

**PREFEITURA DE SÃO PAULO**  
SERVIÇOS E OBRAS



Seminário: Inovações na Pavimentação Urbana - Perspectivas

## MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS EM PAVIMENTAÇÃO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES E DE CONSUMO ENERGÉTICO

Profa. Dra. ROSÂNGELA MOTTA




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Transportes  
Laboratório de Tecnologia de Pavimentação

Out/2017

### Misturas asfálticas e a temperatura


#### MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE

- ◆ Mais utilizadas
- ◆ Agregados e ligante devem ser aquecidos antes da usinagem
- ◆ Mistura e compactação em elevadas temperaturas



#### MISTURAS ASFÁLTICAS A FRIO



- ◆ Agregados não necessitam de aquecimento prévio
- ◆ Uso de emulsão asfáltica
- ◆ Mistura e compactação em temperatura ambiente




Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas


Misturas asfálticas produzidas e aplicadas em temperaturas intermediárias às de misturas a quente e a frio

Misturas a quente

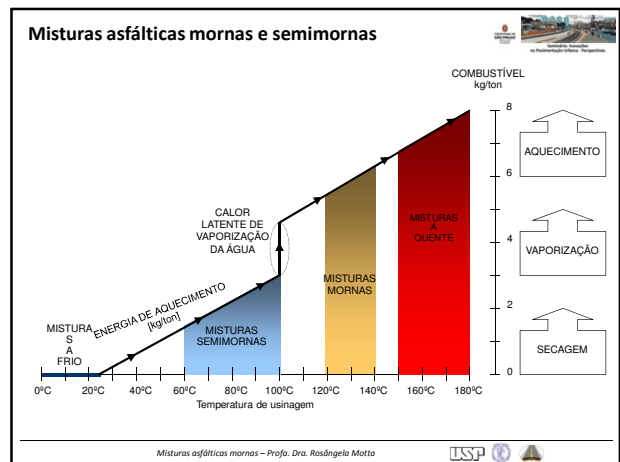


Misturas mornas e semimornas



Misturas a frio

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



### Misturas asfálticas mornas e semimornas

#### Como é possível produzir?

- ◆ Inserção de aditivos químicos no ligante ou na mistura e/ou
- ◆ Modificação do processo de usinagem

#### Técnicas existentes:

- ◆ Aditivos surfactantes
- ◆ Aditivos orgânicos (ceras)
- ◆ Produção de espuma com o asfalto

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

#### Técnicas existentes

- ◆ Aditivos surfactantes → lubrificidade

<http://www.paviasystems.com/warmmix/>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

**Técnicas existentes**

- Aditivos surfactantes: não alteram viscosidade do ligante

Motta, R. S. Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução da emissão de poluentes e do consumo energético, 2011

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

**Técnicas existentes**

- Aditivos orgânicos – ceras: reduzem a viscosidade do ligante

<http://www.pavsystems.com/warmmix/>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

**Técnicas existentes**

- Aditivos orgânicos – ceras: reduzem a viscosidade do ligante

Figure 7. Mixing and Compaction Temperature for PG 64-22 Binders.

Hurley, G. C., Prowell, B. D. Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt. Report 05-06 NCAT, 2005.

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

**Técnicas existentes**

- Asfalto espumado: uso de água ou aditivos que contenham água

<http://www.pavsystems.com/warmmix/>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

**Técnicas existentes - Exemplos**

Gemul XT 14	Quimigel Ltda.	Evotherm	MWV
CECABase RT	CECA ARKEMA GROUP	Rediset	AkzoNobel
Sasobit	SASOL	Aspha Min	EUROVIA
WAM FOAM	Shell Bitumen	LEA	lea-co
Double Barrel Green	ASTEC DILLMAN		

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas


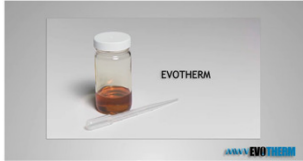
WMA processes	Product	Company	Description	Dosage of additive	Country where technology is used	Production temperature °C (or reduction range)
Foaming process	Water-containing	Alpha-Mini	Eurovia and MBE	Water-containing technology using zeolites	USA, Germany, France, worldwide	(20–30 °C)
	Water-containing	Adverall	PQ Corporation	Water-containing technology using zeolites	USA	(10–30 °C)
	Water-based	Double Barrel Green	Aitec	Water-based foaming process	USA	116–135 °C
	Water-based	Ultrafoam CX	Genzor industries	Water-based foaming process	USA	Not specified
	Water-based	LT Asphalt	Nynas	Water-based foaming process	Netherlands and Italy	90 °C
	Water-based	WAM-Foam	Shell and Kolo-Vodicko	Soft binder coating followed by foamed hard binder	Worldwide	100–120 °C
	Water-based	Low Energy Asphalt	LEACD	Hot coarse aggregate mixed with wet sand	USA, France, Spain, Italy	<100 °C
	Water-based	Low Emission Asphalt	McConaughy-ay Technologies	Hot coarse aggregate mixed with wet sand, combined with chemicals	USA	90 °C
	Water-based	LEAB	Royal Bam Group	Direct foam with binder additive	Netherlands	90 °C
	Organic	FT Wax	Sasobit	Sasobit	Germany as well as	(20–30 °C)
	Organic	Montan Wax	Asphaltan B	Romonta GmbH	Germany	(20–30 °C)
	Fatty Acid Amide	Licocont BS	Clariant	Refined Montan wax with fatty acid amide for rolled asphalt	Germany	(20–30 °C)
	Chemical	3E LT or Ecoflex	Colas	Proprietary	France	(30–40 °C)
	Chemical	Evotherm	Mead Westvaco Technologies	Chemical packages, with or without water	USA, France, 20 other countries	85–115 °C
	Chemical	CECABase RT	CECA	Chemical package	USA, France	(30 °C)
	Chemical	Rediset	Akzo Nobel	Cationic surfactants and organic additive	USA, Norway	(30 °C)
	Chemical	Reviv	Mathy-Ergon	Surface-active agents, waxes, processing aids, polymers	USA	(15–25 °C)
	Chemical	Iterflow T	IterChemica	0.3–0.5% by mass of bitumen	Italy	120 °C


Rubio et al. Warm mix asphalt: an overview. Journal of the Cleaner Production, 2012


**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**

**Surfactantes**


**Gemul XT 14** 


Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 


**Misturas asfálticas mornas e semimornas**


**Técnicas existentes - Exemplos**

**Surfactante + pequena parcela de cera**

**Rediset WMX** 

**Rediset LQ** 



Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**

**Aditivos orgânicos - ceras**

**Sasobit** 

para o ligante 

para a mistura 

Fonte: Hurley & Prowell (2005)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**

**Aditivos orgânicos - ceras**

**GREENMANTRA TECHNOLOGIES** 

Cera produzida a partir de plástico reciclável

November 21, 2012  
**Recycled plastic mixed with asphalt**



BRADLEY FEHR editor  
Vancouver city construction crews (above) lay down the asphalt made with recycled plastic on Kingsway.


BRADLEY FEHR editor  
The City of Vancouver is conducting trials of a warm mix asphalt that includes a wax made from recycled plastic bottles.

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**


**Técnicas existentes - Exemplos**

**Asfalto espumado**

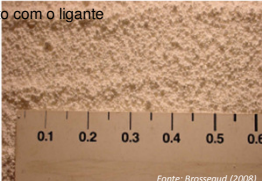
**Aspha-Min** 

- Aditivo mineral (zeólitas)
- Em ~100°C libera água, formando efeito espuma
- Inserido na mistura um pouco antes ou junto com o ligante


Micrografia zeólitas  
Aumento de 8.000 vezes



Fonte: Sastre et al (2007)




Fonte: Brosseaud (2008)

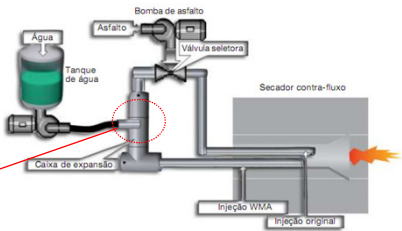
Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**

**Asfalto espumado**


**Terex** 



Agua, Tanque de água, Bomba de asfalto, Asfalto, Válvula seletora, Caixa de expansão, Secador contra-fluxo, Injeção WMA, Injeção original

Foto: Armando Moreira, apresentação CC


<http://www.terexrb.com/flash/swf/WarmMix.htm>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta 

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**

**Asfalto espumado – Mistura asfáltica semimorna**

**Low-Energy Asphalt (LEA)** 


- Agregado graúdo separado do miúdo;
- O miúdo entra com uma pequena quantidade de água;
- Uso de melhorador de adesividade;
- A usina deve ser adaptada;
- Temperatura da mistura final entre 60 e 100°C.

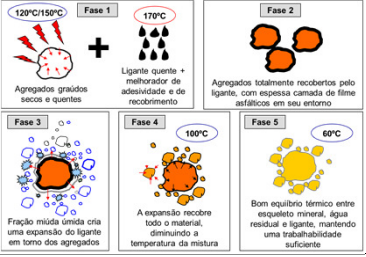

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Técnicas existentes - Exemplos**



**Asfalto espumado – Mistura asfáltica semimorna**

**Low-Energy Asphalt (LEA)** 

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Redução de temperatura**

**Mantém-se a temperatura do asfalto**

**Reduz-se a temperatura dos agregados**

Fotos: Programa Asfalto na Universidade (esq) e <http://www.superinertes.pt> (dir)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Redução da poluição ambiental**

- 30 a 40% CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> (GEE e chuva ácida)
- 50% COV (precursores de ozônio e HPAs)
- 10 a 30% CO (eficiência de queima)
- 60 a 70% NO<sub>x</sub> (precursores de ozônio)
- 20 a 25% particulados
- 30 a 50% aerossóis

**Contribui com metas de redução de poluentes**

**Inserção no mercado de créditos de carbono**

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Melhoria do ambiente para os trabalhadores**



Figura: CECA (Arkema)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Misturas asfálticas mornas e semimornas**

**Melhoria do ambiente para os trabalhadores**



Fonte: Dewivere et al (2001)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

Melhoria do ambiente para os trabalhadores

http://www.opal.net

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

Redução do consumo de energia e do gasto com combustíveis

Tecnologia	Consumo de energia [kg/t]	Redução (%)
ref.	4,0	0%
Cera parafínica	3,2	-20%
Duplo recobrimento	2,9	-28%
Emulsão	3,5	-11%
Semimorna espuma	2,5	-37%
Semimorna Separação de frações	1,9	-63%

Harder et al. (2008)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

Menor gradiente de temperatura

- Possibilidade de se percorrer maiores distâncias
- Possibilidade de pavimentar em temperaturas mais baixas

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

Menor envelhecimento do asfalto (maior flexibilidade e menor potencial para formação de trincas)

Elevadas temperaturas na usinagem envelhecem o ligante

↓

O ligante enrijece

↓

A mistura ficará mais suscetível a trincamentos

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Misturas asfálticas mornas e semimornas

Possibilidade de utilizar maior quantidade de fresados em misturas asfálticas recicladas

Menor dificuldade com homogeneização de temperatura

“WMA itself is relatively new; coupling it with high RAP mixtures is at the forefront of research and development of paving materials.”

Compactability and bitumen utilization of 100% warm mixed RAP  
Dayle and Howard (TRB, 2010)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Benefício x Custo

O balanço custo x benefício deve considerar fatores como:

- Tipo de mistura morna
- Melhoria do ambiente de trabalho na pavimentação
- Redução do consumo de combustíveis
- Benefício ambiental/Lucro com comércio de créditos de carbono
- Mais tempo para pavimentar (menor risco de perda de material)
- Uso de maior quantidade de fresados em reciclagem

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Benefício x Custo

- Algumas tecnologias exigem gastos iniciais mais altos, com outras têm-se gastos contínuos
- Os custos devem diminuir à medida que as técnicas se disseminem, que o preço dos combustíveis aumente e que as normas relativas a emissões fiquem mais restritas

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Benefício x Custo

Tecnologia	WAM-Foam*	Aspha-Min*	Sasobit*
Redução de temperatura* indicada na literatura	43 a 63°C	30°C	18 a 54°C
Necessidade de modificações na planta da usina?	Sim, para espumear	Sim ou não, dependendo de como é a adição	Sim ou não, dependendo de como é a adição
Gastos com modificação ou instalação de equipamentos	US\$ 30.000 a US\$ 70.000	US\$ 0 a US\$ 40.000	US\$ 0 a US\$ 40.000
Dosagem recomendada	Não há	0,3% em massa de mistura	1,5 a 3% em massa de asfalto
Royalties	US\$ 15.000 (1º ano) US\$ 5.000/usina/ano US\$ 0,30/t	Nenhum	Nenhum
Gasto com produto	Não há	US\$ 1,35/kg	US\$ 1,80/kg
Custo aproximado da técnica por tonelada de mistura	US\$ 0,33**	US\$ 3,96	US\$ 1,43 a US\$ 2,86
Redução de emissões indicada na literatura	30 a 98%	75 a 90%	-
Redução do consumo de energia	30 a 40%	30%	20%

\* em relação a uma mistura convencional a 160°C  
\*\* sem incluir o 1º ano e os custos de royalties

Kristjánsdóttir et al. Assessing the potential for warm mix asphalt technology adoption. 86<sup>th</sup> Transportation Research Board Annual Meeting (2007)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Benefício x Custo

Em suma, a opção por uma determinada tecnologia deve levar em conta fatores como:


- Custo de aditivos/equipamentos
- Temperaturas desejadas em usina e em pista
- Benefícios
- Dados disponíveis quanto ao comportamento

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Histórico

Final dos anos 90:

- Protocolo de Quioto
- A União Europeia busca reduzir a emissão de poluentes
- Surge o programa “Low Temperature Asphalt” (Bitumen Forum) na Alemanha
- Entre 2000 e 2003: Pesquisas
- Entre 2002 e 2005: Trechos experimentais
- A partir de 2004: Industrialização



Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Histórico - EUA

2007: “Scan Tour” americano à Europa



- Uso em vários tipos de mistura: densa, SMA, CPA, com polímero, com reciclado
- Aplicação em locais de tráfego elevado, pontos de ônibus, aeroportos, portos

[http://international.fhwa.dot.gov/links/pub\\_details.cfm?id=563](http://international.fhwa.dot.gov/links/pub_details.cfm?id=563)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Histórico - EUA

Projetos com misturas mornas nos Estados Unidos

2007



Fonte: Martinez, 2012 (Apresentação RPJ) apud FHWA

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - EUA**

Projetos com misturas mornas nos Estados Unidos

**2008**

Fonte: Martinez, 2012 (Apresentação RPU) apud FHWA

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - EUA**

Projetos com misturas mornas nos Estados Unidos

**2009**

Fonte: Martinez, 2012 (Apresentação RPU) apud FHWA

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - EUA**

Projetos com misturas mornas nos Estados Unidos

**2010**

Fonte: Martinez, 2012 (Apresentação RPU) apud FHWA

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - EUA**

Total [tons] de misturas mornas produzidos nos Estados Unidos

**2014**

WMA deployment varies dramatically by state. An FHWA-funded survey conducted by the National Asphalt Pavement Association shows estimated total tons of WMA produced in each state in 2014.

NCHRP – Practice-Ready Solutions for Warm Mix Asphalt (2017)  
<http://www.trb.org/Main/Blurbs/176221.aspx>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - EUA**

**Warm Mix Asphalt: From 0 to 30 Percent in 10 Years**

Estudos de desempenho ao longo de 10 anos mostraram comportamento semelhante entre misturas a quente e mornas, com resultados positivos

NCHRP – Practice-Ready Solutions for Warm Mix Asphalt (2017)  
<http://www.trb.org/Main/Blurbs/176221.aspx>

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Publicações - EUA**

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - Brasil**

- ◆ Primeiras pesquisas e trechos a partir de 2006 (USP, UFC, UFRGS, UFSC, COPPE)

Atualmente:

- ◆ Uso principalmente de ligante com surfactante: crescimento de 10x entre 2014 e 2017
- ◆ Muitos proprietários de usinas ainda não se sensibilizaram
- ◆ Alguns têm usado com foco em conseguir trabalhar no inverno (aumento da trabalhabilidade)
- ◆ Uso em concessionárias, misturas com ligantes modificados
- ◆ Vantagem na BOVESPA: Certificado ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Histórico - Brasil**

Obras com surfactante - Exemplos:

Obras São Paulo  
SP 425 – DER SP



Martinópolis - SP

Asfalto modificado por polímero

Obras São Paulo  
Rota das Bandeiras



SPO65 - Rodovia D.Pedro

25% RAP

Faria (2017)

- ◆ SP070 Rodovia Ayrton Senna – Asfalto borracha (Merighi, 2015)


Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Pesquisas USP-LTP**

- ◆ Estudo do comportamento mecânico em laboratório
- ◆ Aplicação em pista, em trechos experimentais
- ◆ Avaliação em laboratório, em usina e em pista das emissões asfálticas


Teses de Doutorado

2011  
MISTURAS MORNAS



Rosângela Motta

2015  
MISTURAS MORNAS + RAP



Manuela Gennesseaux


www.teses.usp.br

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Pesquisas USP-LTP**


Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia Presidente Dutra
  - Novembro de 2009
  - Região de Guarulhos (SP)
  - Segmento de 300 m




Graduação contínua

+



CAP 30-45 teor 5,0%

+




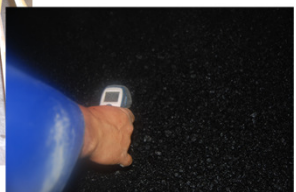
Aditivo surfactante Gemul XT14 (0,3%)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia Presidente Dutra

Temperatura de usinagem 135°C

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia Presidente Dutra



Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia Presidente Dutra



Temperatura de compactação **120°C**

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia Presidente Dutra



Oito meses após a obra (julho, 2010)

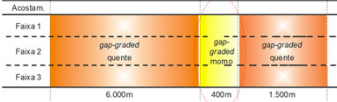

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta




**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia dos Bandeirantes
- Agosto, 2010
- Região de Campinas (SP)


Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



**Pesquisas USP-LTP**


Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia dos Bandeirantes



- ◆ Temperatura de usinagem a quente: ~ 170 a 180°C
- ◆ Temperatura de usinagem morna: ~ 140 a 150°C

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



**Pesquisas USP-LTP**

Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia dos Bandeirantes




Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



**Pesquisas USP-LTP**


Motta (2011)

- ◆ Trecho experimental – Rodovia dos Bandeirantes



- ◆ Temperatura de compactação a quente: ~ 150 a 180°C
- ◆ Temperatura de compactação morna: ~ 130 a 150°C

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta





### Emissões asfálticas

Não existe um protocolo internacional para amostragem e análise de emissões asfálticas, dificultando a comparação de resultados

**Heritage Flame Generator**

**USA SAMPLER**

**GERMAN SAMPLER**

**FRANÇA**

**BRASIL**

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Emissões asfálticas

**Temperatura**

**Emissões asfálticas "fumos"**

**Material particulado** / **Fase gasosa**

Um dos compostos formados:  
**(Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs))**

- 16 tipos de HPAs são considerados "prioritários" pela suspeita de carcinogenicidade (USEPA):

<chem>c1ccc2ccccc2c1</chem> naphthalene Na	<chem>c1ccc2c(c1)nc3ccccc32</chem> acenaphthylene Ac	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3ccccc23</chem> acenaphthene Aco	<chem>c1ccc2c(c1)cc3ccccc32</chem> fluorene Flu
<chem>c1ccc2c(c1)ccc3ccccc23</chem> phenanthrene Ph	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccccc3</chem> anthracene An	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4ccccc34</chem> pyrene Py	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2c4ccccc4c3</chem> crysene Cr
<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4ccccc34</chem> fluoranthene Flu	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> benz[a]anthracene BaA	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> benz[a]fluoranthene BbF	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> benz[a]fluoranthene BbF
<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> benz[a]pyrene BaP	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> dibenz[a,h]anthracene DA	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> benz[a]fluoranthene BbF	<chem>c1ccc2c(c1)ccc3c2ccc4c3ccccc4</chem> indeno[1,2,3-cd]pyrene IP

↑ número de anéis = ↑ carcinogenicidade

É provável que os vapores asfálticos gerados em altas temperaturas sejam mais suscetíveis à formação de HPAs perigosos do que aqueles produzidos em temperaturas mais amenas (NIOSH, 2000)

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Pesquisas USP-LTP

#### Emissões asfálticas em laboratório

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Pesquisas USP-LTP

#### Emissões asfálticas em usina

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

### Pesquisas USP-LTP

#### Emissões asfálticas em usina

**Mistura a quente**

**Mistura morna**

MOTORISTAS, VERIFIQUEM SE AS CASCAMBAIS ESTÃO TEMPERAS ANTES DO INÍCIO DO CARREGAMENTO.

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta

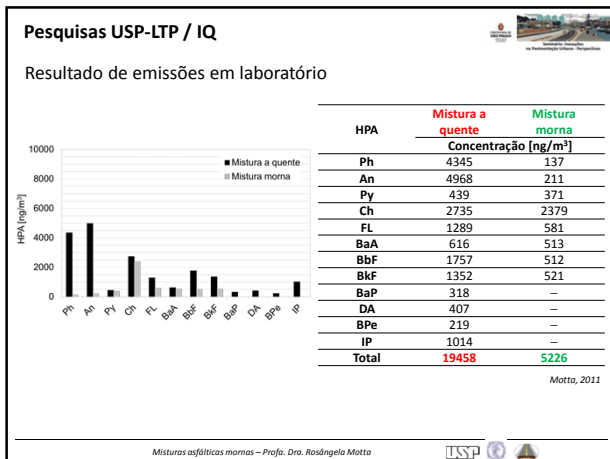
### Pesquisas USP-LTP

#### Emissões asfálticas em pista

**Mistura a quente**

**Mistura morna**

Misturas asfálticas mornas – Profa. Dra. Rosângela Motta



### Pesquisas USP-LTP

Economia de energia

- Grande parte do consumo de energia se deve à secagem/vaporização d'água/aquecimento dos agregados na usinagem
- Estimativa - Exemplo: Usinagem trecho da Rodovia dos Bandeirantes**

	Mistura morna	Mistura a quente
	Energia estimada [MJ]	
Aquecimento dos agregados	42.917	55.434
Aquecimento da água	4.099	4.099
Vaporização d'água	29.279	29.279
Aquecimento do vapor	1.083	1.926
<b>Total</b>	<b>77.378</b>	<b>90.738</b>
Redução de energia com os agregados na mistura morna [%]	15	

### Pesquisas USP-LTP

Economia de energia

- Estimativa - Exemplo: Usinagem trecho da Rodovia dos Bandeirantes**

Redução de 15%:

Gasto energético, em massa de combustível [kg/ton]	Mistura morna	Mistura a quente
	4,7	5,5

### Especificações - Brasil

- DEINFRA-SC - 2016
- Contempla o uso da WMA e possui planilha de custos

### Especificações - Brasil

- DNIT - 2016/2017
- Em elaboração

### Especificações - Brasil

- PMSP - 2017
- Em elaboração



Seminário: Inovações  
na Pavimentação Urbana - Perspectivas

Rosângela Motta

rosangela.motta@usp.br

Misturas asfálticas momas – Profa. Dra. Rosângela Motta

