	0,233	0,234	0,232	0,251
0,226	0,223	0,211	0,219	0,237	0,015	0,241	0,238	0,226	0,234	0,262
0,226	0,227	0,219	0,220	0,228	0,015	0,241	0,242	0,234	0,235	0,243
0,218	0,215	0,206	0,215	0,232	0,015	0,233	0,230	0,221	0,230	0,247
0,207	0,211	0,206	0,213	0,232	0,015	0,222	0,226	0,220	0,228	0,247
0,200	0,206	0,206	0,215	0,232	0,015	0,218	0,221	0,220	0,230	0,247
0,198	0,198	0,203	0,207	0,226	0,015	0,214	0,213	0,218	0,222	0,241
0,200	0,206	0,196	0,200	0,215	0,015	0,218	0,220	0,211	0,218	0,230
0,201	0,201	0,200	0,207	0,216	0,015	0,216	0,216	0,215	0,222	0,231
0,206	0,206	0,206	0,207	0,212	0,015	0,223	0,223	0,220	0,222	0,227
0,208	0,218	0,213	0,214	0,214	0,015	0,223	0,233	0,228	0,229	0,229
0,206	0,211	0,211	0,215	0,222	0,015	0,223	0,226	0,226	0,230	0,237
0,206	0,206	0,210	0,216	0,223	0,015	0,220	0,223	0,225	0,231	0,238
0,198	0,216	0,217	0,228	0,235	0,015	0,214	0,231	0,232	0,243	0,250
0,220	0,224	0,231	0,227	0,232	0,015	0,235	0,239	0,246	0,242	0,247
0,206	0,217	0,217	0,215	0,229	0,015	0,221	0,232	0,232	0,230	0,244

Plano Cotado - Quadro indicativo da correção necessária das cotas de projeto para se garantir a espessura de projeto durante a execução.

ESTACA		Placas - Cotas Corrigidas (m)				
		LE + 4,10	LE + 2,05	CENTRO	LD + 2,05	LD + 4,10
721	4	47,884	47,925	47,966	48,007	48,048
721	10	47,871	47,912	47,953	47,994	48,035
721	16	47,858	47,899	47,940	47,981	48,022
722	2	47,845	47,886	47,927	47,968	48,009
722	8	47,832	47,873	47,914	47,955	47,996
722	14	47,820	47,861	47,902	47,943	47,984
723	0	47,807	47,848	47,889	47,930	47,971
723	6	47,795	47,836	47,877	47,918	47,959
723	12	47,782	47,823	47,864	47,905	47,946
723	18	47,770	47,811	47,852	47,893	47,934
724	4	47,758	47,799	47,840	47,881	47,922
724	10	47,745	47,786	47,827	47,868	47,909
724	16	47,732	47,773	47,814	47,855	47,896
725	2	47,720	47,761	47,802	47,843	47,884
725	8	47,707	47,748	47,789	47,830	47,871
725	14	47,695	47,736	47,777	47,818	47,859

Plano Cotado - Quadro indicativo das cotas já corrigidas, para a execução do pavimento de concreto, de modo a se garantir a espessura de projeto.

- A espessura do pavimento de concreto é parâmetro fundamental para a garantia da durabilidade da estrutura, bem como a resistência característica à tração na flexão ($f_{ctM,k}$) do concreto. Assim, tanto a resistência mecânica quanto a espessura do pavimento de concreto estipuladas em projeto deverão ser atendidas ao longo de toda a obra, com as tolerâncias admitidas pelas normas vigentes, aqui já citadas.



Moldagem de corpos de prova prismáticos, para determinação da resistência à tração na flexão do concreto.

- É de suma importância o controle tecnológico da obra como um todo. Para tanto devem ser utilizados laboratórios adequadamente equipados, capazes de permitir a execução de todos os ensaios previstos nas especificações de controle de obra, desde a terraplanagem até a camada final de concreto simples, constantes do projeto executivo de engenharia. A figura ilustra a moldagem de corpos de prova prismáticos para a determinação da resistência à tração na flexão do concreto.

- A cura do concreto deverá ser a mais rigorosa possível, com o emprego de produtos químicos líquidos, capazes de formar película plástica, que atendam à norma ASTM C 309-11 - Standard specification for liquid membrane forming compounds for curing concrete, numa taxa variando entre 0,35 l/m e 0,50 l/m, definida pelo fabricante e aprovada pela Fiscalização, conforme ilustrado na figura.



(a)



(b)

Aplicação de cura química por processo mecânico (a) e manual (b).

• Devem ser tomados cuidados redobrados com o tempo e o plano de serragem, além da profundidade de corte das juntas transversais e longitudinais, de modo que se evitem as indesejáveis fissuras transversais e longitudinais fora das juntas. O número de serras de disco disponíveis na obra deverá ser plenamente suficiente para atender ao plano de serragem, conforme ilustrado na figura.



Serragem das juntas transversais de retração, com serras de disco em número suficiente para atender ao plano de serragem.

- Devem ser tomados todos os cuidados para a garantia da regularidade longitudinal do pavimento, de modo que se garanta um desnível máximo de 5mm, medido na régua de 3m, tanto na direção longitudinal quanto na transversal ao eixo da pista.

- Nos trechos ainda submetidos à cura, sob nenhum pretexto será admitido o trânsito de pedestres, veículos e animais, devendo ser providenciada a adequada proteção do pavimento, conforme ilustrado na figura.



Proteção do pavimento acabado.

- A verificação das condições de segurança do pavimento acabado, em termos de textura superficial, deverá ser feita por meio do Ensaio de Mancha de Areia, conforme especificado na norma DNIT 049/2013 - Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes - Especificação de Serviço e ilustrado na figura. O valor da Altura da Mancha de Areia (HS) deverá estar entre 0,6mm e 1,2mm.



Ensaio de Mancha de Areia (ASTM E 965:2015).

4.1 EXECUÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO EM VIAS URBANAS



Equipamentos:



Pequeno Porte:
Réguas /Treliças vibratórias
Produção média: 100 a 200 m/dia.



Formas-Trilho:
Pavimentadoras de rolos vibratórios
Produção média: 250 a 350 m/dia.



Formas Deslizantes:
Pavimentadoras com formas deslizantes
Produção média: 300m - 1200 m/dia
Requerem usinas dosadoras/misturadoras.

DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-
ESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-330
Tel/fax: (0xx21) 3371-5888

NORMA **DNIT 047/2004 - ES**

Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço

Autor: Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR

Processo: 50.600.004.558/2003-24

Origem: Revisão da norma DNER-ES 325/97

Aprovação pela Diretoria Executiva do DNIT na reunião de 25 / 11 / 2004

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Pavimento rígido, concreto, cimento, equipamento, especificação

Nº total de
páginas
14



- Deverão ser fixadas com ponteiros de aço, no máximo a cada metro, de modo a suportar sem deslocamentos os esforços inerentes ao trabalho;

- Devem ser calçadas em toda sua extensão, não sendo permitidos apoios isolados;



Assentamento das FÔRMAS Metálicas:

- Para conter e dar forma ao concreto fresco;

- Servem como guias para a movimentação das unidades de distribuição e adensamento do concreto;

- Devem ser alocadas anteriormente a execução do pavimento, de acordo com a topografia;

- Assentadas na camada subjacente, com base no alinhamento do eixo da pista;

- O topo das fôrmas coincidirá com a superfície de rolamento prevista, fazendo-se necessária a verificação do alinhamento e nivelamento;



Atentar para o nivelamento adequado, evitando-se os “bumps”.

- Somente deverá ser lançado o concreto liberado pelo controle tecnológico;
- O tempo permitido entre a adição de água e o lançamento será de 1 hora para concretos confeccionados sem acelerador de pega;
- O concreto recusado pelo controle tecnológico deverá ser encaminhado ao botafora;
- A fixação das barras de transferência será feita, normalmente, uma a uma e de forma a não causar atrasos no lançamento do concreto.



- O adensamento do concreto deverá ser o mais elevado e uniforme possível em toda a área de pavimentação;
- Bordas longitudinais, cantos e juntas deverão receber cuidados especiais que evitem a formação de vazios ou ocós.



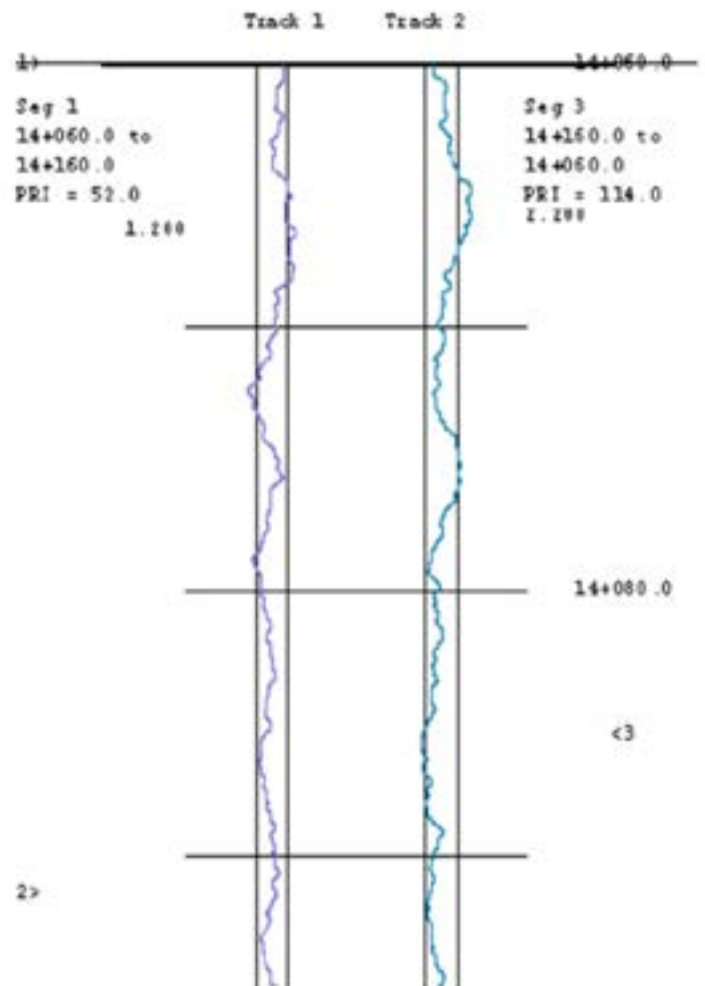
CONFORTO DE ROLAMENTO

O conforto de rolamento é um fato indesmentível nos pavimentos modernos de concreto, pela excelente terminação superficial, pelas juntas de pequena abertura (cerca de 6mm, serradas no concreto semiendurecido e em nível) e pelo trabalho dos sensores eletrônicos da pavimentadora quando do lançamento, espalhamento, adensamento e acabamento do concreto fresco, além dos demais procedimentos e cuidados com a execução do pavimento aqui já mencionados.

O conforto de rolamento do pavimento é avaliado pela medida da irregularidade longitudinal do pavimento, feita com o Perfilógrafo Califórnia, que fornece o Índice de Perfil (IP), internacionalmente conhecido como Profile Index (PRI) da superfície acabada. As informações geradas pelo Perfilógrafo Califórnia permitem a identificação de depressões e ondulações significantes que devem ser corrigidas de forma a aumentar o conforto de rolamento. Esses pontos são marcados no traçado dos perfis do pavimento e listados num relatório resumo para facilitar posterior identificação.

O sistema computadorizado processa os perfis obtidos, gerando uma medida de irregularidade longitudinal do pavimento denominada Índice de Perfil (IP), que é obtido a partir da soma dos valores absolutos dos desvios (picos e depressões)

que excedem os limites de uma faixa neutra (blanking band), de largura adotada igual a 5mm, sendo o seu valor expresso em milímetros por quilômetro (mm/km). O perfil do pavimento é traçado na escala de amplitude vertical igual a 1:1 e escala horizontal de distância igual a 1:300, conforme ilustrado na figura.



Traçado do perfil do pavimento, com Faixa neutra (Blanking band) de 5mm, obtido com o Perfilógrafo Califórnia.



Perfilógrafo Califórnia em operação.

As normas DNIT 049/2013 - Execução de pavimento rígido com equipamento de formas deslizantes - Especificação de Serviço - e DER SP - ET - DE - P00/039 - Pavimento de concreto de cimento portland aplicado com formas deslizantes, contemplam o emprego do Perfilógrafo Califórnia, estabelecendo o mesmo limite máximo para o Índice de Perfil (IP), igual a 240mm/km, para a aceitação do lote de inspeção. Essas normas estabelecem que, caso o

valor máximo admissível de 240mm/km seja ultrapassado, medidas corretivas serão necessárias. As medidas corretivas vão desde a fresagem localizada da superfície do pavimento, com o emprego de pequenas fresadoras, até o emprego de equipamentos de grande porte, que promovem a microfresagem ou o micronivelamento do concreto, internacionalmente conhecido como Diamond Grinding ou Cepillado, conforme ilustrado na figura.



Micronivelamento do pavimento de concreto (Diamond grinding).

A experiência de campo tem mostrado que o conforto de rolamento é função da regularidade longitudinal do pavimento e está diretamente ligada à uniformidade da execução, ou seja, quanto mais uniforme é a execução mais regular e confortável é o pavimento. No caso de construção com vibroacabadoras de formas deslizantes é necessário que a execução seja conduzida sem paradas do equipamento e que o concreto lançado seja o mais uniforme possível e sem interrupção de fornecimento. O projeto e a execução de plataformas estáveis para a operação da vibroacabadora são fundamentais para a garantia da regularidade longitudinal.

06

NORMALIZAÇÃO

O emprego do pavimento de concreto no nosso país é técnica consagrada há décadas, haja vista os excelentes resultados obtidos com as obras já executadas, sendo a sua construção regida por procedimentos normalizados, conforme detalhado nas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da American Society for Testing and Materials (ASTM), cabendo mencionar as que se seguem.

- DNIT 049/2013 - ES - Pavimento rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de forma deslizante.
- DNIT - 048/2004 - ES - Pavimento rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de forma-trilho.
- DNIT - 047/2004 - ES - Pavimento rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte.
- DNIT - 068/2004 - ES - Pavimento rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico - Especificação de Serviço.
- DNIT - 046/2004 - EM - Pavimento rígido - Selante de juntas.
- DNIT - 042/2004 - ME - Pavimento rígido - Selante de juntas - Resgamento.
- DNIT - 041/2004 - ME - Pavimento rígido - Selante de juntas - Deformação permanente à compressão.
- DNIT - 040/2004 - ME - Pavimento rígido - Selante de juntas - Aderência selante x substrato.
- DNIT - 039/2004 - ME - Pavimento rígido - Selante de juntas - Tração.
- DNIT - 037/2004 - ME - Pavimento rígido - Água para amassamento do concreto de cimento portland - ensaios comparativos.
- DNIT - 036/2004 - ME - Pavimento rígido - Água para amassamento do concreto de cimento portland - ensaios químicos.
- DNIT - 054/2004 - PRO - Pavimento rígido - Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais.
- DNIT - 055/2004 - ME - Pavimento rígido - Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos.
- DNIT - 056/2013 - ES - Pavimento rígido - Sub-base de concreto de cimento portland compactada com rolo.
- ABNT NBR 16697:2018 - Cimento portland - Requisitos.

- ABNT NBR 5738:2016 - Confeção e cura de corpos de prova de concreto cilíndricos ou prismáticos - Método de ensaio.
- ABNT NBR 5739:2018 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio.
- ABNT NBR 7211:2009 - Agregados para concreto - Especificação.
- ABNT NBR 15577:2018 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Partes 1 a 7.
- ABNT NBR 7480:2007 - Barras e fios de aço destinados a armadura de concreto armado - Especificação.
- ABNT NBR 11768:2011 - Aditivos químicos para concreto de cimento portland - Requisitos.
- ABNT NBR 12142:2010 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos - Método de ensaio.
- ABNT NBR 12655:2015 - Concreto de cimento portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento.
- ABNT NBR 12821:2009 - Preparação de concreto em laboratório - Procedimento.
- ABNT NBR 16606:2017 - Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal.
- ABNT NBR NM 47:2002 - Concreto fresco - Determinação do teor de ar pelo Método Pressométrico.
- ABNT NBR 16607:2017 - Cimento portland - Determinação do tempo de pega.
- ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- ASTM C 309-11 - Standard specification for liquid membrane - forming compounds for curing concrete.
- ASTM C42/C42M:2018 - Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.
- ASTM E 965:2015 - Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique.

07

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista do exposto, vê-se que o pavimento de concreto é uma excelente solução de engenharia para a implantação de rodovias e vias urbanas no Brasil, tanto sob o aspecto técnico e econômico, quanto o ambiental e de sustentabilidade, visto que são instalações geralmente submetidas a tráfego intenso de veículos comerciais, em que as soluções tradicionais não cumprem o papel esperado.

Ressalta-se que este trabalho mostra a notável competitividade do pavimento de concreto no custo inicial de construção, derrubando categoricamente o mito ou premissa de que o pavimento de concreto é mais caro ou muito mais caro do que o pavimento asfáltico no custo de construção.

É importante observar que quando se comparam custos de alternativas de pavimentação, principalmente custos iniciais de construção, o pavimento asfáltico tem sua estrutura dimensionada para um Período de Projeto de 10 anos, enquanto que o pavimento de concreto é dimensionado para um Período de Projeto de 20 anos.

EXEMPLOS

As figuras ilustram alguns pavimentos rodoviários de concreto rodoviários já executados e em execução no nosso país nos últimos anos.



BR 101 - NE

Duplicação da rodovia BR 101NE, com 1.057km de extensão.



Rodoanel de São Paulo - Trecho Sul.



Serra de São Vicente - BR 163/364 - Serra de São Vicente (Whitetopping e Implantação).



(a)



(b)

Duplicação da BR 364/163/MT - Trecho Cuiabá - Serra de São Vicente (a) e Trecho na região de Olho D'Água (b), na ligação Cuiabá - Rondonópolis.



Rodovia BR 070/163/364 - MT - Jaciara, com 76km de extensão.



Serra de Nobres - BR 163/MT - Execução com vibroacabadora de formas deslizantes, sob túnel de PVC, inflável, para concretagem em período de chuvas (Whitetopping e Obra Nova).



Rodovia SC 114 - Trecho Otacílio Costa - Lajes, com 36km de extensão. (Whitetopping).



Rodovia BR-163 - PR - Cascavel, com 75km de extensão.



Rodovia BR 381/MG - Lote 7, com 37km de extensão - Duplicação.



Rodovia BR-101/NE - Alagoas - Duplicação.

As figuras ilustram alguns pavimentos urbanos de corredores de ônibus e BRTs já executados e em execução com concreto no nosso país. Ressalta-se que só na cidade de São Paulo mais de 150km de corredores de ônibus já foram executados e rehabilitados com concreto, e encontra-se em planejamento de execução mais cerca de 500km de corredores de ônibus com essa tecnologia.



(a)



(b)

Corredores das Avenidas Guarapiranga (a) e Vereador José Diniz (b), em São Paulo/SP.



Corredor Nove de Julho, em São Paulo/SP (Inlay), em serviço há 14 anos.



(a)



(b)

Avenida Senador Teotônio Vilella (a) e Expresso Tiradentes (b), em São Paulo/SP.



Av. Rebouças, em São Paulo/SP.



Av. Antônio Carlos, em Belo Horizonte/MG.



BRT de Curitiba/PR.



BRT Transcarioca - Rio de Janeiro/RJ.



BRT Transbrasil - Rio de Janeiro/RJ - Execução com vibroacabadora de formas deslizantes, à noite.



BRT de Brasília/DF - Expresso Sul.

As figuras ilustram, dentre outras, diversas vias urbanas da cidade de São Paulo totalmente pavimentadas com concreto nos últimos anos, além dos corredores de ônibus já implantados com essa tecnologia.



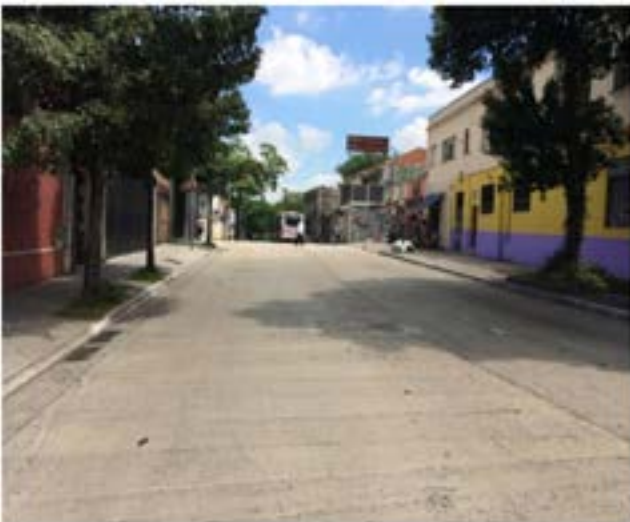
Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.



Vias urbanas pavimentadas com concreto na cidade de São Paulo/SP.

REFERÊNCIAS

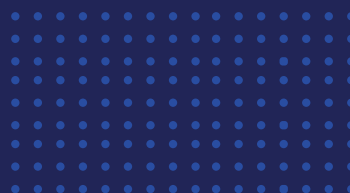
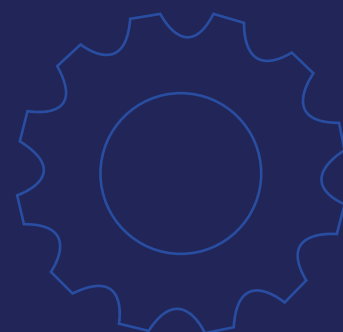
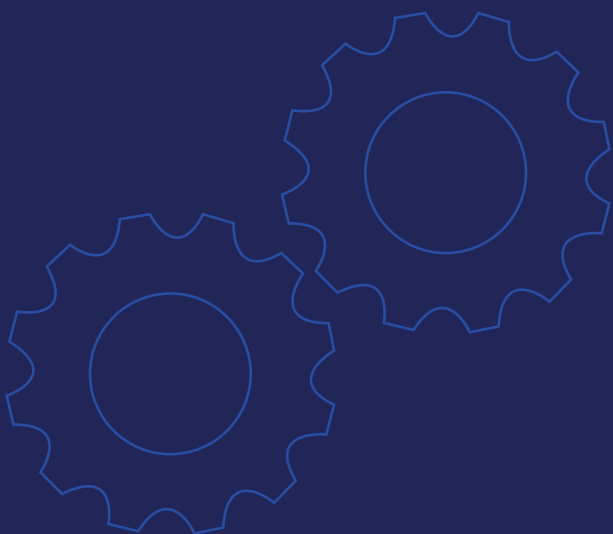
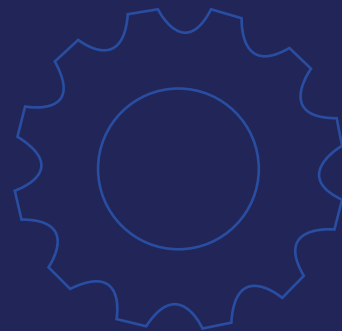
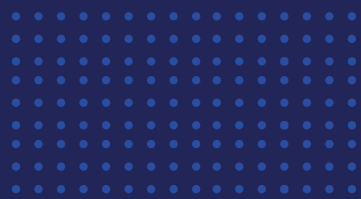
LEITE, C.; AWAD, J.C.M. (2012) Cidades Sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano. Bookman, Porto Alegre. 2012.

SILVA, Cláudio Oliveira. Pavimento e Meio Ambiente: Como melhorar essa relação? Palestra proferida no Seminário Soluções para Cidades: Ruas do Futuro, Curitiba/PR, 2013.

BECKER, E. Análisis de costos de ciclo de vida de pavimentos urbanos. Buenos Aires, Argentina. 2011.

PACE e BECKER. Costo de Pavimentos a lo largo de su Vida Útil. Buenos Aires, Argentina, 1999.

RUHL, R. L. Safety Considerations of Rutted and Washboarded Asphalt Road.



CREA-PR

Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia do Paraná