



Técnicas de Manutenção e Reabilitação de Pavimentos Asfálticos

PTR3521 – Avaliação e Reabilitação de Pavimentos

Prof. José Balbo

Profa. Kamilla Vasconcelos



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



CONCEITOS INICIAIS

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PAVIMENTO



PROBLEMAS FUNCIONAIS:

- não há problemas estruturais
- há a necessidade de correção de defeitos superficiais
 - restauração da aderência

PROBLEMAS ESTRUTURAIS:

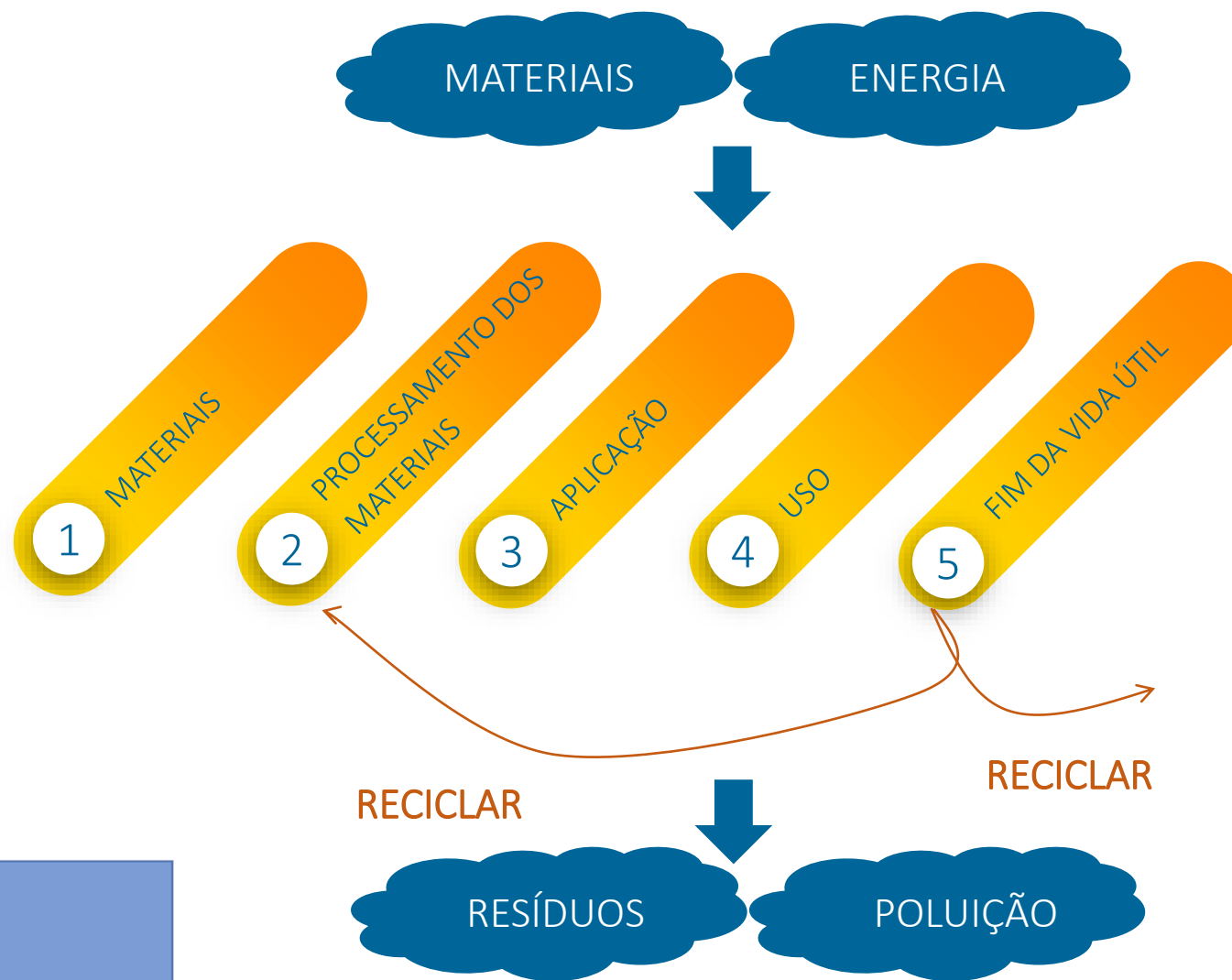
- comprometimento da estrutura
- perspectiva de aumento do tráfego
- novas camadas: **recapeamento**
- tratamento das camadas existentes (como **reciclagem**)



RECICLAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS



INTRODUÇÃO (Ciclo de vida dos pavimentos)





ANTES DA RECICLAGEM...

TRINCAMENTO POR
FADIGA



DEFORMAÇÃO
PERMANENTE



EXSUDAÇÃO

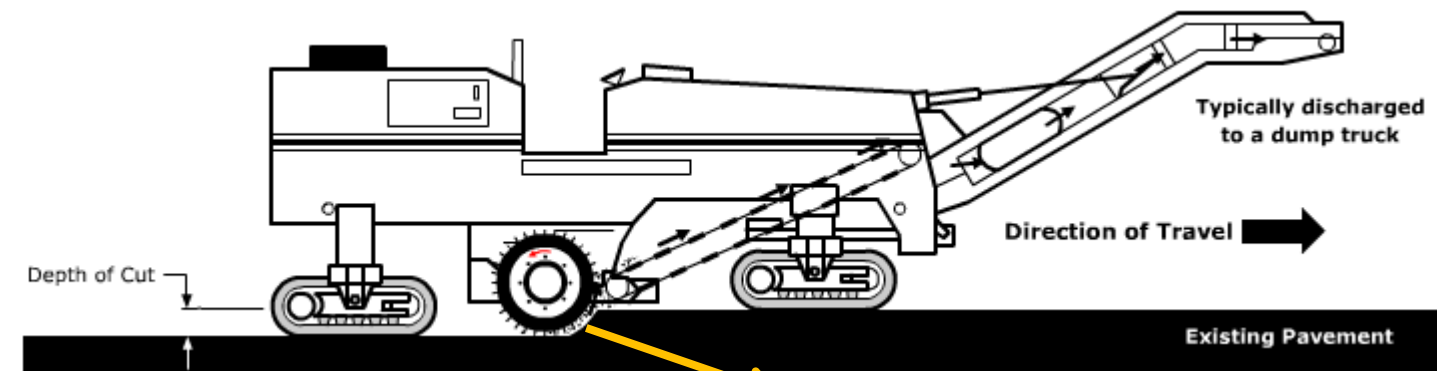


QUANTO PRECISA SER RETIRADO/RESTAURADO?



INTRODUÇÃO (Fresagem)

FRESAGEM



REUTILIZAÇÃO DO MATERIAL
ASFÁLTICO ENVELHECIDO





INTRODUÇÃO (RAP)

RAP

Reclaimed Asphalt Pavement

A FRESAGEM é a principal fonte
para obtenção do RAP

Fonte: West, 2015



Todos os dias, centenas de metros cúbicos de material fresado são gerados em todo o Brasil.

Fonte: Bonfim, 2013

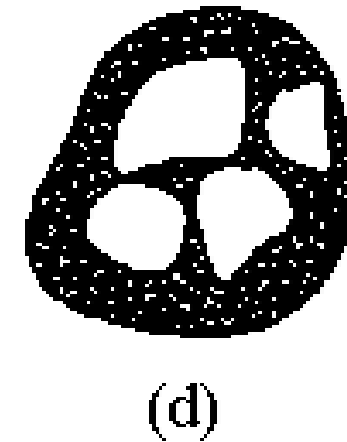
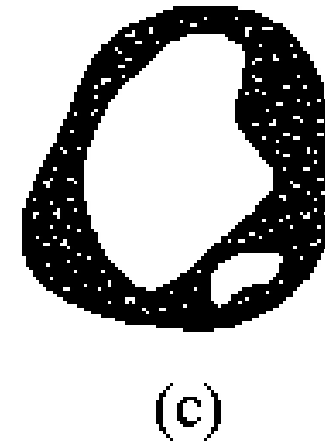
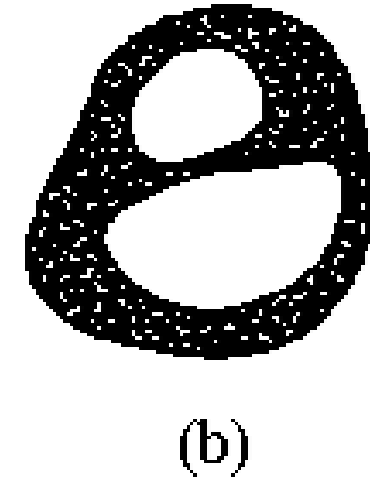
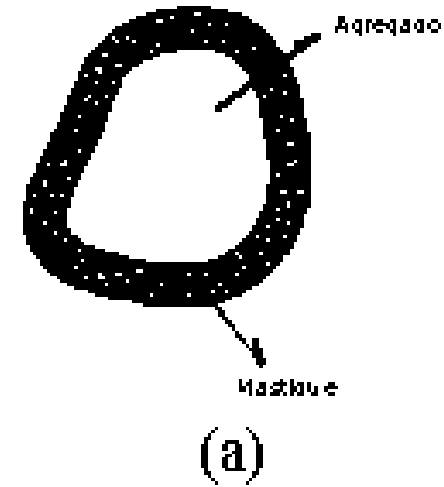
Somente na cidade de São Paulo são gerados em torno de 40 mil toneladas de RAP todos os meses.

Fonte: Suzuki e Bonfim, 2017



INTRODUÇÃO (RAP)

Possível Heterogeneidade do Material Fresado





RECICLAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Ciclo da reciclagem da mistura asfáltica do revestimento

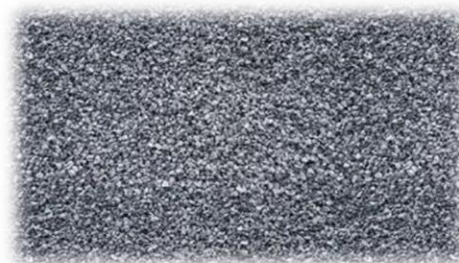


RECICLAGEM **A QUENTE** EM USINA
RECICLAGEM **MORNA** EM USINA
RECICLAGEM **A FRIO** EM USINA (Espuma ou com emulsão)
RAP + cimento + agregados



RECICLAGEM A QUENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS

MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A QUENTE





DOSAGEM DE MISTURAS RECICLADAS



- Granulometria
- Teor de asfalto

- **Propriedades do asfalto**
- Tipo e dosagem do agente rejuvenescedor

EUA

- **RAP < 15%** → Não é necessária nenhuma mudança na classificação PG;
- **15% ≤ RAP ≤ 25%** → Selecionar o ligante virgem um grau de desempenho menor que o projeto inicial;
- **RAP > 25%** → Seguir recomendações dos *blending charts*.

EUROPA

- Penetração;
- Ponto de amolecimento.



ADAPTAÇÕES NECESSÁRIAS NA USINA DE ASFALTO

- Usina gravimétrica (**baixo teor de RAP $\leq 25\%$**)
- Entrada no misturador

Adição de **AGENTE DE RECICLAGEM (AR)** na linha de ligante



CORREIA TRANSPORTADORA DE MATERIAL
RECICLADO





MÚLTIPLAS RECICLAGENS

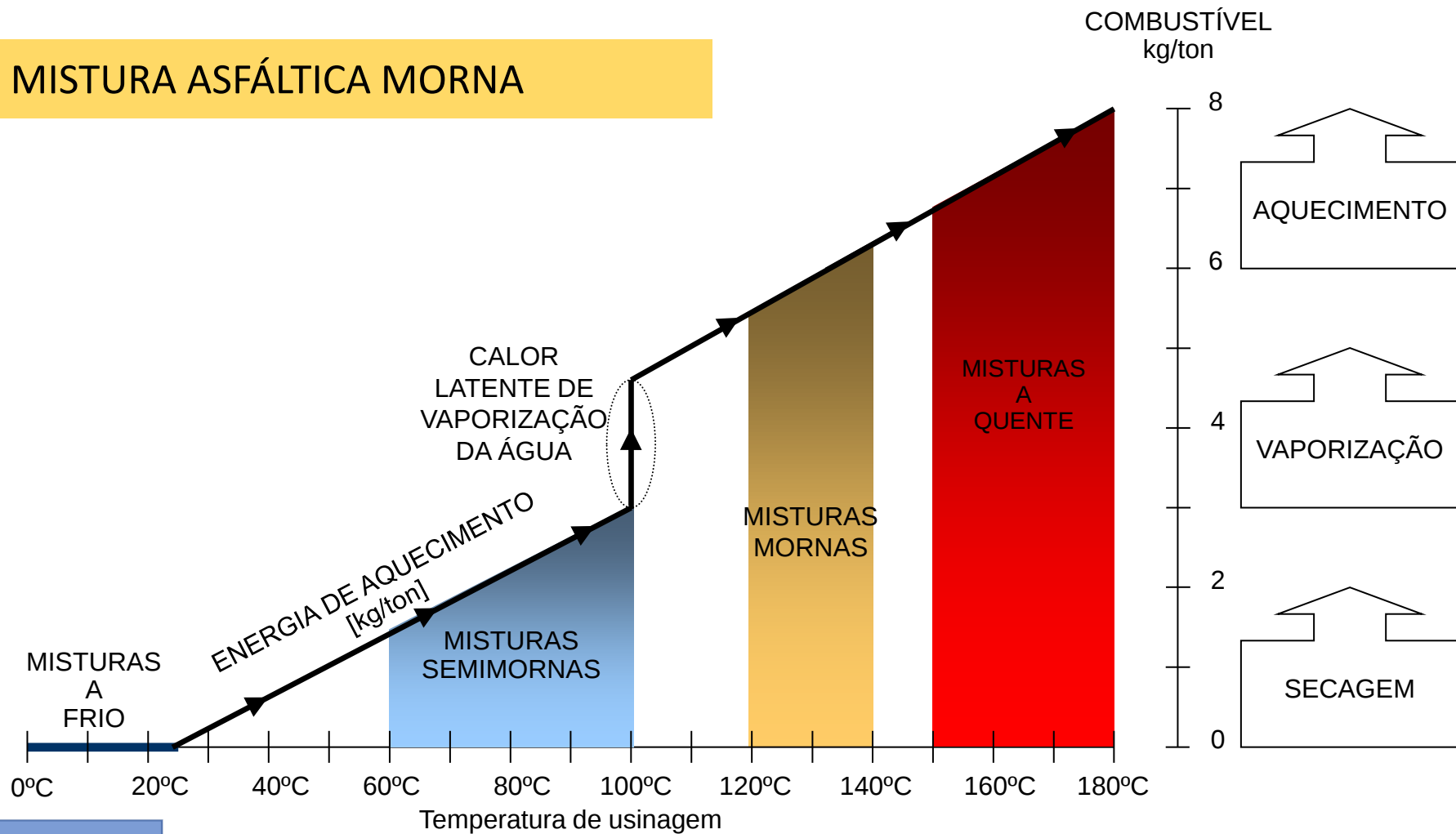
O QUE É?





RECICLAGEM MORNA DE MISTURAS ASFÁLTICAS

MISTURA ASFÁLTICA MORNA





COMBINAÇÃO DAS DUAS TÉCNICAS

Economia de Recursos



Economia de Energia

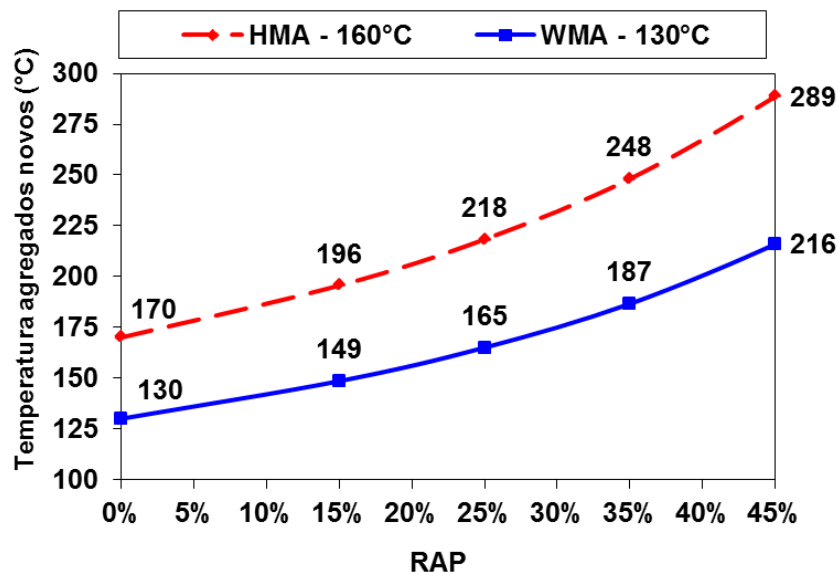




COMBINAÇÃO DAS DUAS TÉCNICAS

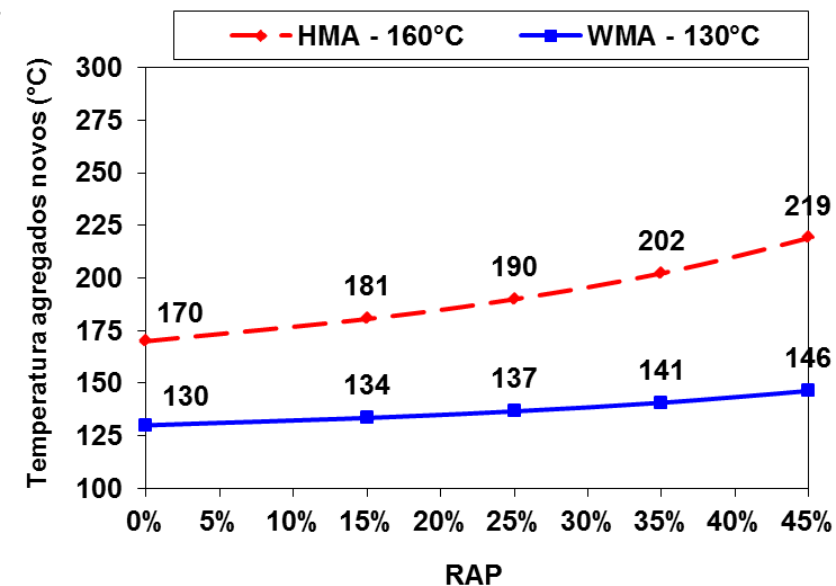
- O aquecimento do RAP se dá por transferência de calor entre os agregados novos e o RAP em muitos cenários
- Baseado em princípios da termodinâmica, utiliza-se a equação para determinar a temperatura de aquecimento dos agregados novos:

RAP entrando no misturador à temperatura ambiente (25°C)



$$T_{\text{agregados}} = \frac{T_{\text{fab}} - \text{RAP} \times T_{\text{RAP}}}{1 - \text{RAP}}$$

RAP entrando no misturador à temperatura de 110°C





COMBINAÇÃO DAS DUAS TÉCNICAS



É PRECISO QUE HAJA CALOR SUFICIENTE PARA ATIVAR
O LIGANTE ASFÁLTICO DO MATERIAL FRESADO



RECICLAGEM A FRIO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

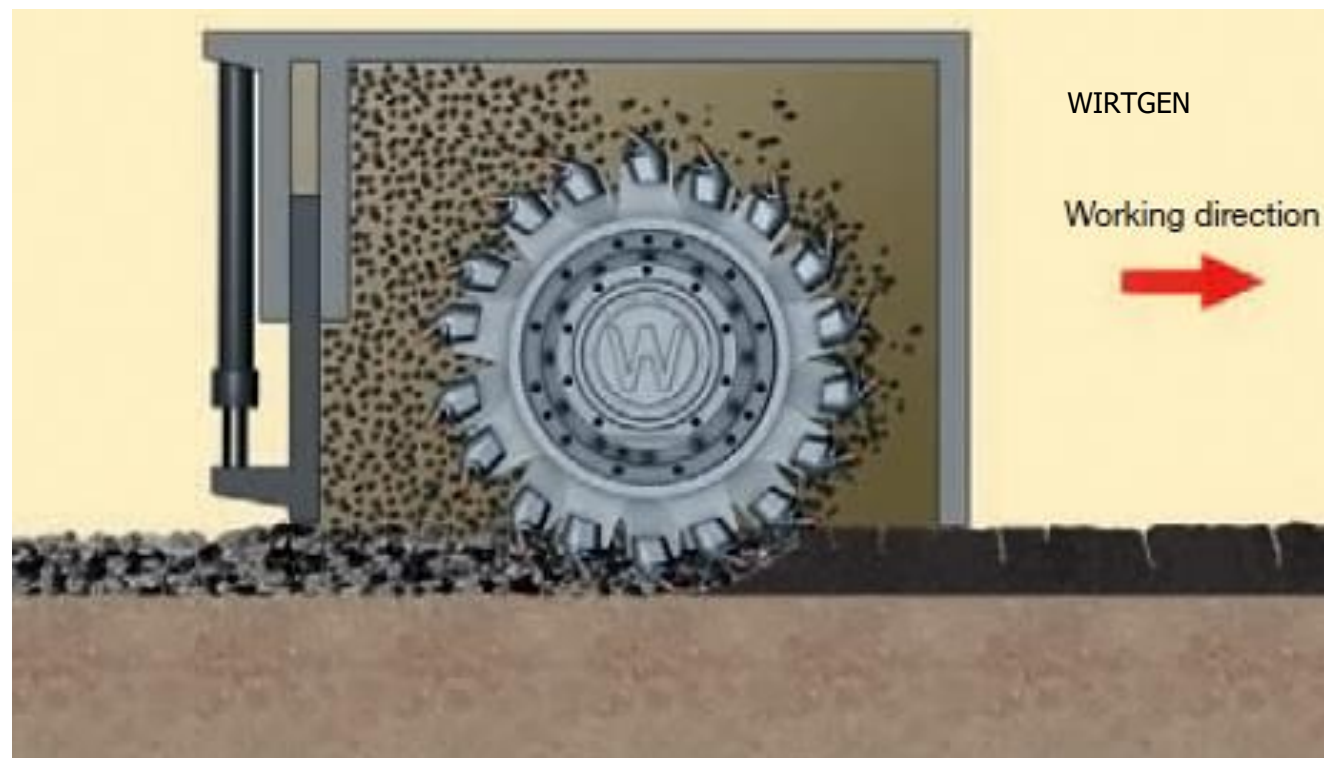
MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

PROFUNDIDADE VARIÁVEL
USUALMENTE > 200mm

FRESADO É INCOPORADO A
NOVA MISTURA

NOVA MISTURA ESTABILIZADA
POR **EMULSÃO** OU **ESPUMA**

ADITIVOS: **CIMENTO PORTLAND**, **CAL
HIDRATADA**, CINZA VOLANTE, ESCÓRIA DE
ALTO-FORNO MOÍDA; ESTABILIZAÇÃO
GRANULOMÉTRICA, ETC.



FRESADO NESSE CONTEXTO PODE CONTER:

MATERIAL ASFÁLTICO

MATERIAIS CIMENTÍCIOS

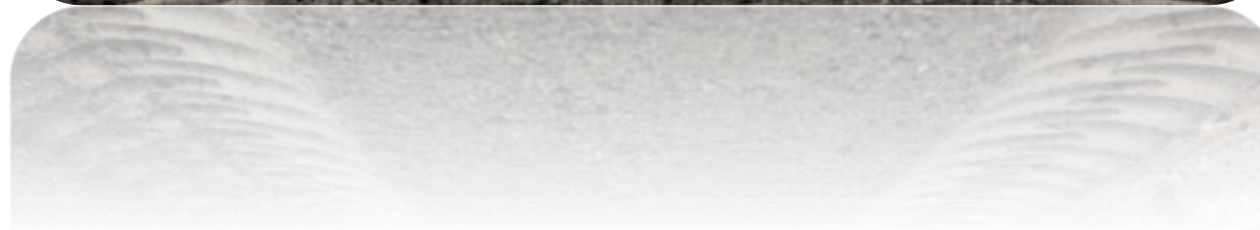
BASES GRANULARES

OUTROS



MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

- São empregadas como base ou sub-base;
- Recebem camada de revestimento asfáltico;
- Para proteção mecânica e impermeabilização.





MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

A FRIO?



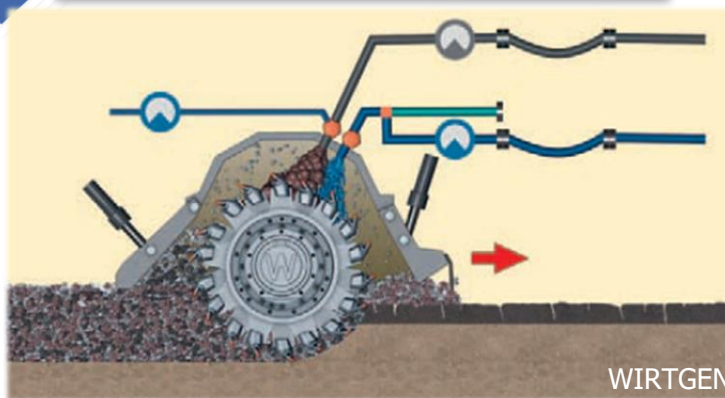
AUSÊNCIA DE AQUECIMENTO

MISTURA



EM USINA

IN LOCO





MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

ESTABILIZANTE ASFÁLTICO

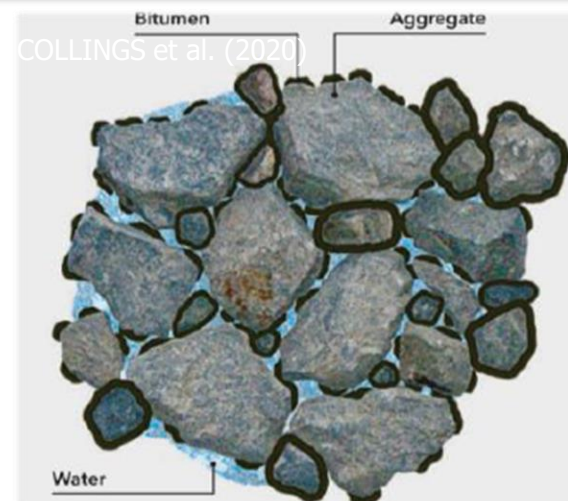


EMULSÃO ASFÁTICA



ASFALTO ESPUMADO

TEOR RESIDUAL DE
LIGANTE ASFÁLTICO
USUAL
~2,0%

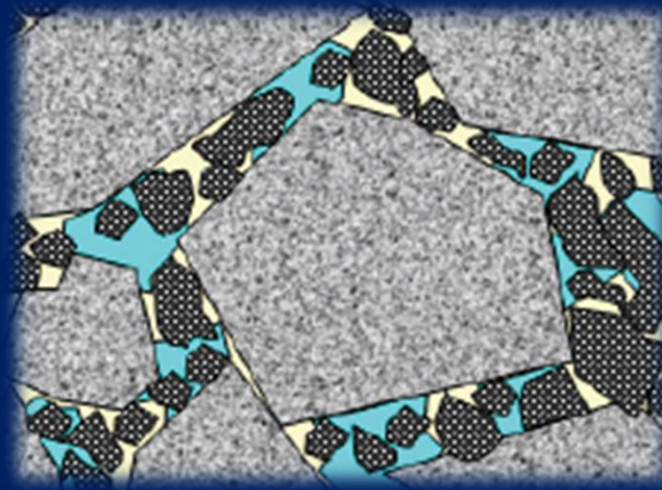




MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

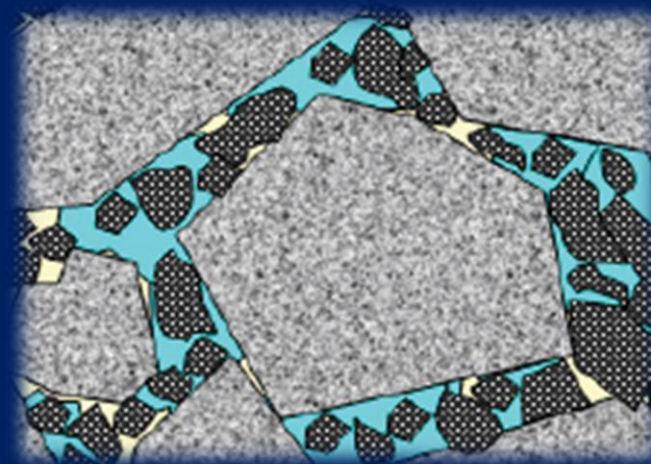
**ESPUMA
DE
ASFALTO**

Spot-welding



**EMULSÃO
ASFÁLTICA**

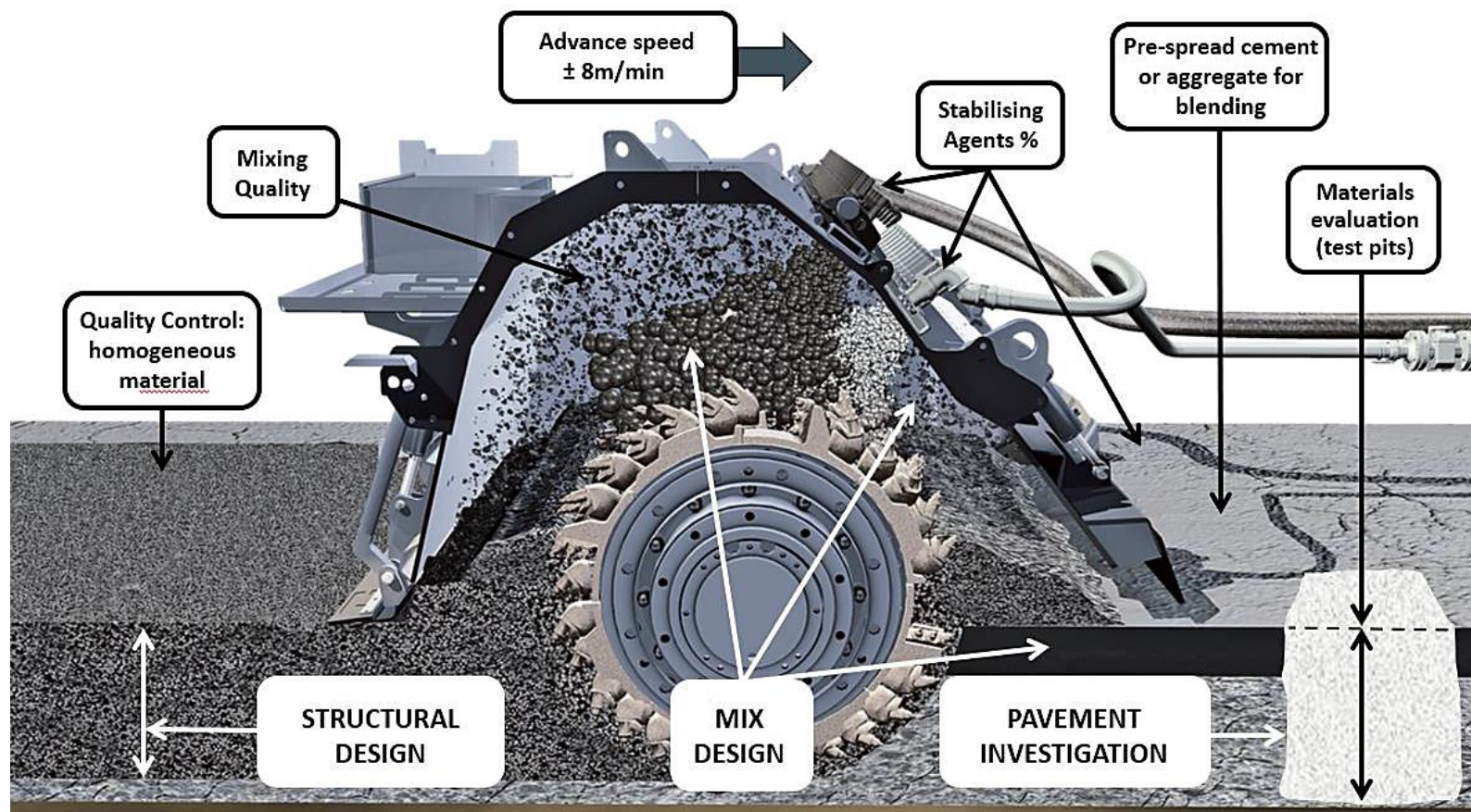
Painting





MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO

* No Brasil, a liberação do tráfego ocorre sem esperar que o material esteja curado. Em outros países, é comum aguardar alguns dias para a cura do material.



RÁPIDA LIBERAÇÃO DO TRÁFEGO*

ECONOMIA DE RECURSOS NATURAIS E ENERGIA

REDUÇÃO DE CUSTOS

REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA



MISTURA ASFÁLTICA RECICLADA A FRIO



EXISTE UMA GRANDE DIFERENÇA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO A DEPENDER DE SUA COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA INTERNA



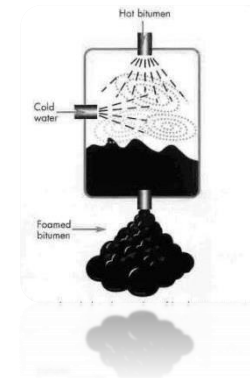
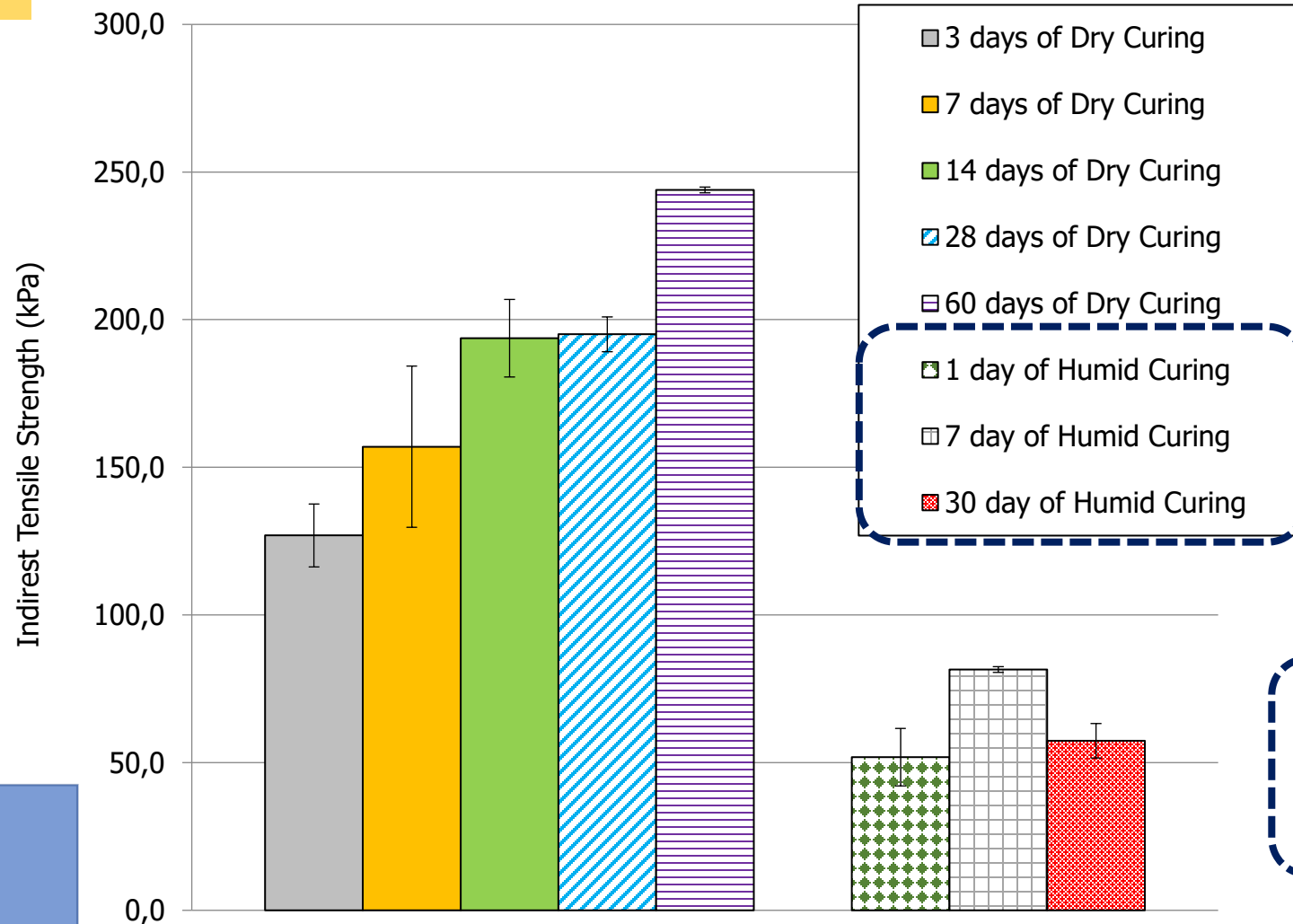
MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO

AS MISTURAS RECICLADAS A FRIO
PASSAM POR UM **PROCESSO DE CURA**
APÓS SUA PREPARAÇÃO



MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO

CURA (LABORATÓRIO)



**AMOSTRAS
MANTIDAS EM
SACOS VEDADOS**

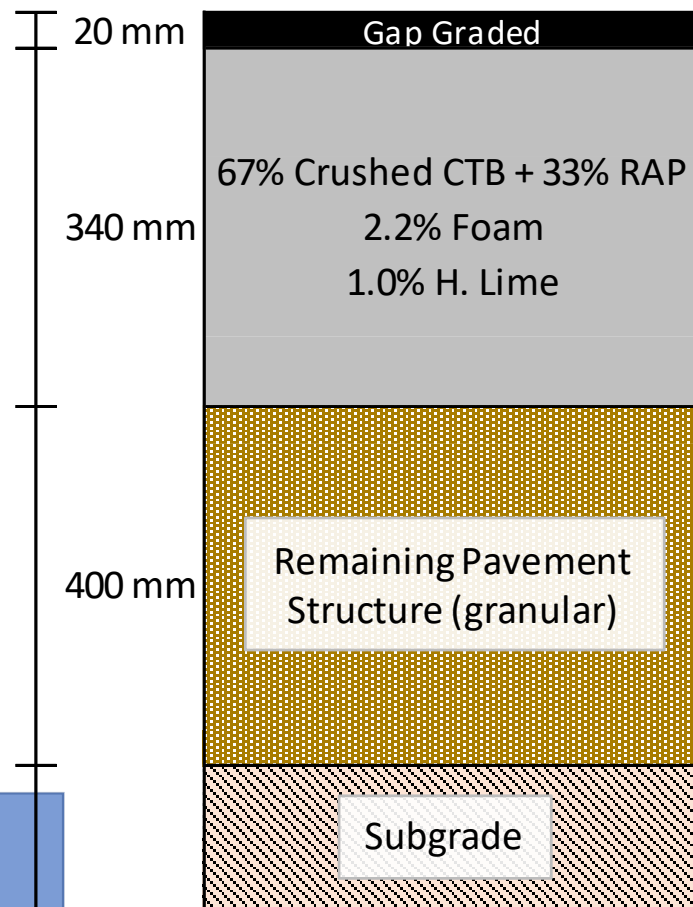
Guatimosim (2015)



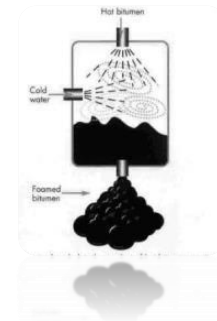
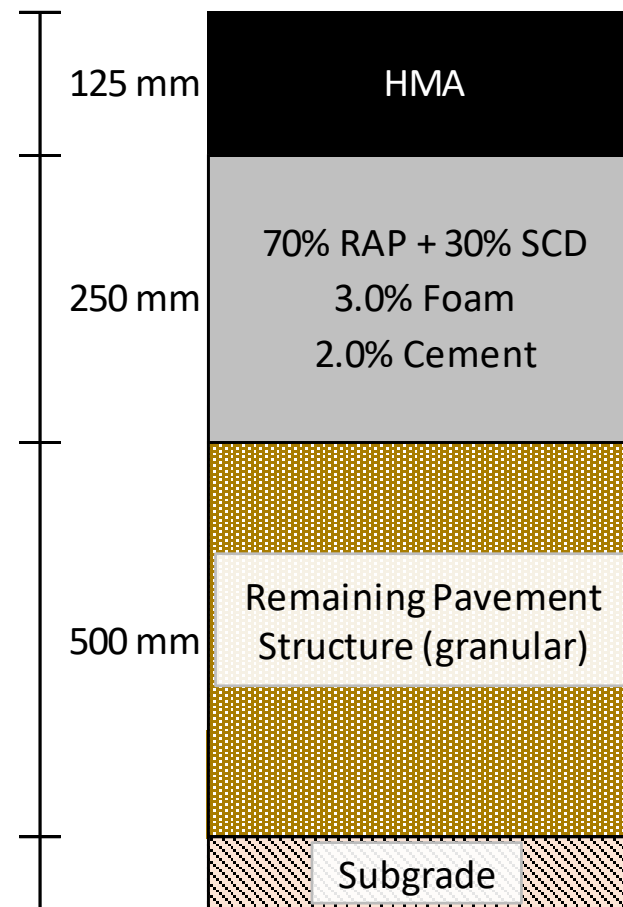
MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO

CURA (CAMPO)

Trecho 1



Trecho 2

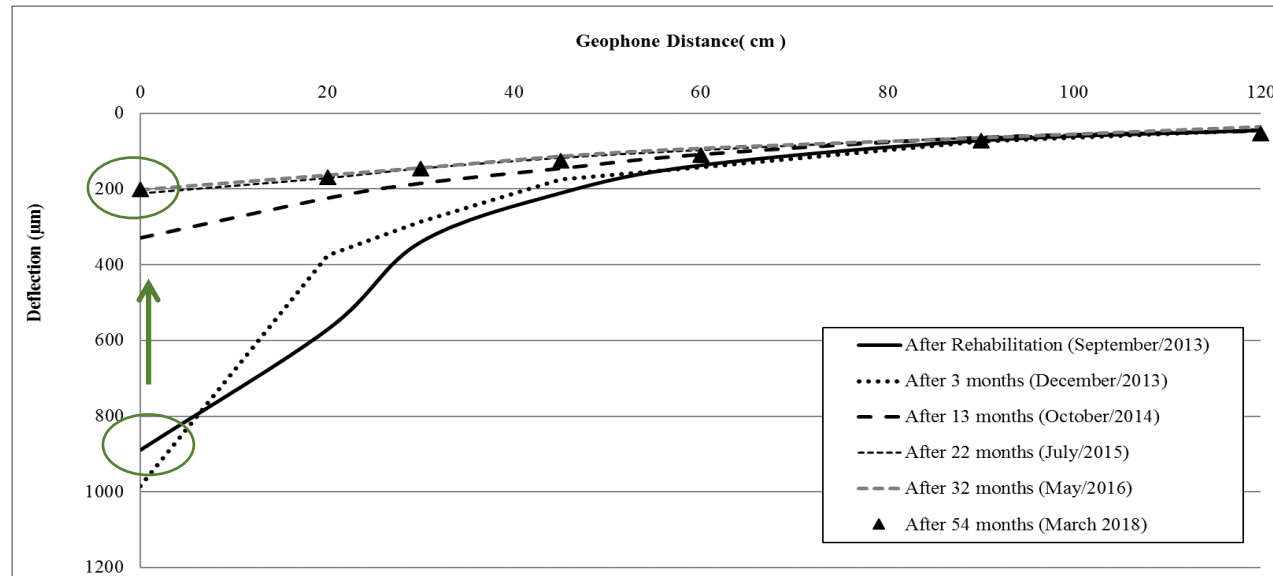


Guatimosim (2019)



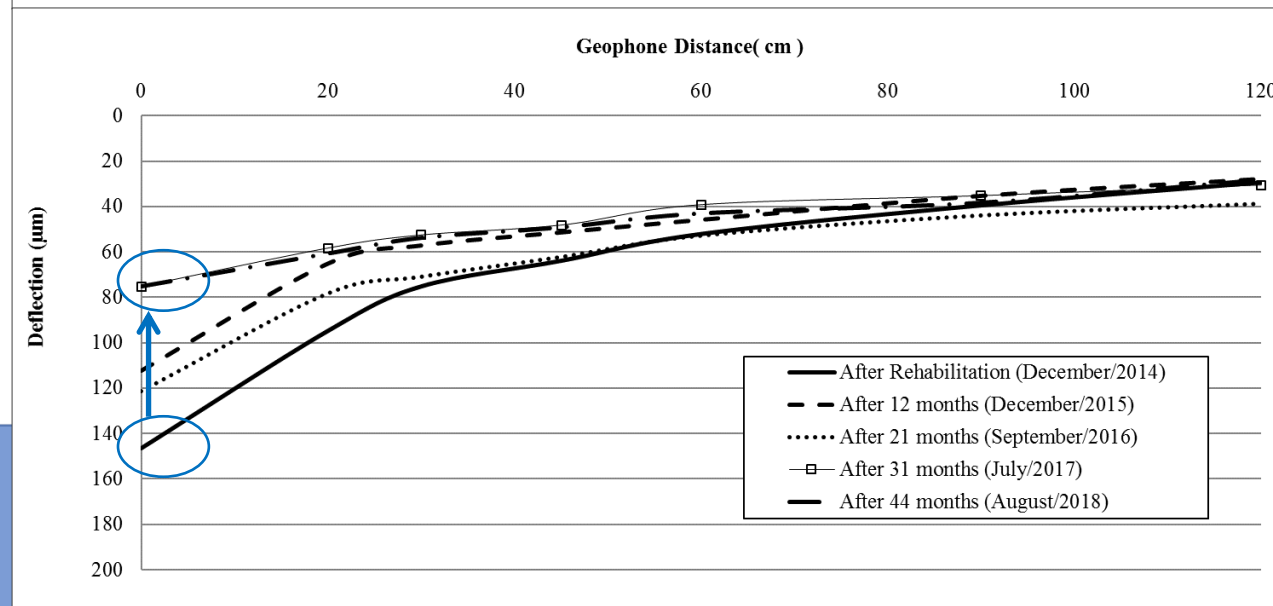
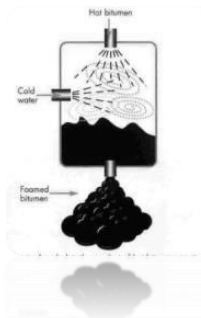
MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO

CURA (CAMPO)



Trecho 1

CTB+RAP_2.2F1H



Trecho 2

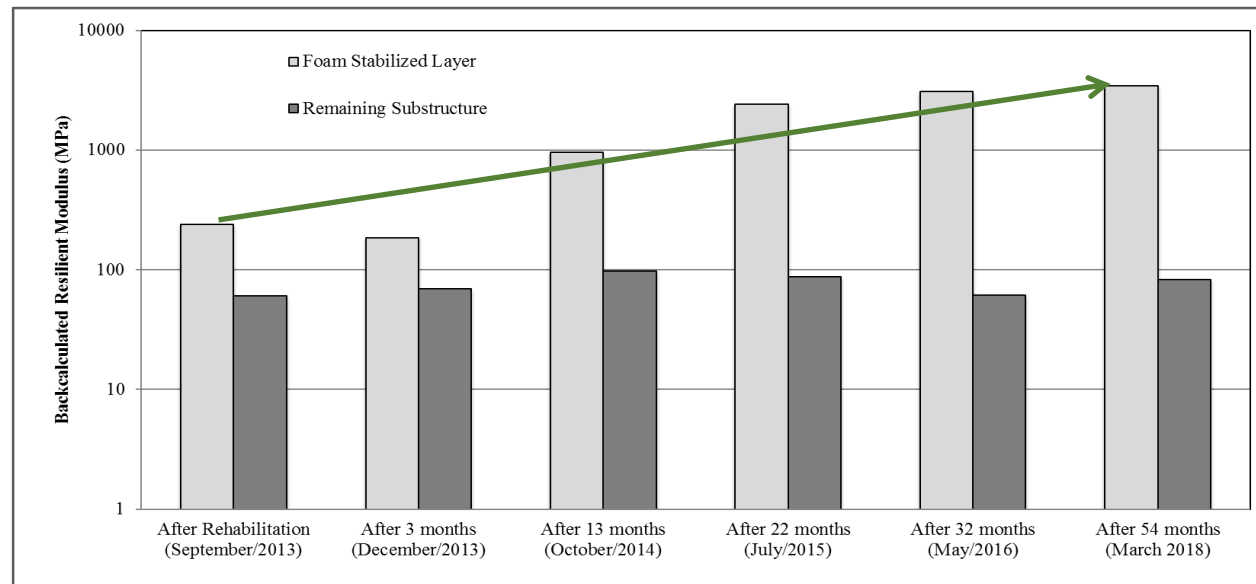
RAP_3F2C

Guatimosim (2019)



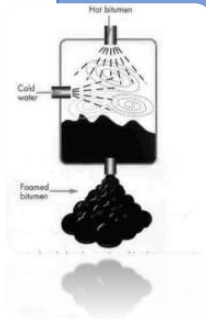
MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A FRIO

CURA (CAMPO)

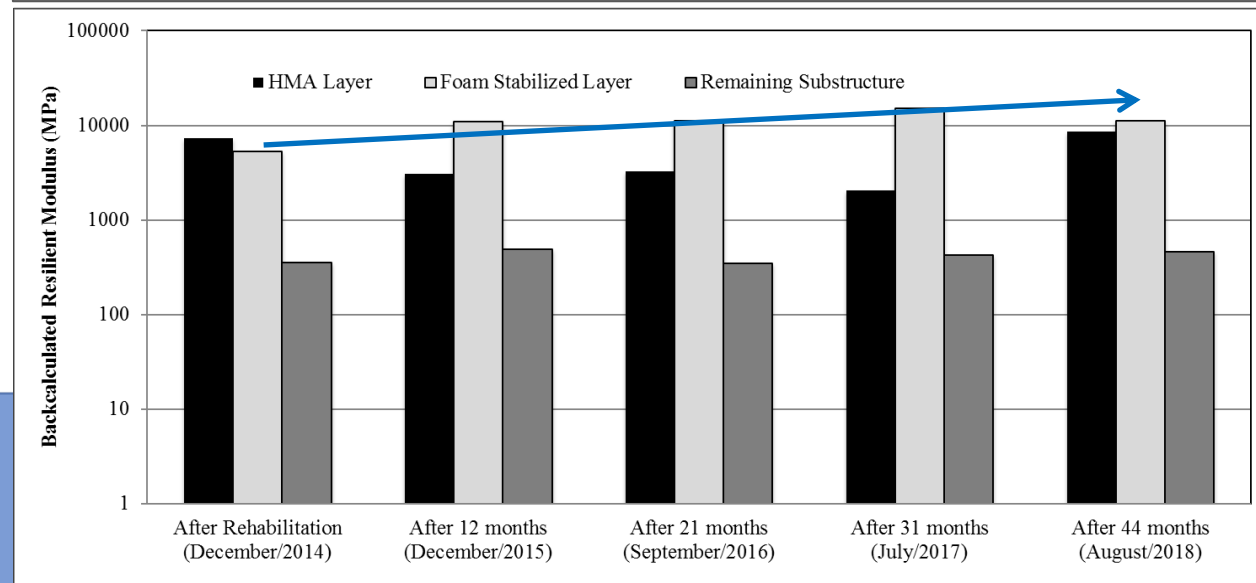


Trecho 1

CTB+RAP_2.2F1H



Guatimosim (2019)



Trecho 2

RAP_3F2C



RECICLAGEM

Reciclagem de base com emulsão asfáltica



Segurança do Usuário

Dissertação – Amanda Marcandali da Silva



RECICLAGEM

Reciclagem de base com emulsão asfáltica

Construção do Trecho Experimental



Técnicas execução parecidas

Construção do Trecho Experimental



Rápida abertura ao tráfego



RECICLAGEM

Reciclagem de base com emulsão asfáltica

Monitoramento da Superfície

Concreto Asfáltico



Microrrevestimento

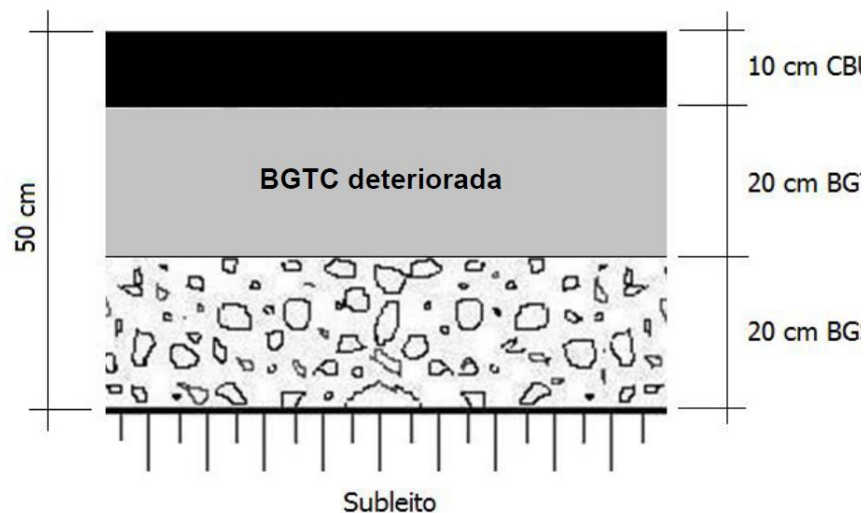




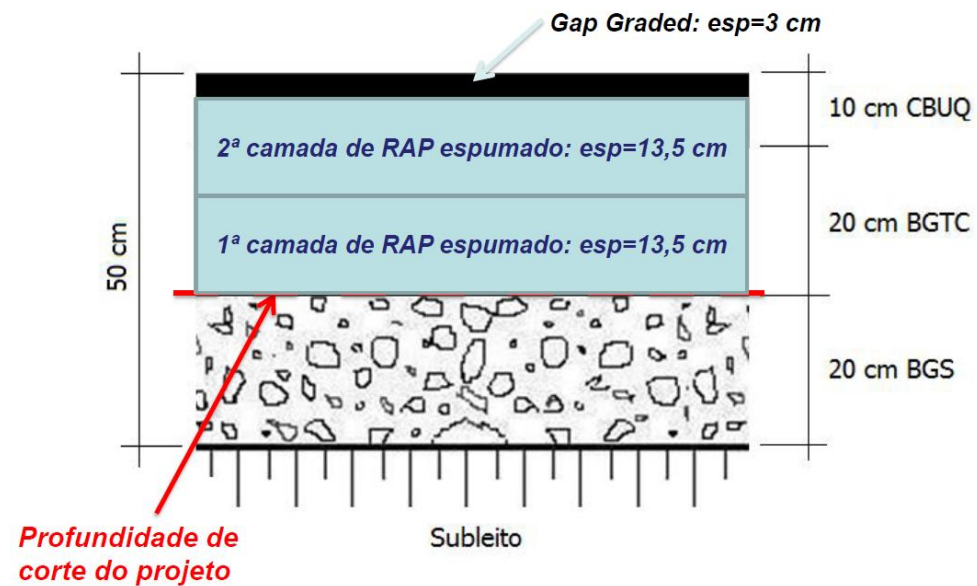
RECICLAGEM

Reciclagem de base com espuma asfáltica

Seção transversal existente



Seção transversal existente



Apud: Valmir Bonfim



RECICLAGEM

Reciclagem de base com espuma asfáltica



Apud: Valmir Bonfim



RECICLAGEM

Reciclagem de base com espuma asfáltica

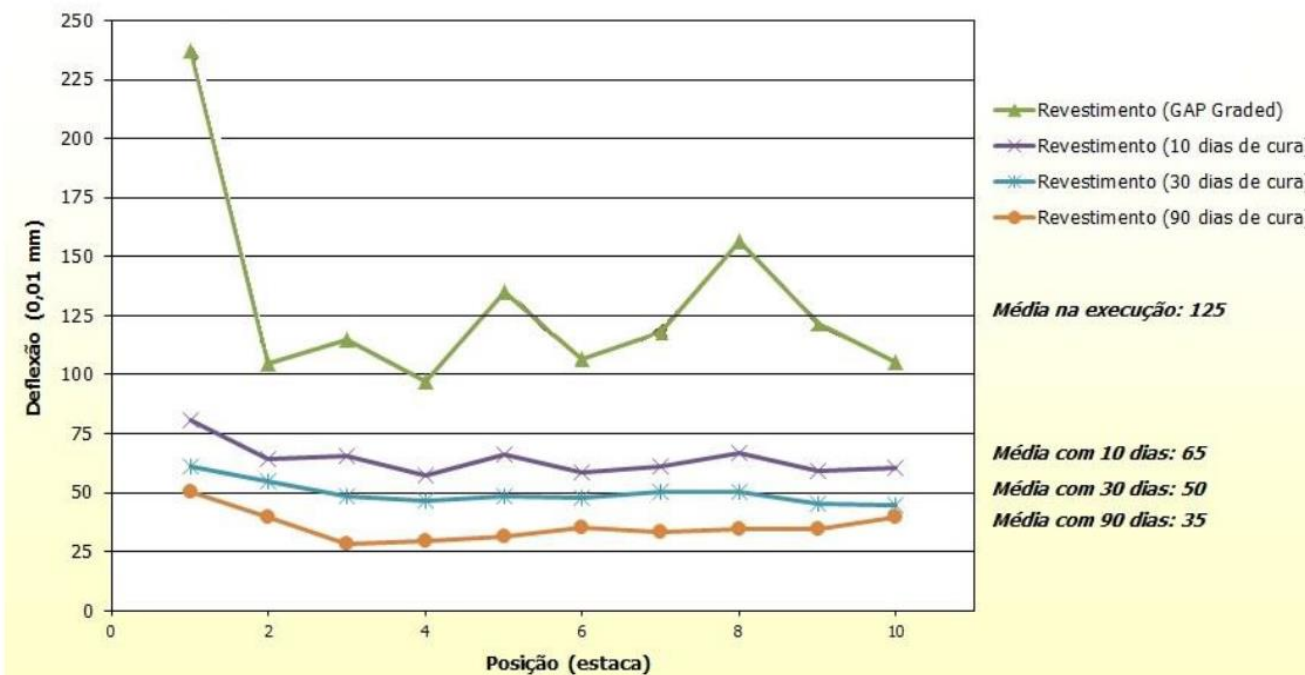


Apud: Valmir Bonfim



RECICLAGEM

Reciclagem de base com espuma asfáltica

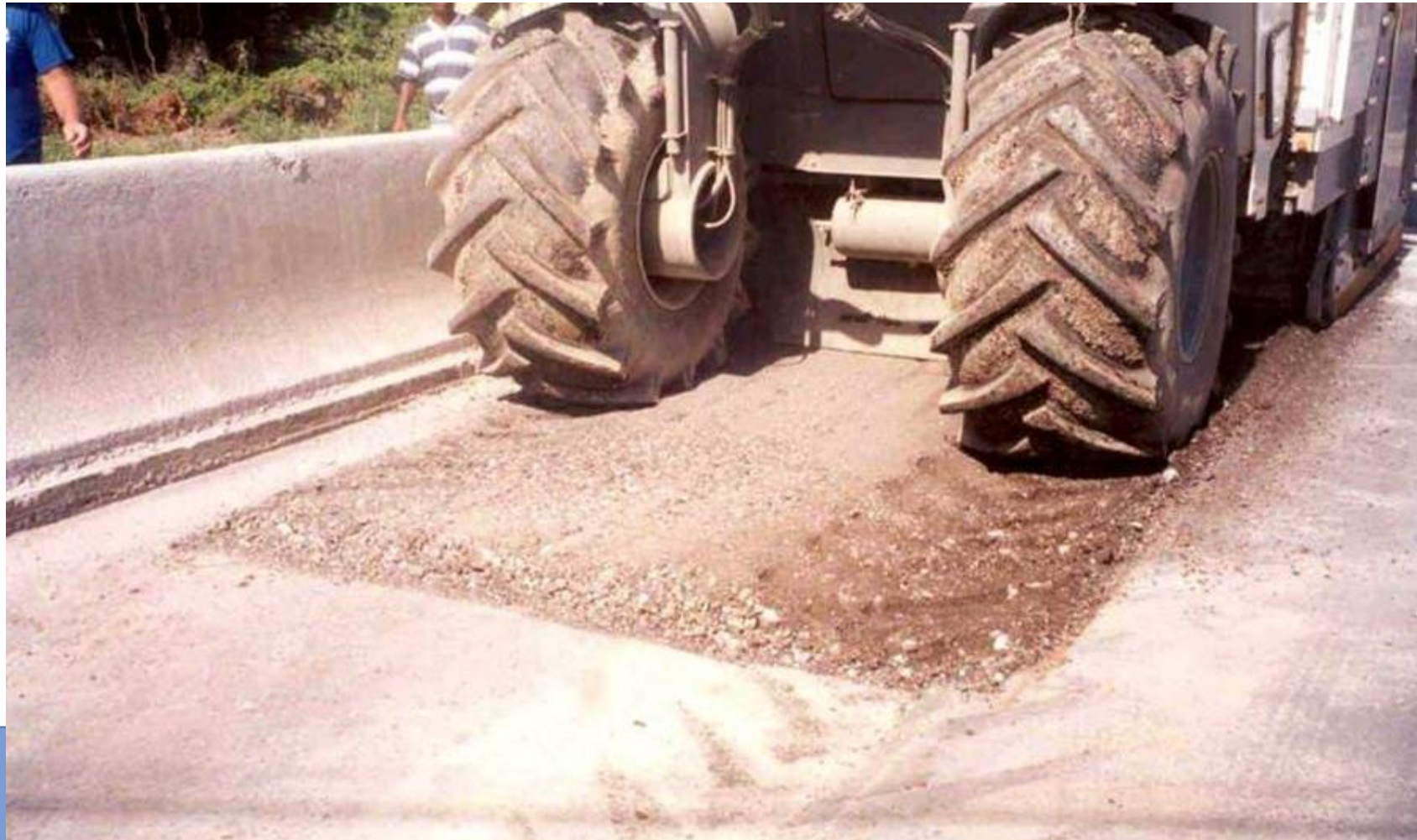


Apud: Valmir Bonfim



RECICLAGEM

Exemplo de fresagem e reciclagem com espuma de asfalto





RECICLAGEM

Exemplo de fresagem e reciclagem com espuma de asfalto

Espessura
fresada
e reciclada





RECICLAGEM

Exemplo de fresagem e reciclagem com espuma de asfalto





RECICLAGEM

Exemplo de fresagem e reciclagem com espuma de asfalto

Vista do conjunto:
Caminhão de ligante,
fresadora recicladora
e rolo compactador





RECICLAGEM

Exemplo de fresagem e reciclagem com espuma de asfalto

Compactação
final



Nogueira, 2004



**NÃO É APENAS O
REVESTIMENTO ASFÁLTICO QUE
PODE SER RECICLADO!**



RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Antes da restauração



Rodovia Fernão Dias

Trecho entre:
São Paulo e
Belo Horizonte.

Entre os quilômetros:
641,5 e 642,3

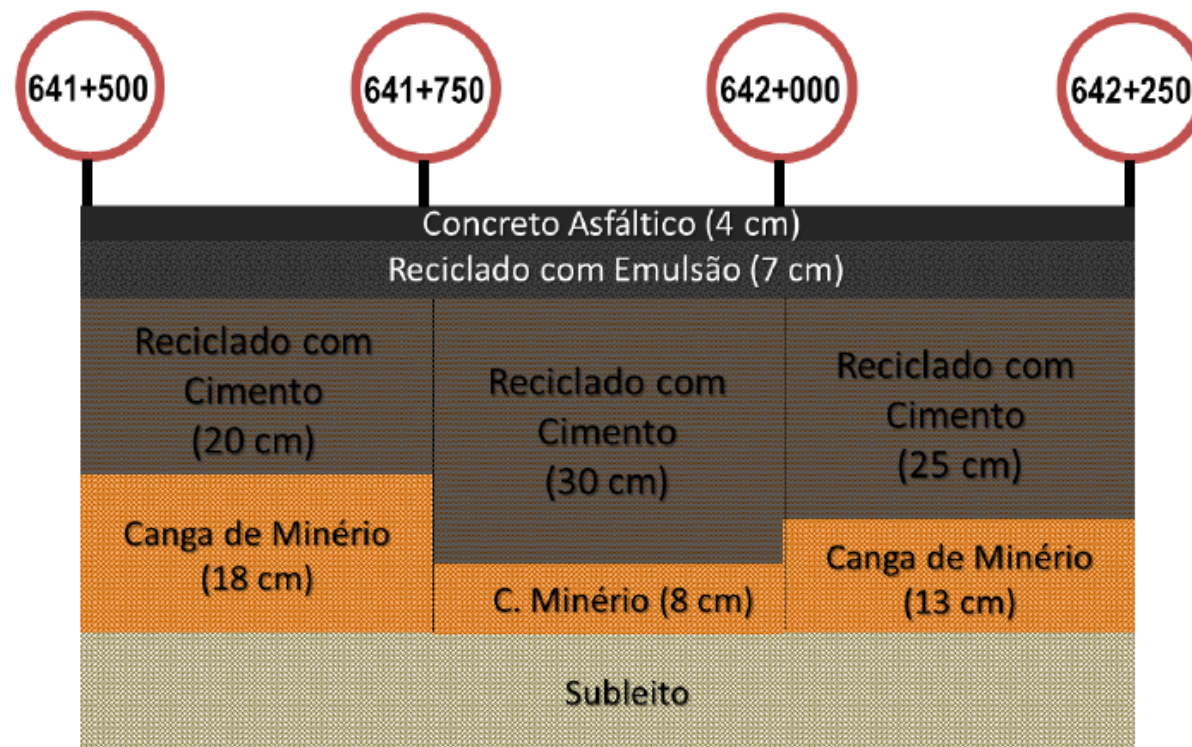


Dissertação – Ana Luisa Aranha



RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Projeto de restauração



Dissertação – Ana Luisa Aranha



RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Construção do trecho experimental

Fresagem do
revestimento asfáltico
(Reciclagem a frio com
emulsão asfáltica em
usina)





RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Construção do trecho experimental

Reciclagem da base granular in situ com
adição de Cimento
Portland





RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Construção do trecho experimental

Ajuste do teor ótimo de água da mistura reciclada com cimento e uso da recicladora para mistura dos materiais





RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Construção do trecho experimental

Compactação da mistura
reciclada com cimento





RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Construção do trecho experimental

Aplicação da mistura reciclada a frio com emulsão asfáltica (binder) e na sequência do novo revestimento asfáltico (capa)





RECICLAGEM DE BASE COM CIMENTO

Condição Estrutural

Importância da CURA (tanto da mistura reciclada com cimento, como da mistura reciclada com emulsão)

