



A Experiência Latino-Americana em Pavimentos Urbanos de Concreto

DIEGO A. JARAMILLO PORTO



✓ **GERENTE TÉCNICO**



✓ **DIRECTOR DE PAVIMENTOS E INFRAESTRUCTURA**

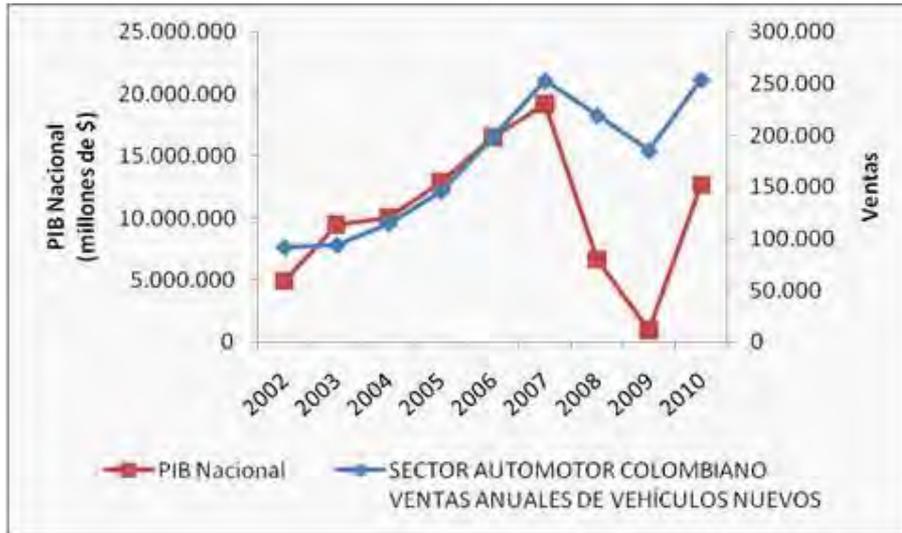




- Alta concentração de pessoas.
- Em algumas cidades, entre 10% a 40% da população do país.
- Alta densidade.
- Taxas muito altas de crescimento de veículos, comparado a um baixo crescimento da infraestrutura urbana.
- Devem evitar fechamentos permanentes devido à manutenção, pois gera:
 - Caos em trânsito.
 - Acidentes.
 - Aumento no tempo de circulação.
 - Aumento no consumo de combustível.
 - Danos ao patrimônio dos usuários.



Nos últimos 40 anos, o volume de veículos aumentou **84%**, enquanto as estradas cresceram apenas **3%**.



- En AL, média de 205 carros por 1.000 hab.
- Desconexão entre investimento e crescimento de veículos.

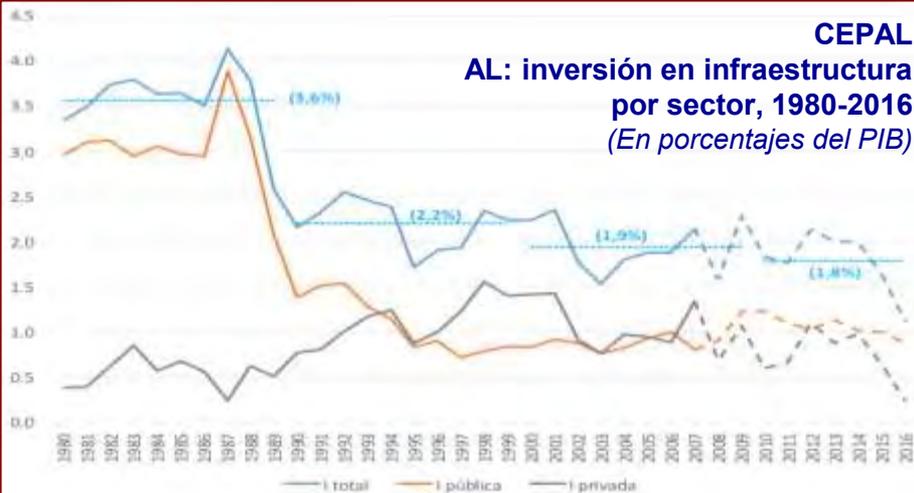
Tem sido difícil entender que o mais importante no desenvolvimento da infraestrutura é o usuário.



POR CIMA DE TUDO

É comum que um projeto priorize outros aspectos:

- Orçamentos
- Capex vs. Opex
- Retornos financeiros
- Horários de Execução
- Interesses particulares
- ...



Segundo a CEPAL, o investimento médio anual em infra-estrutura deve ser de 7% do PIB.

- No entanto, a média em AL é de 1,8%.
- Todos os anos, a diferença entre as necessidades e o investimento em infra-estrutura aumenta.

- Tenha ótimos benefícios para os usuários.
- Tenha uma grande durabilidade.
- Tenha estabilidade ao longo do tempo.
- Que não se deteriore muito.
- Que não precise de reparos freqüentes.
- ...



**E o Pavimento de Concreto
atende adequadamente a esses
parâmetros.**

O uso de pavimentos de concreto urbanos é antigo

Primeiro pavimento de concreto urbano na América

1891

Bellefontaine, Ohio, USA

Assim, existem pavimentos de mais de 120 anos, ainda em serviço.

A grande maioria com zero Manutenção.



128 anos

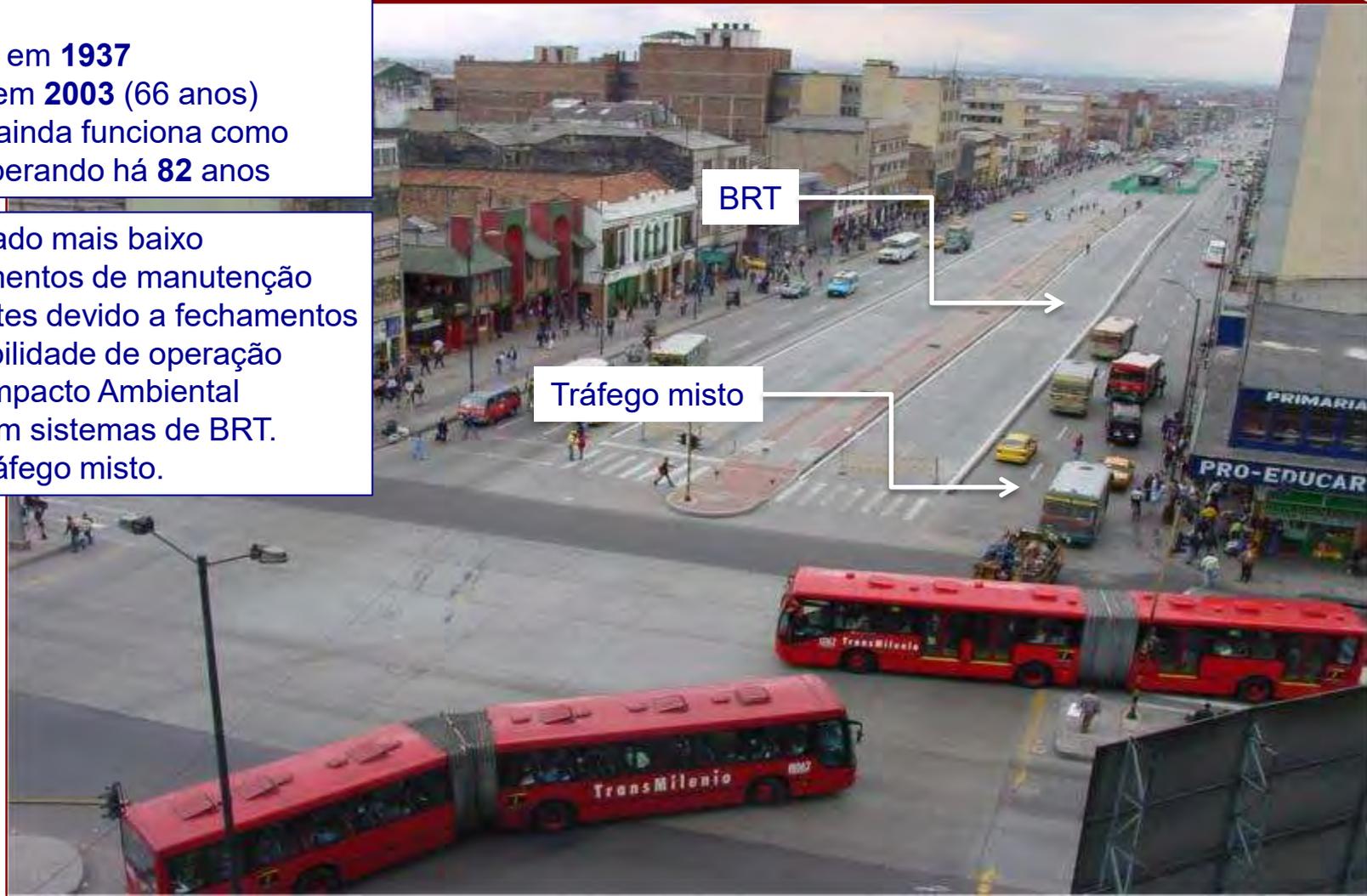
- ✓ Foi construído para o trânsito de cavalos e carroças.
- ✓ Custo de construção de US \$ 9.000.
- ✓ A cidade teve que investir muito pouco durante os 128 anos.
- ✓ Naquela época, a palavra "concreto" ainda não era usada.
- ✓ A mistura 1: 2: 3 e a construção do tabuleiro de xadrez foram usadas pela primeira vez.

Avenida Centenario Bogotá, Colombia 1937 - 2019

- PC construído em **1937**
- Whitetopping em **2003** (66 anos)
- O PC original ainda funciona como base e está operando há **82** anos

- ✓ Custo anualizado mais baixo
- ✓ Menos fechamentos de manutenção
- ✓ Menos acidentes devido a fechamentos
- ✓ Maior disponibilidade de operação
- ✓ Redução de Impacto Ambiental
- ✓ Não apenas em sistemas de BRT. Também no tráfego misto.

E muitos ainda trabalham





Avenida principal del Cementerio
Caracas, Venezuela
1940 - Construído há 79 anos.



Foto: ICPA

Lobería. Buenos Aires, Argentina
1927 - Construído há 92 anos.

- Lajes muito grandes.
- Modulação de laje ruim.
- As juntas não têm continuidade.
- Sem transferência.

Autopista Acceso Sudeste

Partido de Avellaneda.

Provincia de Buenos Aires, Argentina

Construído em 1951 (68 anos).

Incrível. Este PC está em uso há 68 anos

**Sistema Metrolínea
Bucaramanga. Colombia**





**Autopista Norte
Bogotá, Colombia
Construído em PC em 1954
Reabilitado em 2000
Whitertopping não aderido**

Pistas de BRT, faixas de tráfego misto, espaço público, pontes, etc.

Já naquela época o PC era um bom negócio



Vía Expresa.

Lima. Perú

Construído em 1968

(há 51 anos)

Ainda está funcionando

Em 2007 foi reabilitado
para o sistema
metropolitano

*E ainda é um bom
negócio*



Avenida El Dorado. Bogotá. Colombia
Foi construído em concreto em 1954
Reabilitado em concreto em 2005
14 anos de operação

Placas do ano 2005

Placas do año 1954



É uma opção atraente para muitas cidades

**Avenida NQS, Bogotá, Colombia
Reabilitado em concreto em 2003
16 anos de operação**



É uma opção atraente para muitas cidades

**Avenida Suba, Bogotá, Colombia
Reabilitado em 2003
16 anos de operação**



E agora com cargas e frequências mais altas.

Se o PC é capaz de suportar este tipo de cargas e frequências, então pode suportar o tráfego urbano por muitos anos.



Tijuana. México



Curitiba. Brasil



Buenos Aires. Argentina



Quito. Ecuador



E não só nas principais avenidas

É comum o uso de pavimento de concreto em **ruas residenciais** de baixo tráfego.

Muitas dessas ruas são construídas por autogestão e autoconstrução.



A Colômbia possui um Manual de Construção para pavimentos rígidos em vias urbanas de baixo tráfego.

Serve como guia para o gerenciamento, dimensionamento e construção por comunidades organizadas.

Ilustración 9. Proceso constructivo



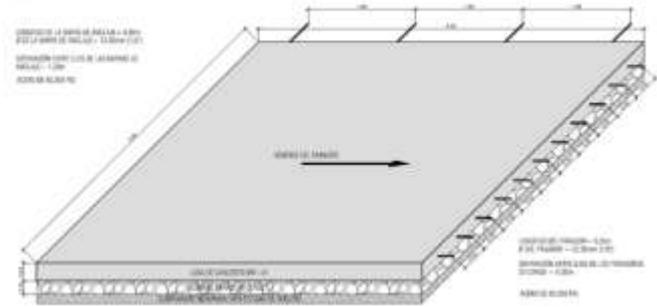
Tabla 1. Criterios para la implementación del prototipo de diseño del pavimento rígido.

continuación.

| Criterio | Indicador | Valor |
|---------------------------|--|-----------|
| Tráfico | TIC | 1-1000 |
| | Distribución de Cargas (Eje a la FWD) entre 1-100 | 0.01-0.05 |
| | Distribución de Cargas (Eje a la FWD) entre 10-100 | 0.01-0.05 |
| | Distribución de Cargas (Eje a la FWD) entre 100-1000 | 0.01-0.05 |
| Período de diseño | Años | 10 |
| | CM (Estructura) | 1-10 |
| Suelo | Mod. Resiliente (MPa) | 100-1000 |
| | Mod. de Elasticidad (MPa) | 10-20 |
| Cemento | Marca (Módulo de Elasticidad) | 4 |
| Zona | zona | 4 |
| Características de la vía | Radio de curva | 7% |
| | Forma de la vía | 1% |
| Redes de servicios | Redes de servicios (agua, gas, electricidad, etc.) | 10-20 |
| Sistema de drenaje | Canal | 0 |
| | Canal | 1% |

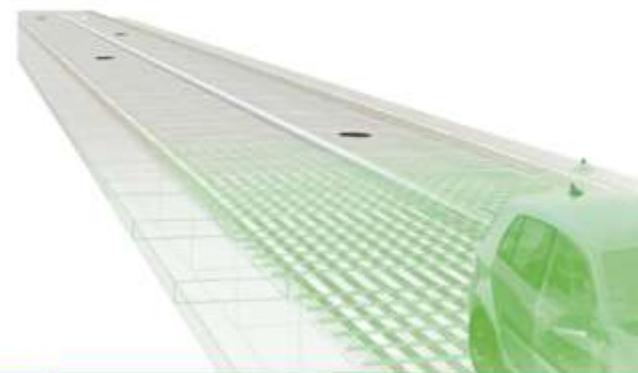
Fuente: Grupo de Estructuración de proyectos

Ilustración E. Esquema de la losa de pavimento de concreto (20 cm)



Proyectos TIPO 12 Versión 2.0

Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito



Departamento Nacional de Planeación
Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas

DNP
TODOS POR UN NUEVO PAÍS

Enquanto alguns dizem que é muito atrativo

- ✓ Que dura muito
- ✓ Que requer pouca manutenção
- ✓ Que é mais econômico ao analisar o CCV

Outros dizem que não

- Porque é muito caro no CI
- Que é difícil de construir
- Repará-lo é difícil
- Muito tempo para abrir ao trânsito
- Barulhento e pouco confortável

Muitas duvidas

Mas também muita informação errada



An aerial photograph of a city, likely Rio de Janeiro, showing a mix of modern and traditional architecture. A tall, dark skyscraper stands out in the center. The surrounding buildings are colorful, and the city is built on a hillside. The sky is blue with some clouds.

Existem muitas razões para usar PC em centros urbanos

As 7 razões

1

Tem alta durabilidade



Tem um sistema estrutural único

No começo, era outra coisa:

- ✓ *Concreto colocado sobre solo ou concreto.*
- ✓ *Resistência a Compressão*
- ✓ *Sem juntas.*
- ✓ *Sem barras de transferência.*
- ✓ *Textura para carroças e cavalos.*

Os avanços surgiram da necessidade de controlar esforços e resolver patologias.

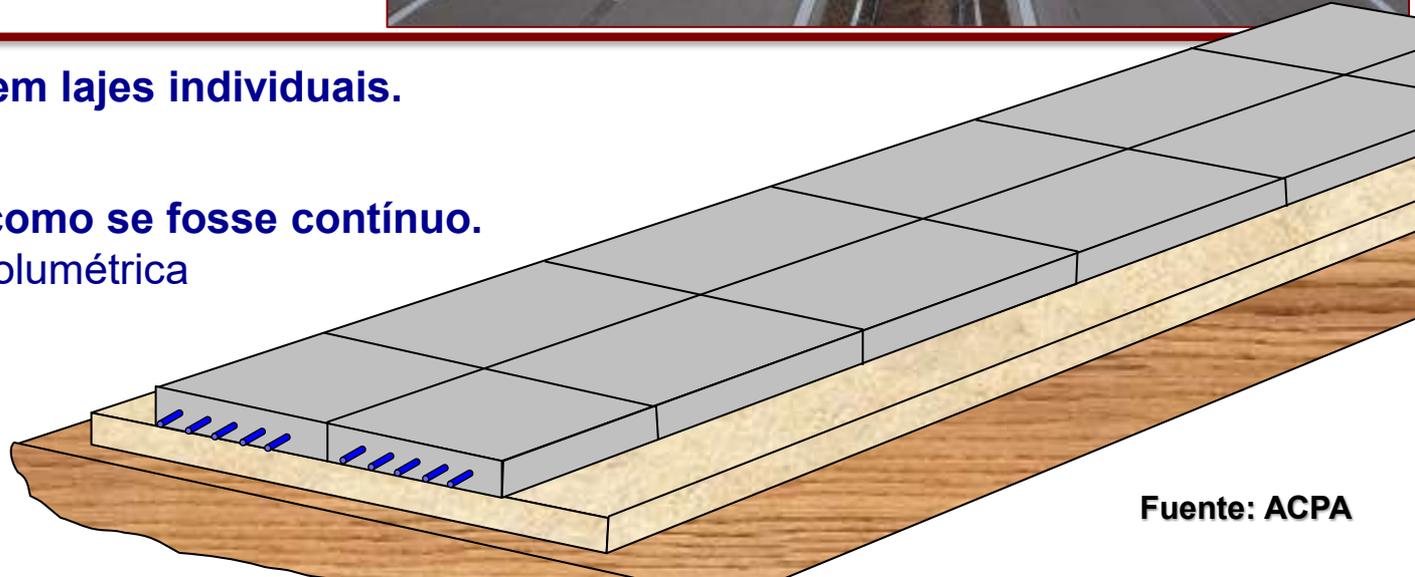


Tecnologia baseada em lajes individuais.

- ✓ Descontínuo

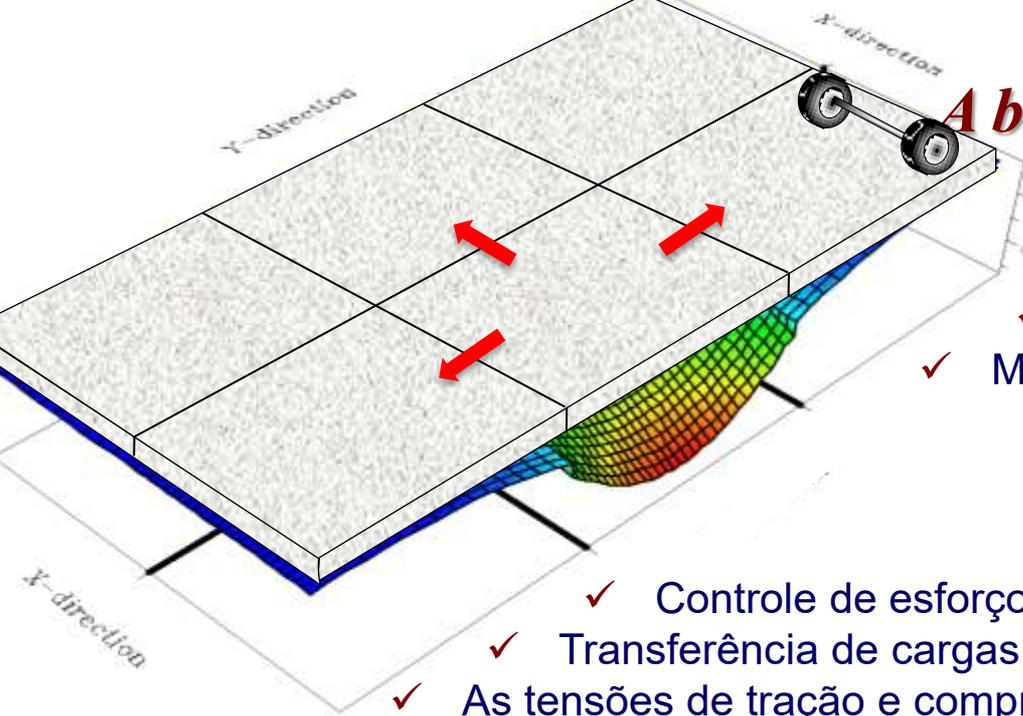
Mas deve funcionar como se fosse contínuo.

- ✓ Estabilidade volumétrica
- ✓ Suporte
- ✓ Perfil
- ✓ Transferencia
- ✓ Ligação
- ✓ Confinamento



A chave:

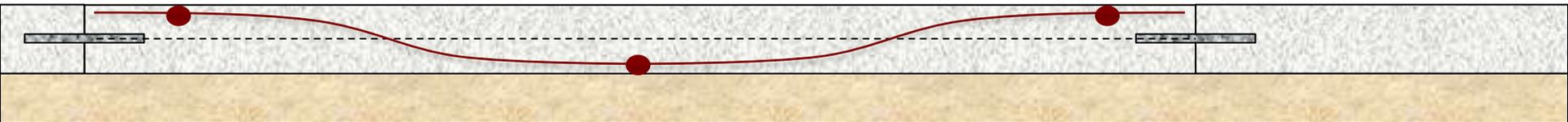
A baixa deformabilidade do concreto



- ✓ Não sofre deformações plásticas
- ✓ Maior área de distribuição de carga.
- ✓ Menos esforço na base do pavimento (0,35 kg/cm²).



- ✓ Controle de esforços devido a contração, cargas e deformações.
- ✓ Transferência de cargas por barras e agregados.
- ✓ As tensões de tração e compressão mudam de posição dependendo das deformações e da aplicação das cargas.



Concreto simples com juntas



O Pavimento simples com juntas é o mais utilizado. Existem muitas opções, desde convencionais, não convencionais, bases tratadas com cimento, etc.



Sobrelosas



Placas pré-fabricadas

Até sistemas tão raros como placas hexagonais



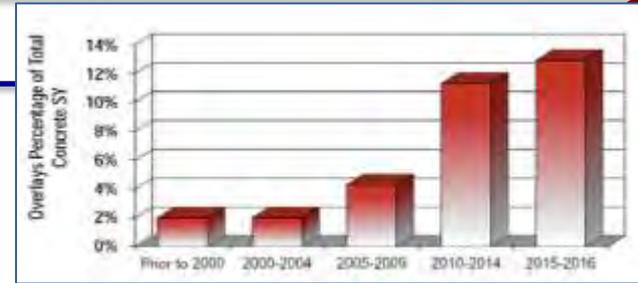
Losas curtas

CCR



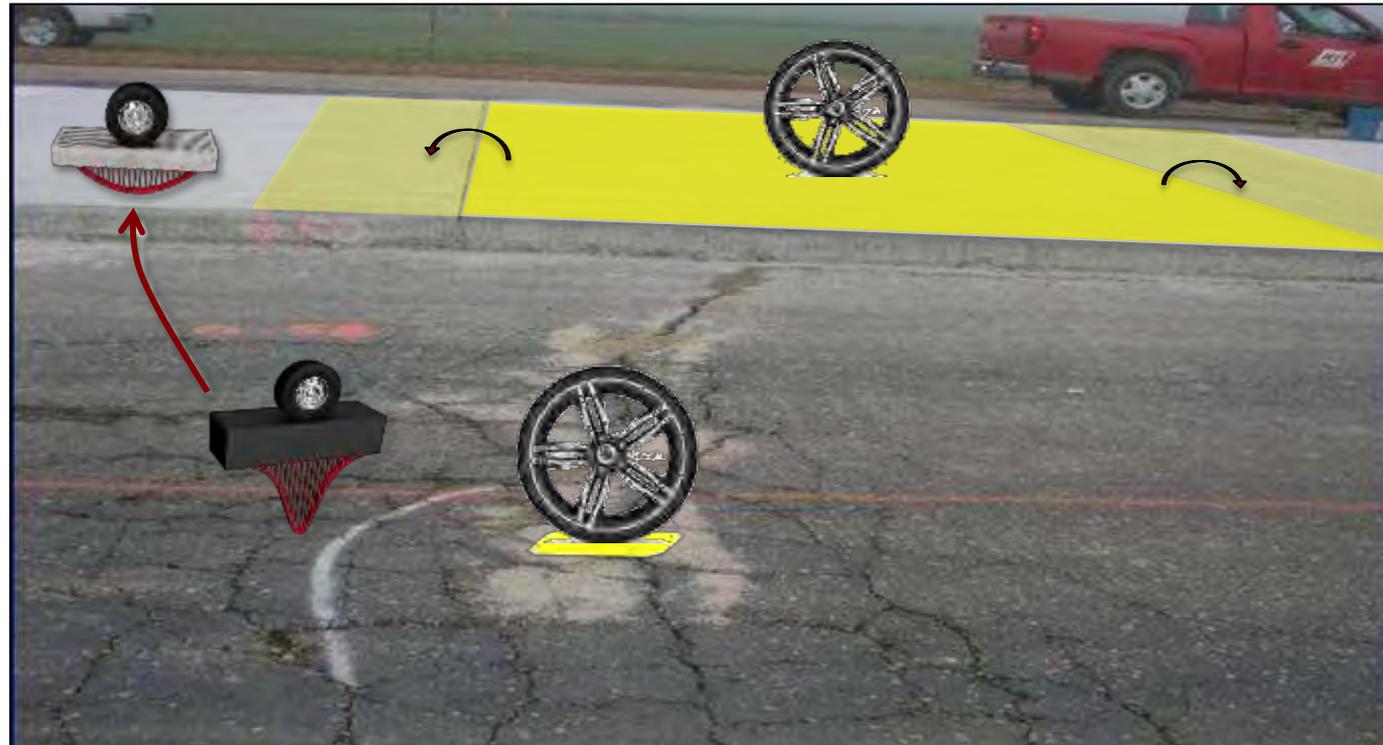
Whitetopping

Nos Estados Unidos, do total de concreto colocado em pavimentos, o volume destinado a Whitetopping passou de 2% no ano 2000, para 13% no 2016, e continua crescendo.



Mudança radical

As mesmas cargas, mas distribuídas em uma área maior.



Em alguns usos, o concreto é a primeira opção

Sistemas BRT
Corredores de nibus



As pessoas precisam de
habilidades especiais.

1. Especificações/ Regulamentos } **Visão**

2. Contratos

3. Planejamento

4. Dimensionamento

Crítérios

5. Produção

6. Construção

**Conhecimento,
Experiência e Qualidade**

7. Operação

8. Manutenção e reparos

9. Demolição e Reciclagem

Cultura

10. Patologia

Todas as habilidades



2

Fácil de construir



A arte da construção

O mais importante: reproduzir o dimensionamento na obra.

É um desafio técnico, logístico e econômico.

Operadores treinados, dispostos e bem direcionados.

Estado da arte em processos, devidamente autorizados.

Mas é preciso um líder:



Foto: ICPA



A cultura de construir com qualidade



Projetistas e construtores

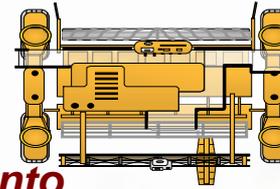
Têm **tudo** para fazer as coisas bem.

Muita informação disponível



Ter o conhecimento necessário

- *Às vezes temos mais opinião do que conhecimento*



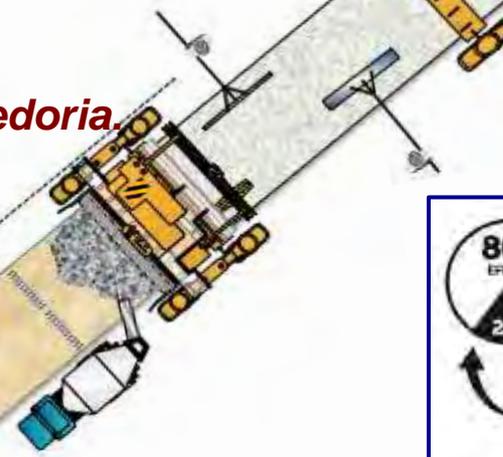
Experiências ao redor do mundo

- *Não há nada mais barato do que comprar sabedoria*
- Boas e más experiências (para aprender).

A ajuda é sempre bem-vinda

- De repente, não sabemos tudo.

A importância do planejamento e redução do risco



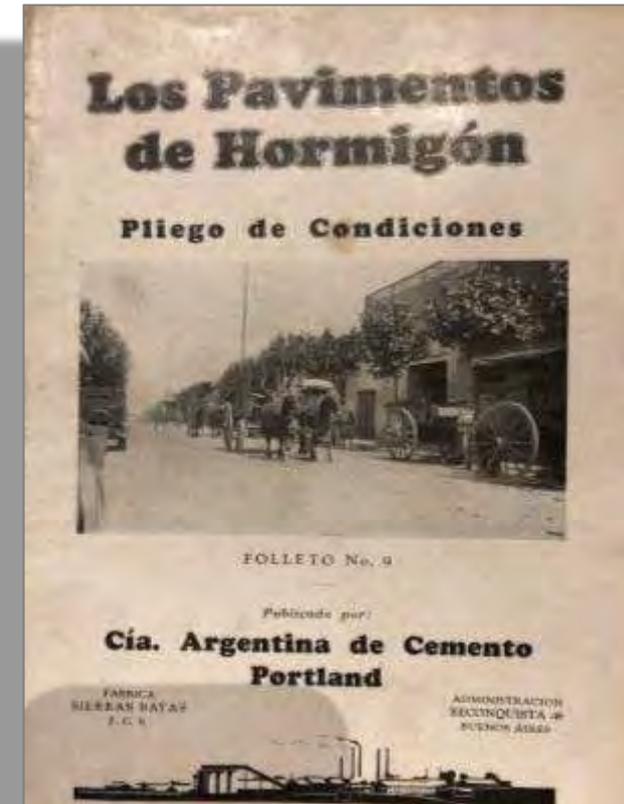
Nós devemos aplicar o modelo de

Eu quero *fazer as coisas certas*

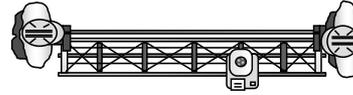
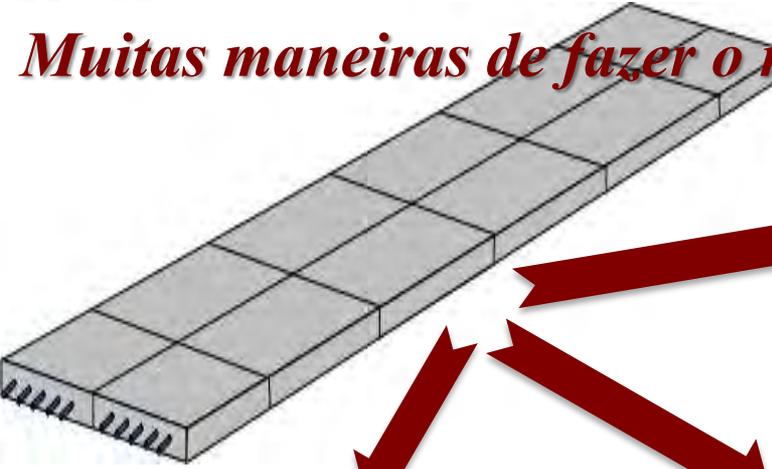


Não devemos aplicar o modelo de:

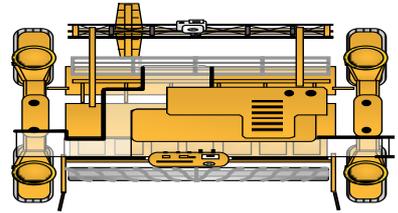
Eu tenho *que fazer as coisas certas*



Muitas maneiras de fazer o mesmo



REGUAS VIBRATÓRIAS



MÁQUINA PAVIMENTADORA



ROLOS VIBRATÓRIOS



Rendimentos que variam de 50 m³ a mais de 2.800 m³ por dia.

Ter sempre um

Programa de qualidade

- ✓ Materiais
- ✓ Processos
- ✓ Mão-de-obra

DISEÑO

CONSTRUCCIÓN

OPERACIÓN



3

Baixa manutenção



Por que não ... Construir um pavimento que requer pouca manutenção?

A M&R é uma consequência do uso, e sua magnitude depende da qualidade da estrutura construída. As intervenções devem ser o resultado de um sistema de gerenciamento.

A manutenção NÃO deve ser o principal objetivo de um projeto, porque se desvia do verdadeiro objetivo, que é fornecer um bom serviço ao usuário.

O custo de manutenção e reparo de um pavimento de concreto é muito baixo em relação ao **Custo Inicial**.

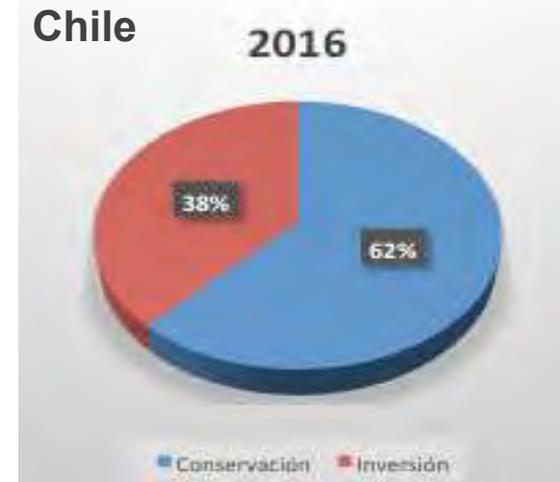
Perto de **8%**
do **CI**



O PC ajuda a reverter o fluxo de investimentos, transferir recursos da M&R para novas construções.

A importância de reverter a dependência da manutenção:

- Aumentar o fluxo de investimento em nova infraestrutura.
- Impedir que a M&R exija o orçamento de investimento.
- Impacto nos indicadores do país:
 - Menos acidentes devido ao fechamento de estradas.
 - Menos consumo de combustível
 - Menos contaminação.
 - ...



Fuente: Mauricio Salgado. ICH



Tão importante quanto controlar o projeto e a construção, é controlar o desempenho durante a operação.

São controlados **3** aspectos:

1. Estabilidade

2. Conforto

3. Segurança

INDICADORES DE DESEMPENHO EM UM PC:

Capacidade estrutural

- Fissuras
- Escalonamentos
- Selagem de juntas
- Quebra da borda da junta
- Eficiência en la transferência

Capacidade funcional

- IRI
- Fricção de superfície
- Textura



Um pavimento de baixa durabilidade aumenta os indicadores e requer altas taxas de M&R.

*“Os pavimentos não funcionam como são dimensionados,
mas como são construídos e mantidos”*



4

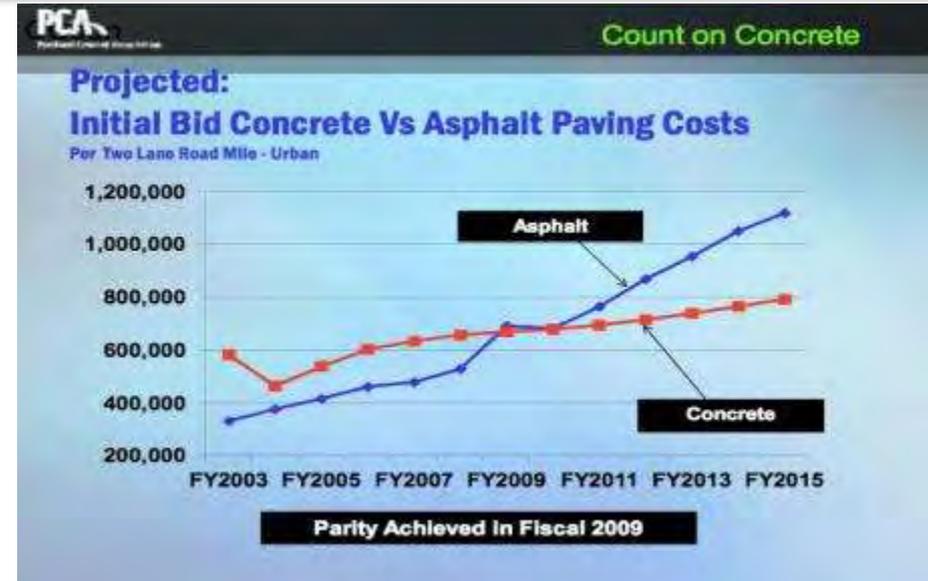
E sim. O custo é menor



O eterno mito do custo

Sempre se afirmou que o Pavimento de Concreto é muito caro no custo inicial.

E embora seja reconhecido que é mais barato no Ciclo de Vida, é comum que apenas seu custo inicial seja analisado.



- ✓ Mas, hoje, tem um custo inicial semelhante ao flexível.
- ✓ E sempre, sempre, será muito menor no Ciclo de Vida.

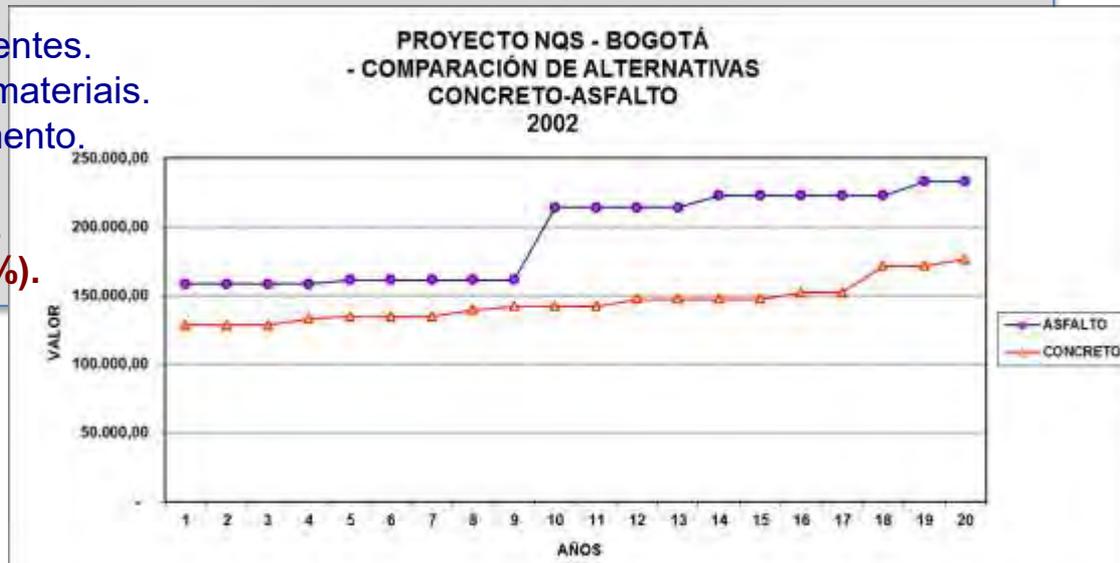


É mais barato, mesmo a partir do custo inicial

As variáveis mudam:

- Custos baixos de M&R.
- Análise com períodos de projeto equivalentes.
- Otimização e racionalização em uso de materiais.
- Otimização de métodos de dimensionamento.
- Volatilidade dos preços internacionais.
- Materiais com especificações mais altas.
 - **Uso de borracha reciclada (+ 40%).**

SISTEMA BRT



| | CONCRETO | ASFALTO | DIFERENCIA |
|-----------------|----------------|----------------|------------------|
| COSTO INICIAL | 23.327.204.694 | 26.600.406.786 | - 3.273.202.092 |
| CICLO DE VIDA | 25.511.141.536 | 50.029.345.132 | - 24.518.203.596 |
| MANTENIMIENTO | 2.183.936.842 | 23.428.938.346 | - 21.245.001.504 |
| % MANTENIMIENTO | 9% | 88% | |



Methodology for the development of equivalent pavement structural design matrix for municipal roadways Ontario, Canada - 2011

“La decisión de usar el análisis del costo del ciclo de vida y evaluar los beneficios de sostenibilidad, incluyendo los factores no económicos, como parte del proceso de selección, le proporciona a las agencias gubernamentales un mejor conocimiento del costo real de las vías, y no solo considerar el costo inicial de pavimento. Como se muestra en este informe, **o pavimento de concreto oferece um custo de construção inicial atraente e um custo de ciclo de vida favorável, comparado ao asfalto.**”



ONTARIO
CANADA

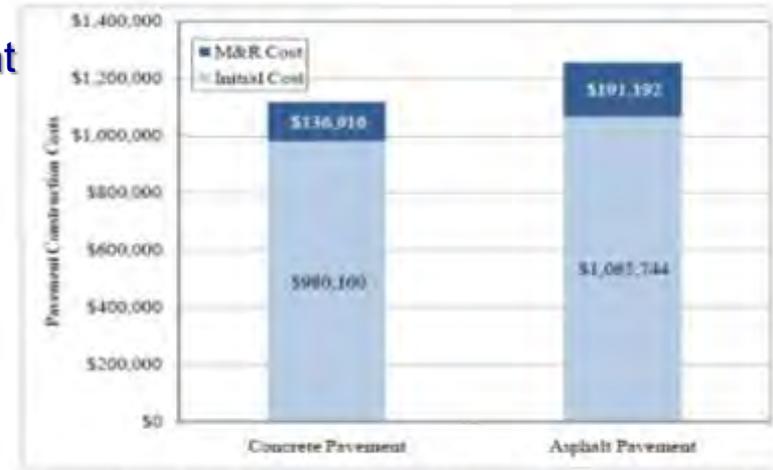
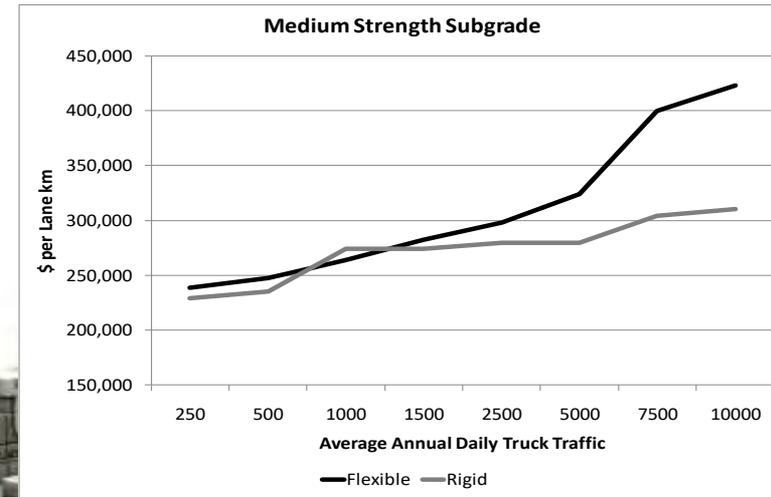


Figure 4.1. Example LCCA Comparison of Costs for a Major Arterial Pavement (AADTT = 2,500)



5

É seguro e confortável



Pavimento plano e rugoso. Para que ?

Um pavimento plano aumenta o conforto

- ✓ Menos sobrecargas
- ✓ Maior durabilidade

+ Segurança



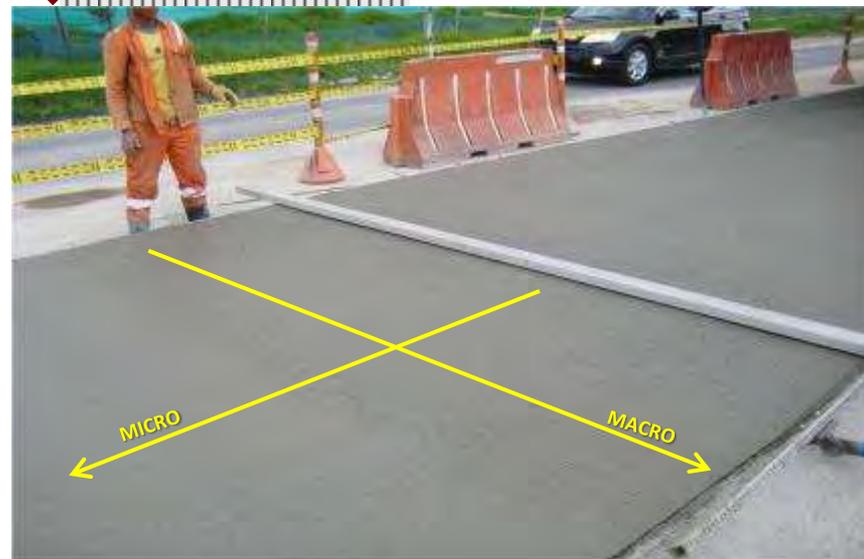
Textura da superfície para a segurança do tráfego:

- Nivelamento
- Regularidade
- Textura

O acabamento da superfície pode ser transversal ou longitudinal.

Características:

- Paralelo às as juntas transversais.
- Largura das cerdas 3 +/- 1 mm.
- 19 +/- 2 mm de espaçamento.
- Profundidade entre 3 e 6 mm.
- 45° de inclinação.
- A textura não deve se sobrepor.
- O ajuste deve ser feito em curvas.



Mais reflexo e menos temperatura

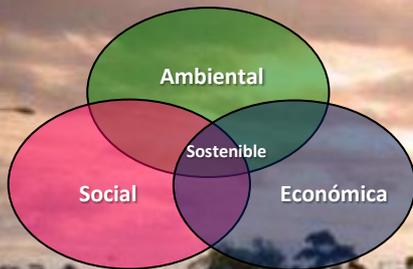


6

Amigável ao meio ambiente



O PC tem muitos atributos de sustentabilidade



Ambiental

1. Reciclaje de agregados
2. Menores excavaciones
3. Ahorro de combustible
4. Reducción de la isla de calor
5. Reducción del CO₂ y NO_x
6. Reabsorción del CO₂
7. Resistencia a combustibles, aceites, químicos, clima, etc.
8. Optimización del consumo de energía.



Social

1. Larga vida útil
2. Confort
3. Seguridad
 - Tracción entre rueda y llanta
 - Reflejo de la luz
 - Visibilidad
 - Juntas sirven de guía
 - Distancia de frenado
 - Agarre en las curvas
 - Control del hidroplaneo
 - Evacuación del agua superficial
 - Resistente al fuego
4. Baja emisión de ruido
5. Menos cierres durante la vida útil

Econômico

1. Costo de construcción
2. Costo del ciclo de vida
3. Costo de operación
 - Menor consumo de combustible
 - Menor consumo de CO₂
 - Menor costo de iluminación
 - Menos accidentes



*É também chamado de
"Pavimento Verde"*

O PC sempre foi sustentável

Emite menos CO2 durante a construção e menos ainda se a vida útil for considerada.



Devido ao seu esquema de distribuição de esforços, requer menos escavações e materiais de base.



LAS VENTAJAS DEL CONCRETO

Alarga la vida útil de las carreteras entre un pavimento de concreto y uno de asfalto son similares, en el largo plazo la mayor inversión es el concreto por su durabilidad y los bajos precios de mantenimiento.

DURABILIDAD

10 años vs. Pavimentos de concreto de 30 a 100 años

PARA EL CONDUCTOR

- 20% menos de ruido
- 20% menos de polvo
- 20% menos de contaminación por el escape de los vehículos

EN LA CONSTRUCCIÓN POR KM

- 20% menos de excavación de terreno y transporte de los materiales
- 20% menos de transporte de arena y agregados gruesos
- 20% menos de transporte de agregados gruesos
- 20% menos de transporte de agregados gruesos
- 20 millones de pesos de ahorro por km de carretera por el menor costo de mantenimiento

ASFALTO

Mixtura de cemento, agregado fino y grueso, agua y aditivos

CONCRETO

Mixtura de cemento, agregado fino y grueso, agua y aditivos

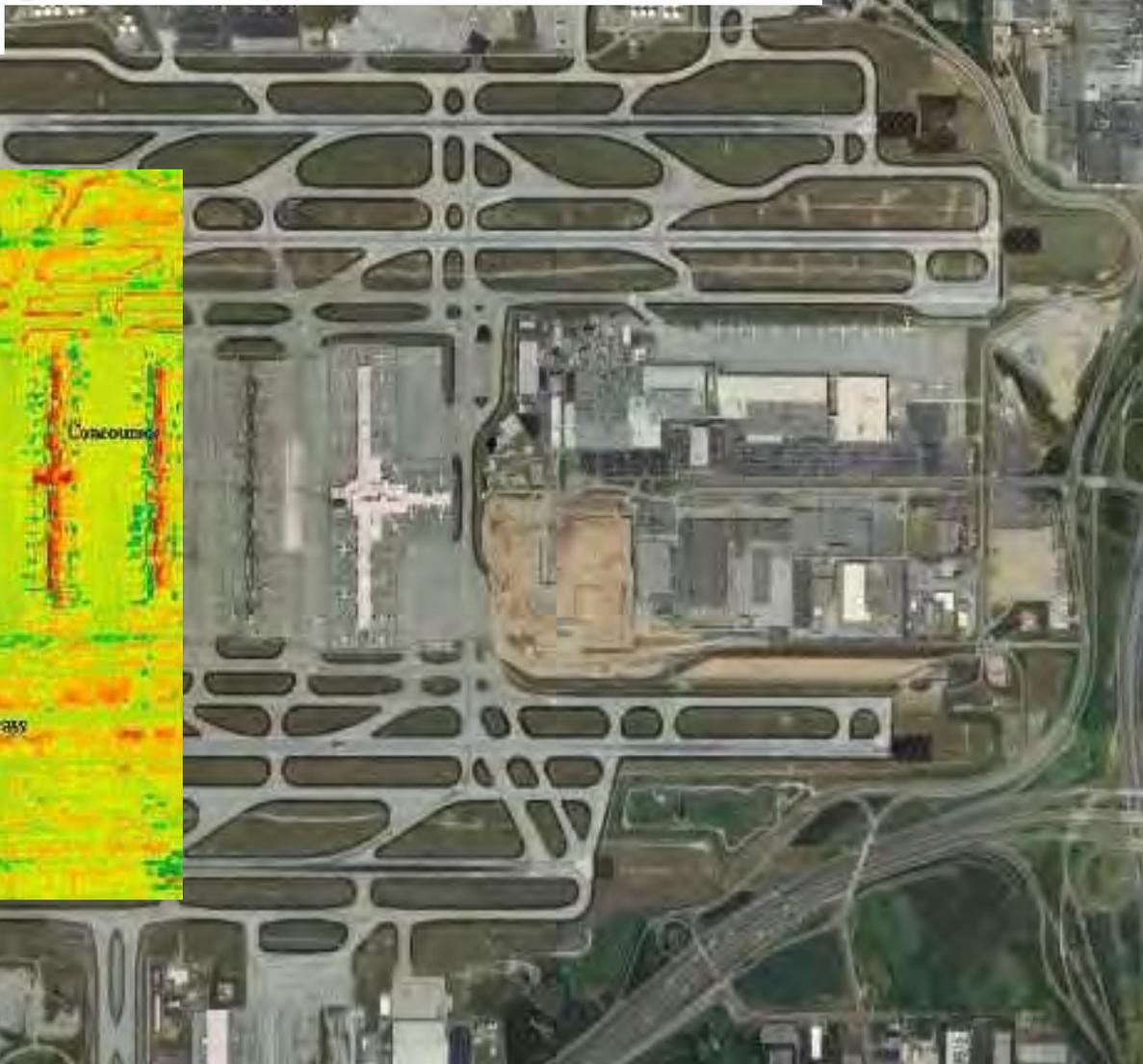
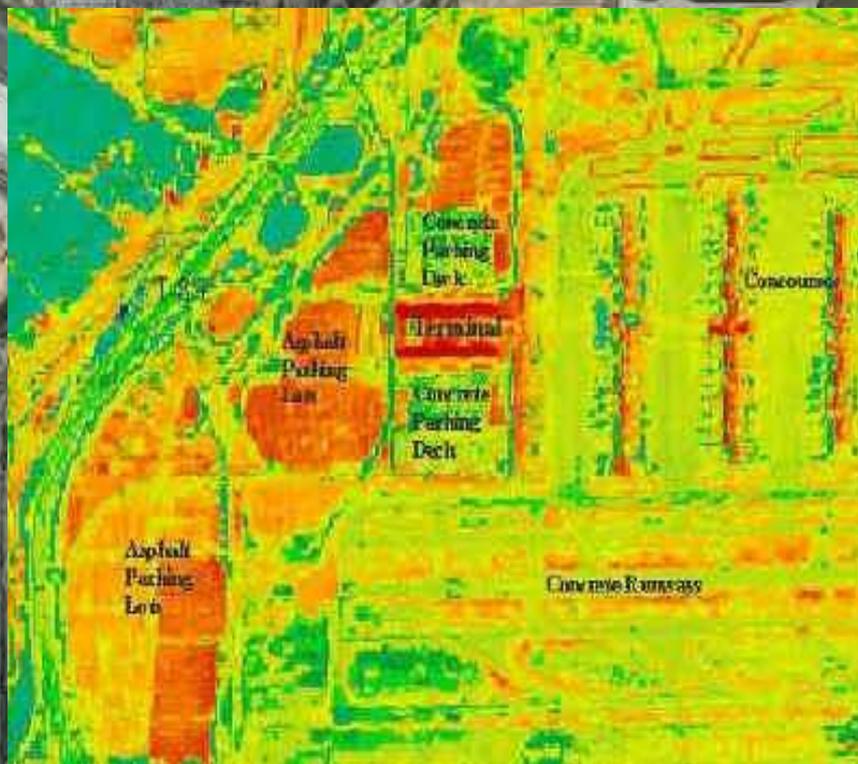
IMPACTO AMBIENTAL

6% menos de emisiones de gases de efecto invernadero

O pavimento de concreto registra temperaturas mais baixas

Hartsfield Jackson Atlanta International Airport

Fonte: NASA/ EPA



Os pavimentos devem ser resistentes aos efeitos das mudanças climáticas, permitindo que as comunidades desfrutem de uma infraestrutura estável e operacional, mesmo após eventos sísmicos, incêndios, inundações, etc.



Devido à sua composição estrutural, os Pavimentos de Concreto resistem eventos que outros tipos de pavimentos não suportariam.

Por exemplo: um PC dentro de um túnel suporta temperaturas mais altas em caso de incêndio, permitindo a evacuação de pessoas e o acesso a corpos de socorro.



É um assunto muito importante.

Tendência: Medidas específicas de adaptação à variabilidade e mudança do clima.



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA

CAF

Banco de Desarrollo de América Latina

- ✓ Adaptação climática
- ✓ Resiliência
- ✓ Estabilidade
- ✓ Drenagem
- ✓ Temperatura
- ✓ Tipo de pavimento

CAF
DE AMÉRICA LATINA

| ÁMBITO | MEDIDA |
|----------------------|---|
| GEOTECNIA Y TALUDES | Mejora de la estabilidad de taludes: tendido de taludes y plantaciones. |
| | Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de desmonte. |
| | Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de rellenos. |
| | Mejora de la estabilidad de taludes: soluciones alternativas a desmontes y terraplenes (túneles y viaductos). |
| | Mejora de la estabilidad de taludes: desplazamiento del eje de la carretera. |
| | Mejora de la estabilidad de taludes: ejecución de falso túnel. |
| | Mejora de la protección de taludes: concreto hidráulico proyectado. |
| | Mejora de la protección de taludes: solución combinada entre medidas de bioingeniería y drenaje superficial. |
| HIDROLOGÍA Y DRENAJE | Mejora de la protección de taludes: protección de rellenos inundables. |
| | Plan de monitoreo del estado de los taludes. |
| | Estudio de detalle en cuencas y microcuencas. |
| | Mejora de drenaje en bajantes: areneros y disipadores de energía. |
| | Mantenimiento del cauce natural y protección de cauces y riberas: solución conjunta con obras de drenaje transversal, encauzamiento y sistemas de protección. |
| | Mejora del sistema de desagüe y control de caudales en cuencas aguas abajo: estanques de laminación. |
| ESTRUCTURAS | Mejora del sistema de desagüe y control del arrastre de sólidos (azudes de retención). |
| | Mejora del análisis dinámico del cauce / estructura: estudios de socavación en cimentaciones. |
| | Mejora del drenaje de las estructuras en los tableros. |
| | Implantación de obras de drenaje transversal de tipo preventivo en estribos de estructuras ejecutadas en terraplén. |
| PAVIMENTOS | Mejora del comportamiento del pavimento al aumento de las temperaturas. |
| | Empleo de pavimentos de concreto. |
| | Reducción de tiempos / longitud de recorrido de escorrentías por medio de hendiduras en el pavimento. |

7

Em constante evolução



Pavimentos de concreto permeáveis



O maior inimigo de um pavimento é a má qualidade



1. Erros de conceito
2. Procedimentos mal aplicados
- 3. Erros humanos**
4. Equipamentos mal utilizados
5. Mudança de materiais

Ag



Fazer as coisas bem feitas, não vale mais



Esta é a maneira certa de passar o equipamento

A photograph of a stone wall and a path. The wall is made of rough, grey stones and has a path leading up to it. There are some yellow flowers on the left side of the path. The text "Muito obrigado" is overlaid in the center of the image.

Muito obrigado

diegojaramillo@asocreto.org.co