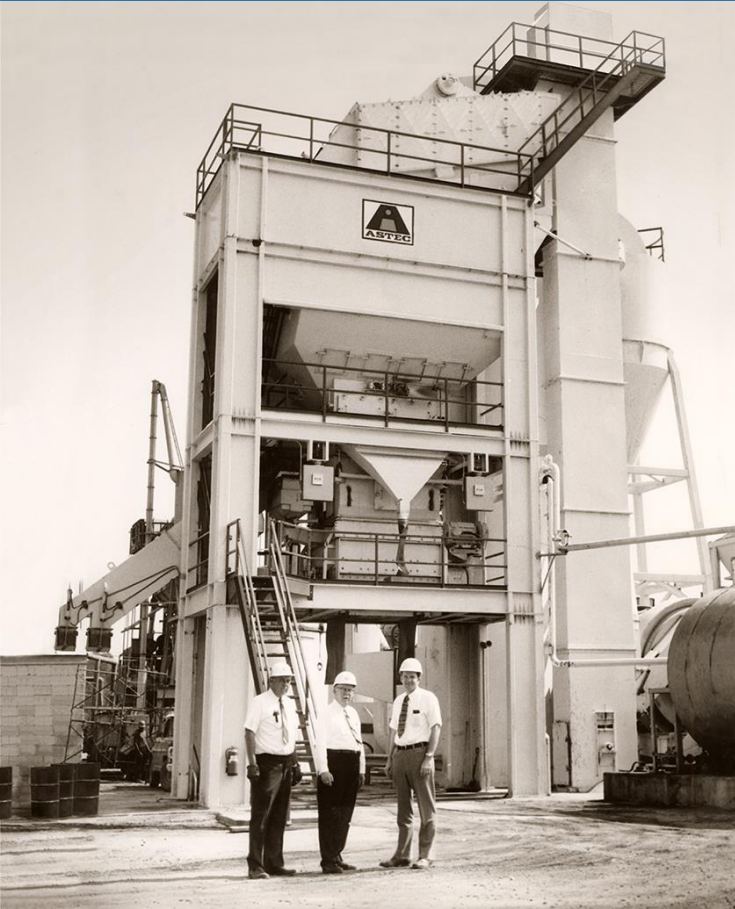




**Experiências práticas nos EUA em
reciclagem a quente e a frio**

Eng. Juliano Gewehr
Maio de 2022

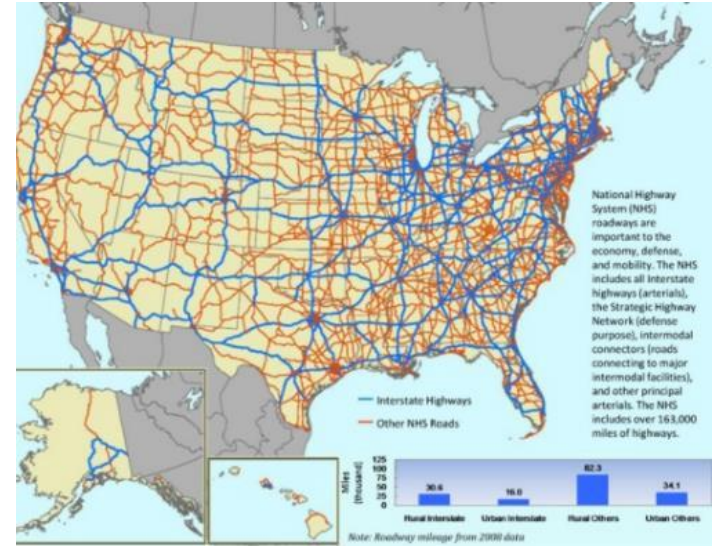
50 anos de ASTEC



Larga experiência em reciclagem

- Astec foi fundada em 1972 em Chattanooga, Tennessee, Estados Unidos.
- Líder de mercado em usinas de asfalto com alto reaproveitamento de RAP e veículos transferidores de materiais.
- Experiência desde os anos 1980 em equipamentos de reciclagem de pavimentos.

Décadas de experiência em reciclagem nos EUA



Estados Unidos é o maior mercado do mundo em usinas de asfalto, com produção anual de mais de 600 milhões de toneladas de asfalto

Décadas de experiência em reciclagem nos EUA



Desde 2009, o asfalto é o material mais reciclado nos Estados Unidos. Mais do que papel, metal, latas de alumínio ou vidro, segundo a NAPA (*National Asphalt Pavement Association*).

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Duas soluções técnicas amplamente usadas nos Estados Unidos.
Métodos com algum conhecimento no Brasil.



RECICLAGEM A FRIO IN SITU

FDR - Full Depth Reclamation

Uso de recicladora com adição
de cimento, emulsão ou espuma asfáltica



RECICLAGEM A QUENTE

Reaproveitamento de RAP em
usina de asfalto

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Terceira opção técnica totalmente desconhecida no Brasil.



RECICLAGEM A FRIO IN SITU ***FDR - Full Depth Reclamation***

Uso de recicladora com adição
de emulsão asfáltica



RECICLAGEM A QUENTE Reaproveitamento de RAP em usina de asfalto



RECICLAGEM A FRIO IN SITU ***CIR – Cold-In Place Recycling*** Uso de máquina híbrida fresadora/recicladora com adição de emulsão asfáltica

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Rodovias projetadas nos anos 1960/1970
para volume de tráfego da época



Volume de tráfego atual requer adequação
da capacidade de suporte das rodovias. A
técnica da reciclagem *in-situ* é uma
excelente alternativa.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



- Máquina recicladora em uma única passada executa o corte, mistura e homogeneização dos materiais. Proporciona aumento da capacidade de suporte.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Materiais para reforço e melhoria técnica podem ser adicionados:

CIMENTO



ASFALTO

Emulsão
asfáltica



Espuma de
asfalto



Experiências em reciclagem a quente e a frio



RECICLAGEM COM CIMENTO

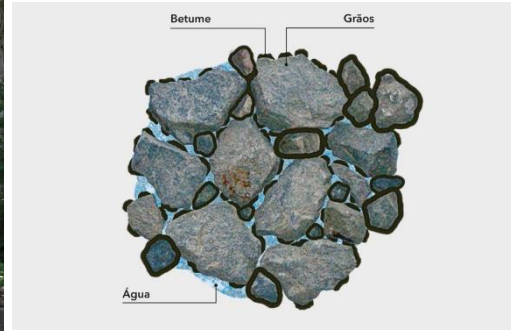
- Dosagem geralmente é inadequada.
- Rápida hidratação (endurecimento) que pode gerar trincas na compactação.



CAMADA RECICLADA

- Propagação de trincas para a camada asfáltica.
- Quebras em blocos.
- Infiltração de água, erosão de baixo para cima (bombeamento de finos).

Experiências em reciclagem a quente e a frio

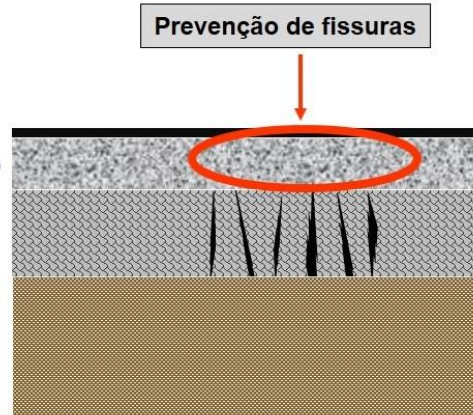


RECICLAGEM COM ASFALTO

- Recicladora conectada a um caminhão-tanque com emulsão.
- Material com pontos de conexão entre asfalto e agregados.

Camada com asfalto espumado

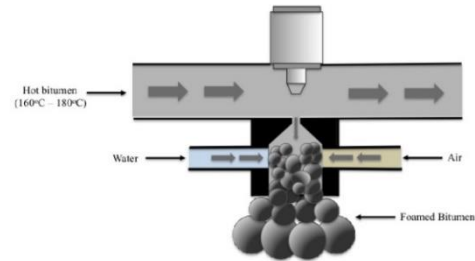
Camada cimentada



CAMADA RECICLADA

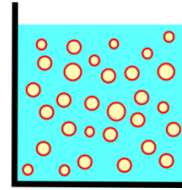
- Aumento de resistência com flexibilidade.
- O pavimento se deteriora apenas superficialmente.
- Evita a propagação de trincas, camada parcialmente ligada.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



ESPUMA DE ASFALTO

- Combinação de asfalto, água e ar, com expansão de volume.
- Necessita de um equipamento caro e preparado de fábrica (sem retrofit posterior).
- Suscetível a ocorrer erros no processo de espuma (taxa de expansão e meia-vida), exige equipe altamente especializada.
- Limitação de graduação, exige um mínimo de finos.



EMULSÃO ASFÁLTICA

- Suspensão de gotículas de asfalto em água com agentes emulsificantes.
- Novas emulsões com rápido tempo de ruptura, com liberação posterior do tráfego.
- Aplicação mais simples, utilizando o sistema de aspersão de água existente nas recicladoras.

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Conceitos de reciclagem de pavimentos:

Reciclagem rasa
(CIR) *Cold In-place Recycling*



Uso de fresadoras híbridas

corte de até 12,7 cm (5") – modelo RX 700

corte de até 20,3 cm (8") – modelo RX 900

Reciclagem profunda
(FDR) *Full Depth Reclamation*



Uso de estabilizadoras recicladoras

até 35,6 cm (14") de profundidade

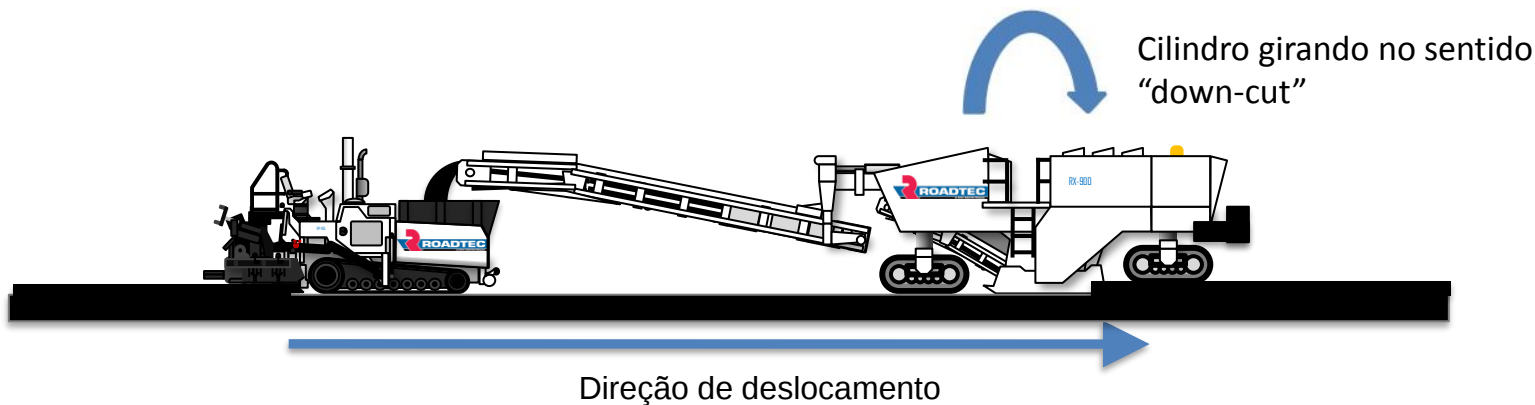
Experiências em reciclagem a quente e a frio

RECICLAGEM RASA COM USO DE EQUIPAMENTO HÍBRIDO E ADIÇÃO DE EMULSÃO ASFÁLTICA



Experiências em reciclagem a quente e a frio

- Quando o equipamento se locomove para a frente, o tambor está no sentido “**up-cut**” para facilitar a remoção do material (modo fresagem).
- Quando se locomove para o sentido contrário, está em modo “**down-cut**”, o que favorece o processo de pulverização (modo reciclagem).



Experiências em reciclagem a quente e a frio

- Fresadora executando reciclagem com uso de emulsão asfáltica, com adição dentro do compartimento de corte.
- O material pode ser transportado a uma pavimentadora de asfalto.



Experiências em reciclagem a quente e a frio



Reciclagem com emulsão
asfáltica executada por
equipamento híbrido

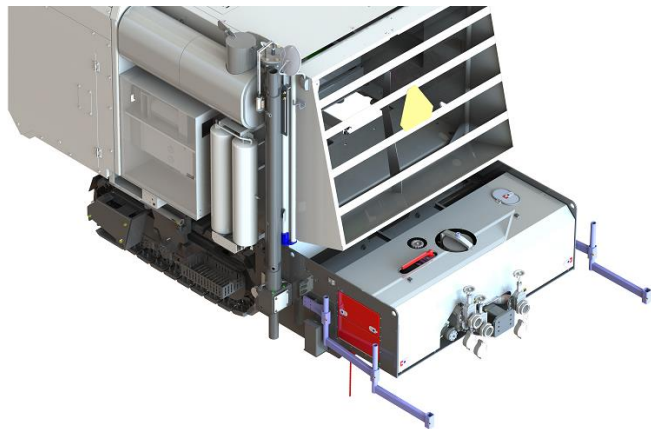


Experiências em reciclagem a quente e a frio

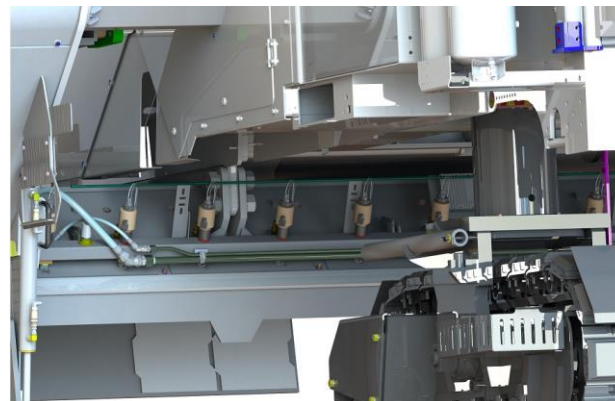
- Superfície após compactação, executada por rolo duplo tandem e rolo de pneus.
- Por ser uma camada aberta, necessita uma camada acima (microrrevestimento ou capa asfáltica delgada).



Experiências em reciclagem a quente e a frio



Sistema de emulsão montada na traseira da máquina, com dosagem eletrônica.



Barra de adição de emulsão instalada dentro do compartimento de corte.

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Experiência nos Estados Unidos

- Desenvolvimento de fresadoras/recicladoras híbridas desde a década de 1980.
- Pesquisas desenvolvidas em parcerias com universidades e institutos de asfalto.
- Ampla experiência no mercado norte-americano, o maior do mundo neste tipo de aplicação (CIR).



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Vantagens da técnica:

Reciclagem rasa

(CIR – *Cold In-place Recycling*):

- Economia financeira:
 - ✓ Até 30% de redução de custos (fonte: NAPA)
- Menor impacto, tempo curto de execução.
- Benefícios ao meio ambiente:
 - ✓ Recicla 100% dos materiais existentes.
 - ✓ Reduz em até 80% a movimentação de caminhões.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Vantagens do equipamento híbrido

Fresadora/Recicladora:



1. Fresagem convencional.
2. Fresagem fina ou microfresagem
(simples troca do tambor) com sistema
de nivelamento eletrônico.

3. Reciclagem rasa (até 20 cm).

Experiências em reciclagem a quente e a frio

**Uso de RAP em
usinas de asfalto**



Experiências em reciclagem a quente e a frio



=

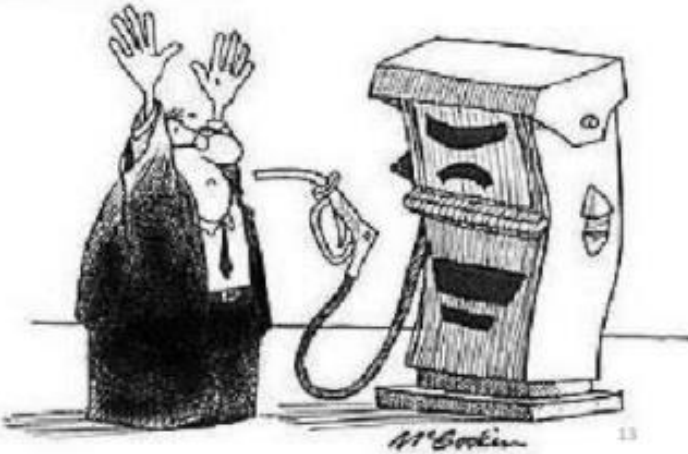
Agregado
+
Ligante asfáltico



=

Agregado
+
Ligante asfáltico

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Década de 1970: grande crise do petróleo encareceu o produto, impulsionando o início do uso de asfalto reciclado (RAP) nas misturas asfálticas

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Década de 1970: o desenvolvimento das primeiras fresadoras à frio ajudaram a disponibilizar o RAP em boas condições de uso em usinas de asfalto.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Décadas de 1970 e 1980: tambor de secagem e mistura das usinas foram aprimorados de modo a permitir o uso de um percentual cada vez maior de RAP.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Década de 1980: a NCAT (National Center for Asphalt Technology) foi designada como centro de estudos e pesquisa na área de pavimentação

Experiências em reciclagem a quente e a frio



2002: as usinas de asfalto deixaram a lista de equipamentos que geram poluição ao meio ambiente (EPA)

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Evolução tecnológica contínua até chegar aos modelos atuais

Experiências em reciclagem a quente e a frio



Padrão Estados Unidos: usinas separadas em seis conjuntos transportáveis.



Padrão Brasil: usinas montada em chassi rodoviário único, com misturador externo ao tambor.

Experiências em reciclagem a quente e a frio



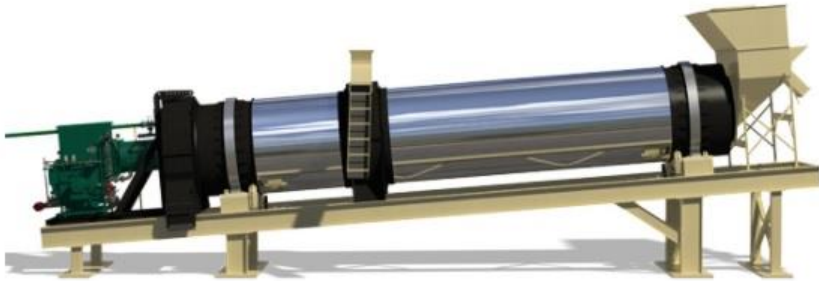
Silos de agregados

Silos de RAP

Peneiras
vibratórias

Experiências em reciclagem a quente e a frio

TAMBOR DE SECAGEM E MISTURA



Tambor drum-mixer



Tambor Double-barrel

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Usinas de Asfalto quanto ao percentual de uso de material asfáltico reciclado (RAP)

Estágio 1



Usina de chassi único
Misturador externo
até 15% de RAP

Estágio 2



Usina de chassi duplo
Tambor-misturador *Unidrum*®
até 30% de RAP

Estágio 3



Usina de chassi duplo
Tambor duplo *Double Barrel*®
até 50% de RAP

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 1: de 0 a 15% de RAP

- Usinas de chassi único e misturador externo ao tambor, a configuração de usina de asfalto mais comum do mercado brasileiro.
- RAP entra frio diretamente no misturador.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 1: de 0 a 15% de RAP

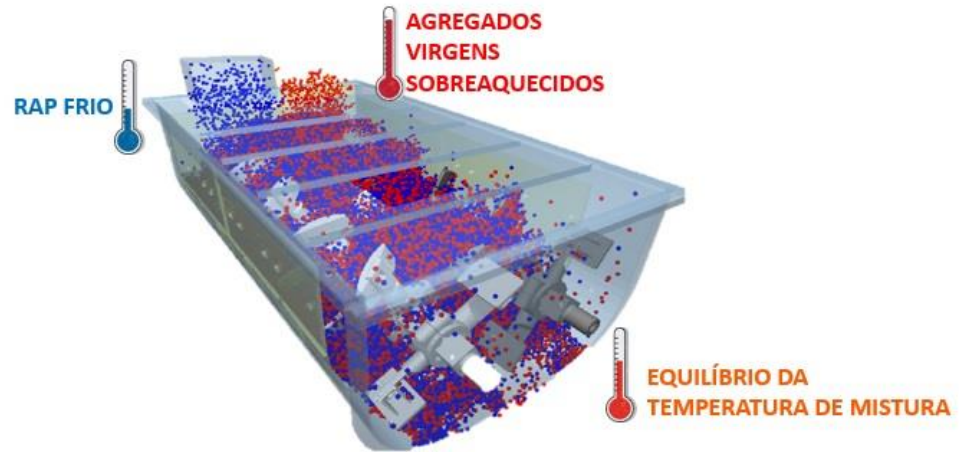
- Para ocorrer o equilíbrio térmico da mistura, é preciso superaquecer os agregados virgens.
- Dependendo da umidade contida no RAP, isto significa maior consumo de combustível na usina.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 1: de 0 a 15% de RAP

- Agregados superaquecidos com RAP úmido geram emissões de vapor (*blue smoke*) diretamente na atmosfera.
- Além da fumaça emitida, pode ocorrer até mesmo pequenas explosões em caso de entrada de RAP com maior percentual de umidade.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 2: até 30% de RAP

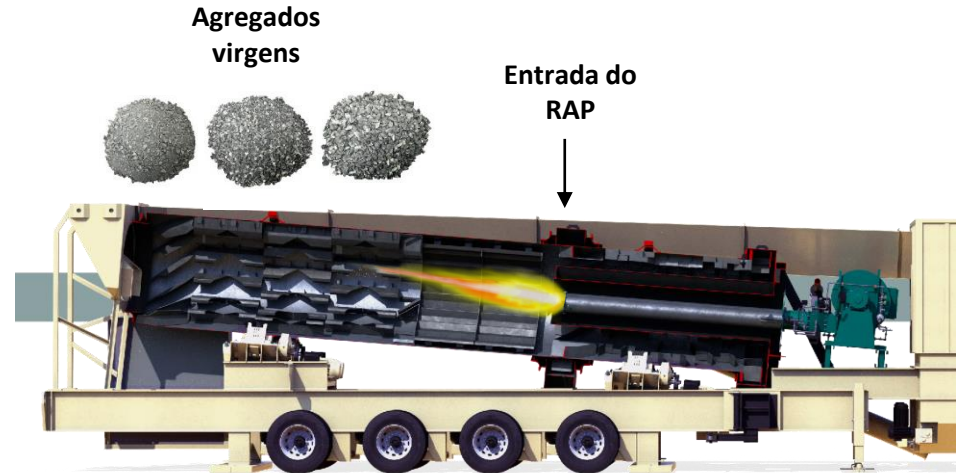
- Usinas de chassi duplo, com tambor-misturador (*drum-mixer*).
- Esta configuração de usina permite um tambor de maior comprimento, adequado para aquecimento de RAP em um compartimento especial.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 2: até 30% de RAP

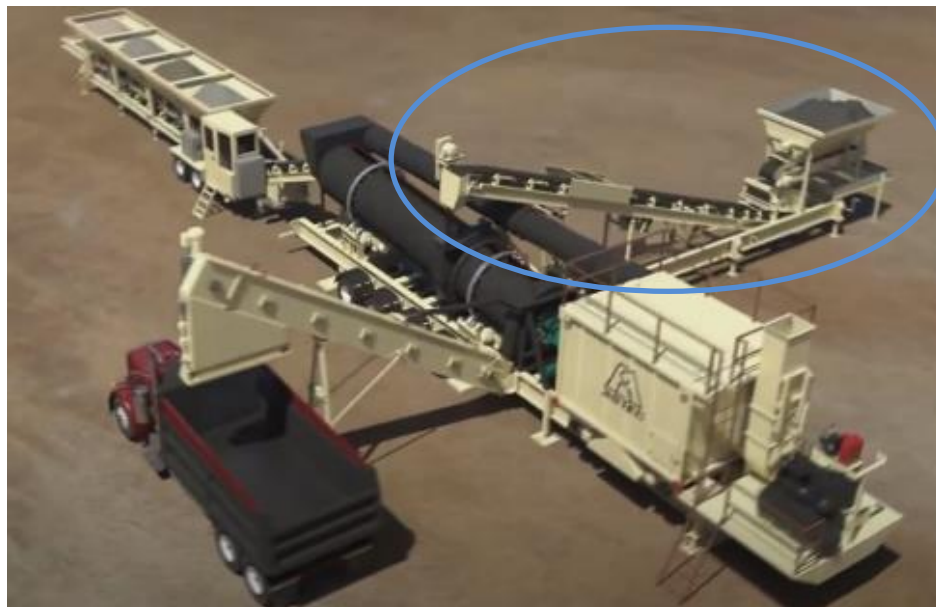
- O RAP entra no tambor por um colar localizado após a passagem dos agregados virgens pelo queimador.
- Recebe a transferência de calor através do contato com os agregados virgens aquecidos e pela temperatura interna do compartimento.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 2: até 30% de RAP

- É preciso instalar um módulo opcional para o uso de RAP.
- Contem um silo, peneira vibratória, sistema de dosagem e correia transportadora até o colar de entrada no tambor.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 2: até 30% de RAP

- Case de sucesso: usina em operação no Paraguai utilizando 22% de RAP.
- Redução nos custos de produção de 18%, reduzindo o consumo de agregados virgens e cimento asfáltico.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 2: até 30% de RAP



Entrada de RAP na usina
de asfalto Astec no
Paraguai



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP



Realidade de algumas estradas: camadas sobre camadas aplicadas ao longo dos anos, alto volume presente de CBUQ.

Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP

- Acima de 30% de RAP, é recomendado a usina de tambor duplo (*Double-Barrel*).
- Tambor externo permite receber maior quantidade de RAP sem exigir customizações complicadas.
- Maior eficiência, com menos perda de energia térmica.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP

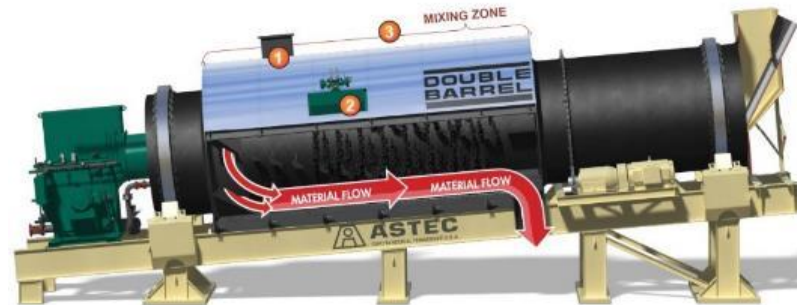
TAMBOR INTERNO

- Recebe os agregados virgens



TAMBOR EXTERNO

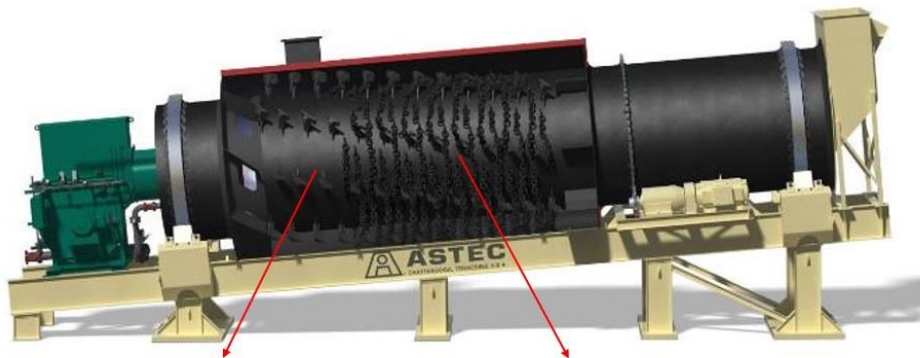
- Recebe o material asfáltico reciclado (RAP)



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP

- Projeto geométrico de aletas no tambor externo permite o percurso dos materiais no sentido ascendente.
- Mistura com o cimento asfáltico após longo tempo de secagem e mistura a seco.



Aletas de
mistura



Correntes de mistura
auto-limpáveis

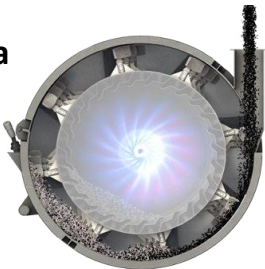


Experiências em reciclagem a quente e a frio

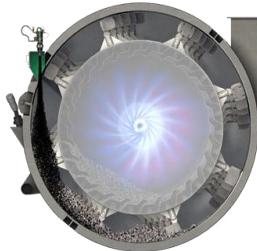
Estágio 3: até 50% de RAP



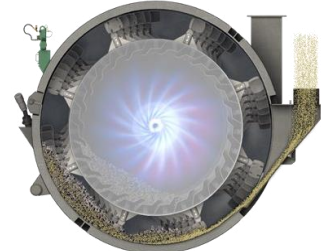
1. Entrada de RAP



2. Entrada do asfalto líquido (CAP)



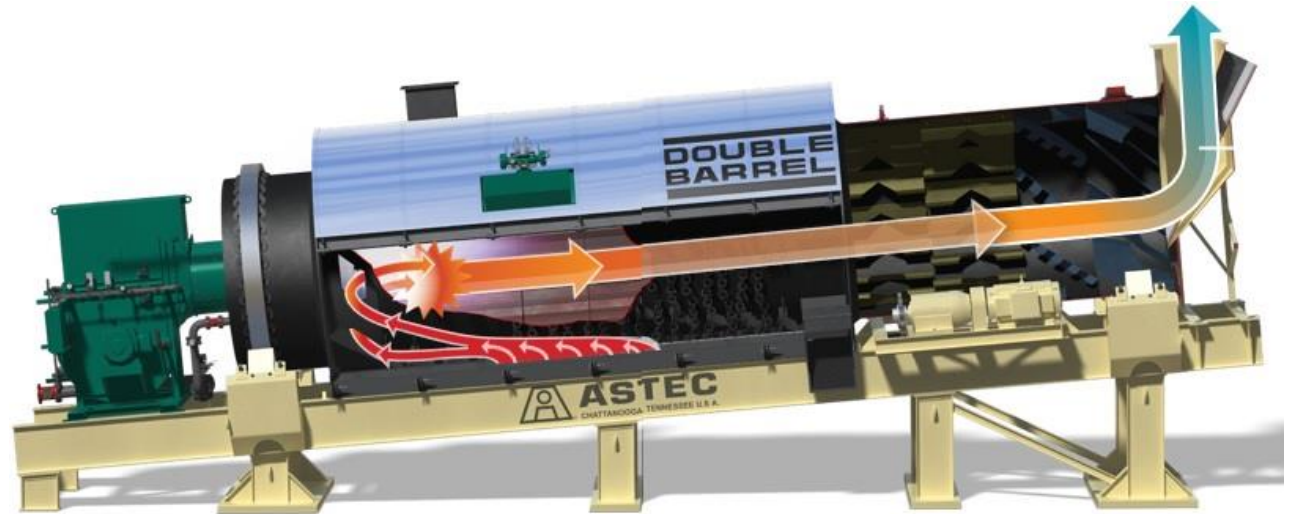
3. Entrada dos finos de retorno do filtro



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP

- Vapor e fumaça azulada produzida pelo encontro do RAP com os agregados aquecidos são direcionados ao filtro.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Estágio 3: até 50% de RAP

- Modelo móvel em chassi duplo com tambor *Double-Barrel*.
- Produção de 140 ton/h.



Experiências em reciclagem a quente e a frio

Benefícios financeiros:

Exemplos de economia na produção:

8,9% (10% de RAP)

17,76% (20% de RAP)

44,40% (50% de RAP)

Fonte: clientes ASTEC nos Estados Unidos

		F24	
Virgin Aggregate (per ton)		$\$10 \times 0.94 = \$$	9. ⁴⁰
Liquid Asphalt (per ton)		$\$350 \times 0.06 = \$$	21. ⁰⁰
			<u>\$30.⁴⁰</u>
RAP Milling Cost (in job)		\$	0
Total Cost of RAP (per ton)		\$	3. ⁴⁰
		Difference	<u>\$27.⁰⁰</u>
10% RAP		\$2. ⁷⁰ /ton	10 tons mix
20% RAP		\$5. ⁴⁰ /ton	5 tons mix
50% RAP		\$13. ⁵⁰ /ton	2 tons mix
Savings: Virgin Materials vs. RAP (if RAP at no cost)			

Experiências em reciclagem a quente e a frio



CONCLUSÕES:

- A reciclagem, seja a frio ou a quente:
 - ✓ Diminui o custo de projeto.
 - ✓ Alcança maior qualidade técnica.
 - ✓ Resulta em maior vida útil do pavimento.

- Reutilização do asfalto:
 - ✓ Conserva recursos naturais.
 - ✓ Diminui consumo de energia e petróleo.
 - ✓ Reduz a emissão de gases que provocam o efeito estufa.





Muito obrigado!

Eng. Juliano Gewehr
Maio de 2022