

O papel dos bioagentes na reciclagem de misturas asfálticas: um estudo sobre o tempo de difusão e a suscetibilidade ao envelhecimento



Felipe Brandão Santos

Engenheiro da Mobilidade (Unifei), Mestre em Engenharia de Transportes (EESC/USP)

Prof. Adalberto Leandro Faxina (Escola de Engenharia de São Carlos - USP)

Engenheiro Civil (Unesp), Doutor em Engenharia de Transportes (EESC/USP)



Agenda 1

- » Hipóteses e Objetivos
- » Dosagem dos bioagentes
- » Propriedades reológicas
- » Desempenho dos ligantes

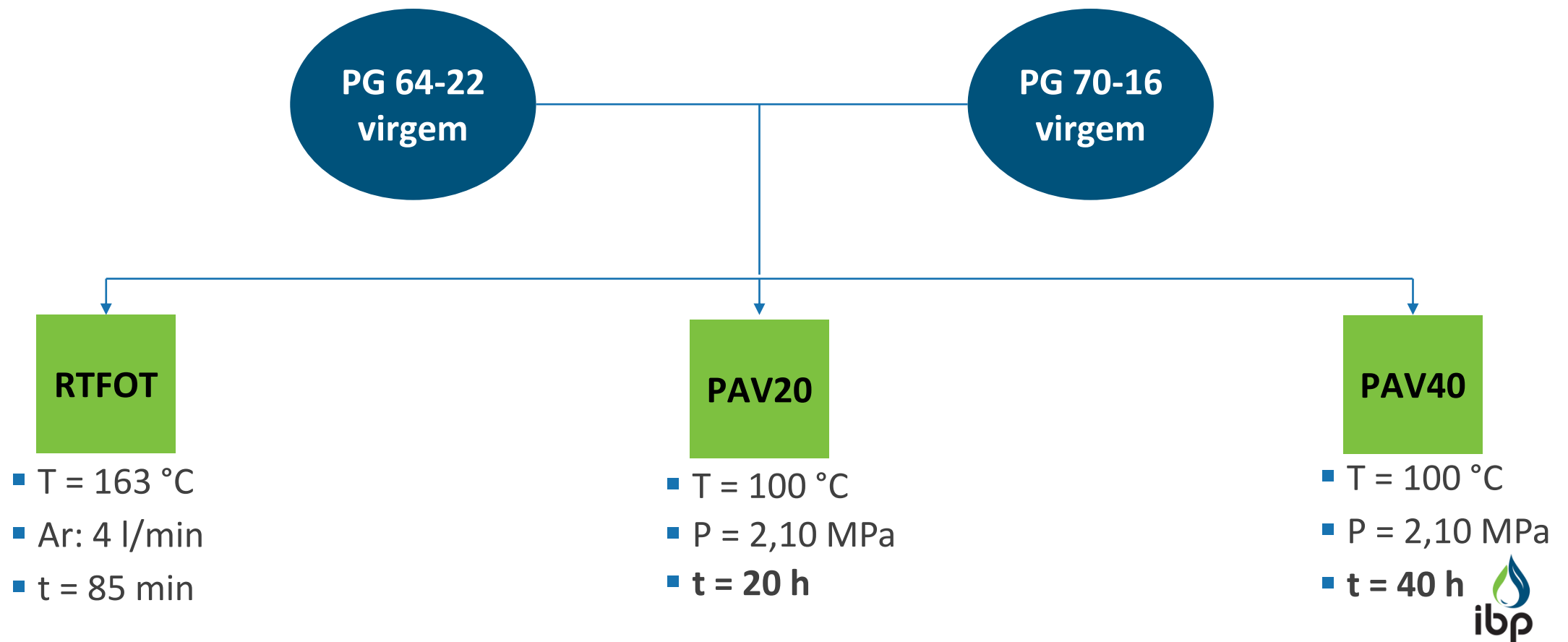


Introdução

- Hipóteses:
 - Misturas rejuvenescidas são mais suscetíveis ao envelhecimento (Ongel e Hugener, 2015)
 - Misturas rejuvenescidas com bioagentes envelhecem mais rapidamente do que ligantes virgens (Majidifard, Tabatabaee e Buttlar, 2019)
 - Yang et. al (2015) encontrou altos valores de perda de massa para misturas com bioagentes
- Objetivo:
 - Investigar a efetividade de três bio-óleos à base de soja como agentes de reciclagem em comparação com um óleo convencional à base de petróleo

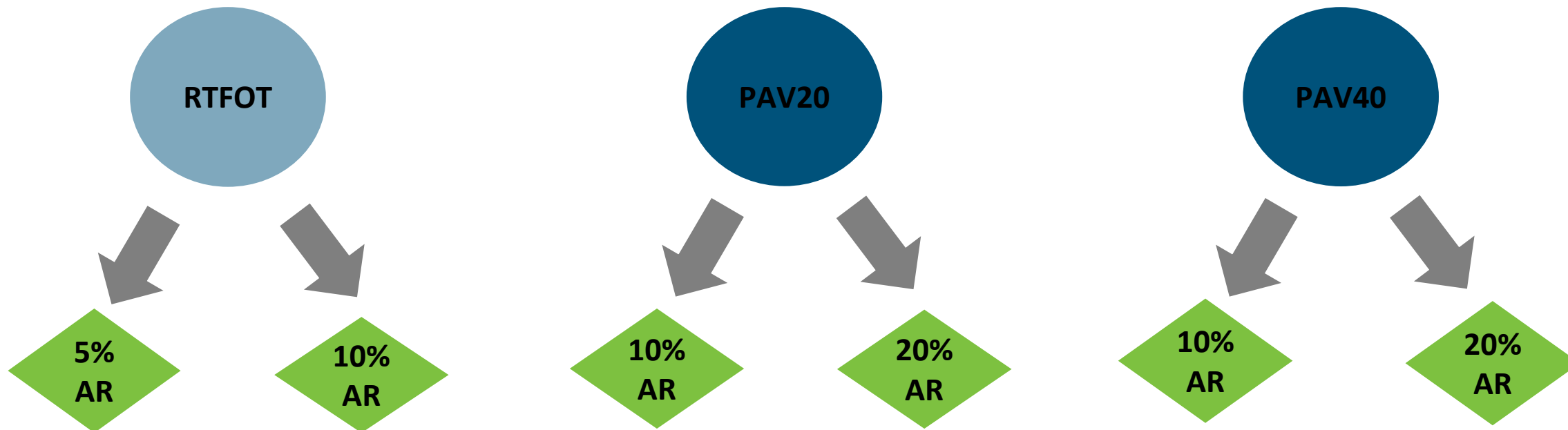
Materiais e métodos

- Níveis de envelhecimento:



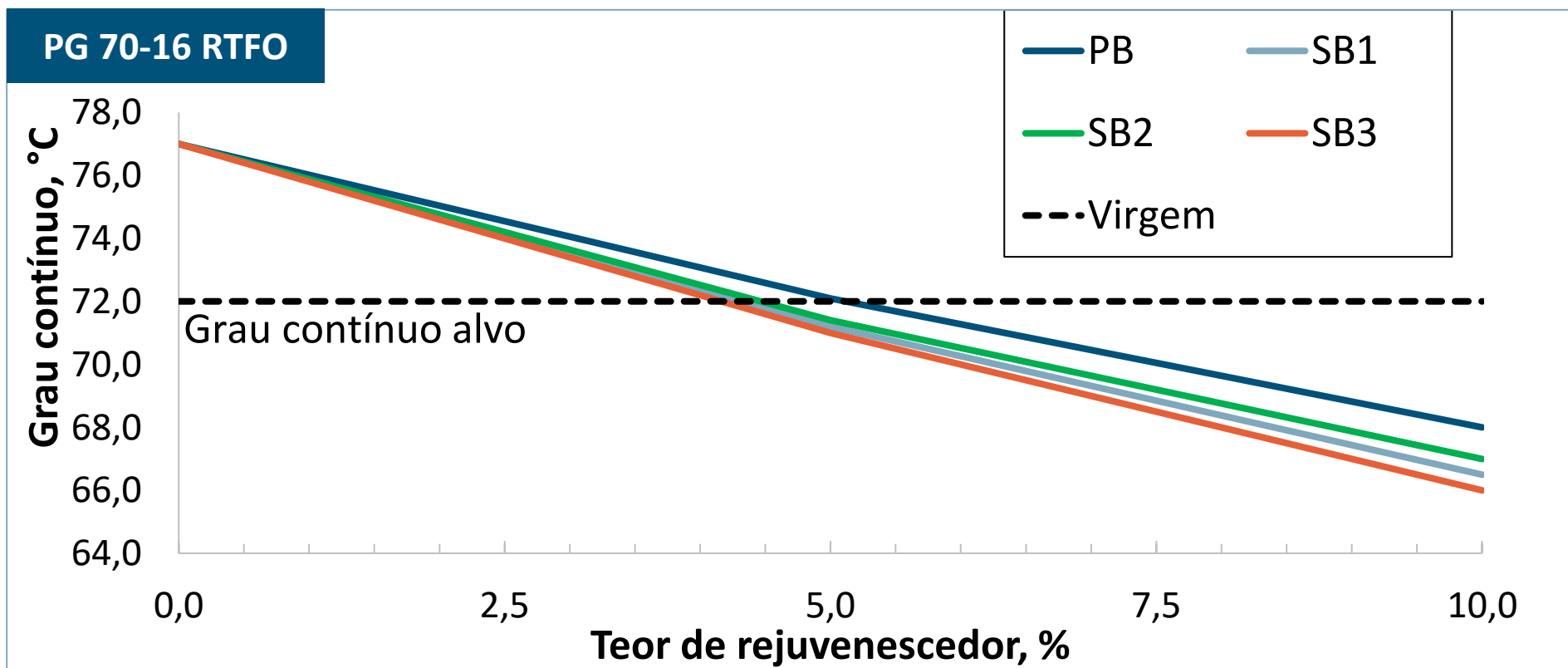
Materiais e métodos

- Incorporação dos agentes de reciclagem:



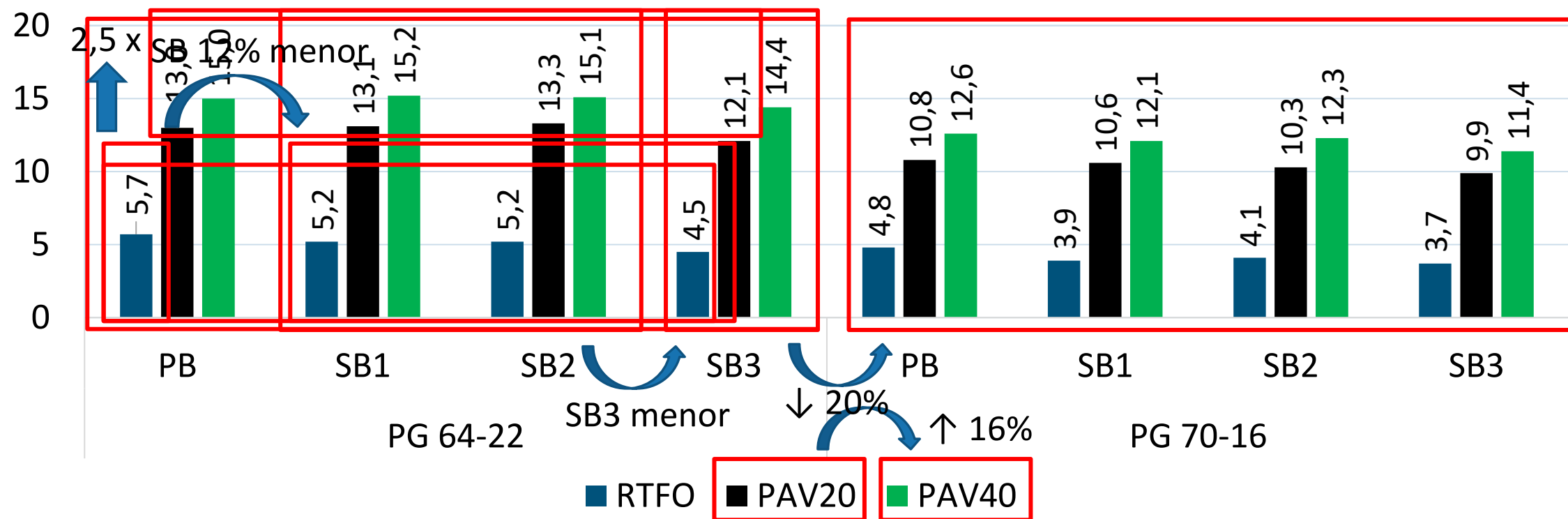
Materiais e métodos

- Parâmetros de dosagem:
 - Grau contínuo em alta temperatura
 - Compliância não-recuperável do ensaio MSCR



Resultados

- Média dos teores ótimos (%)



Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

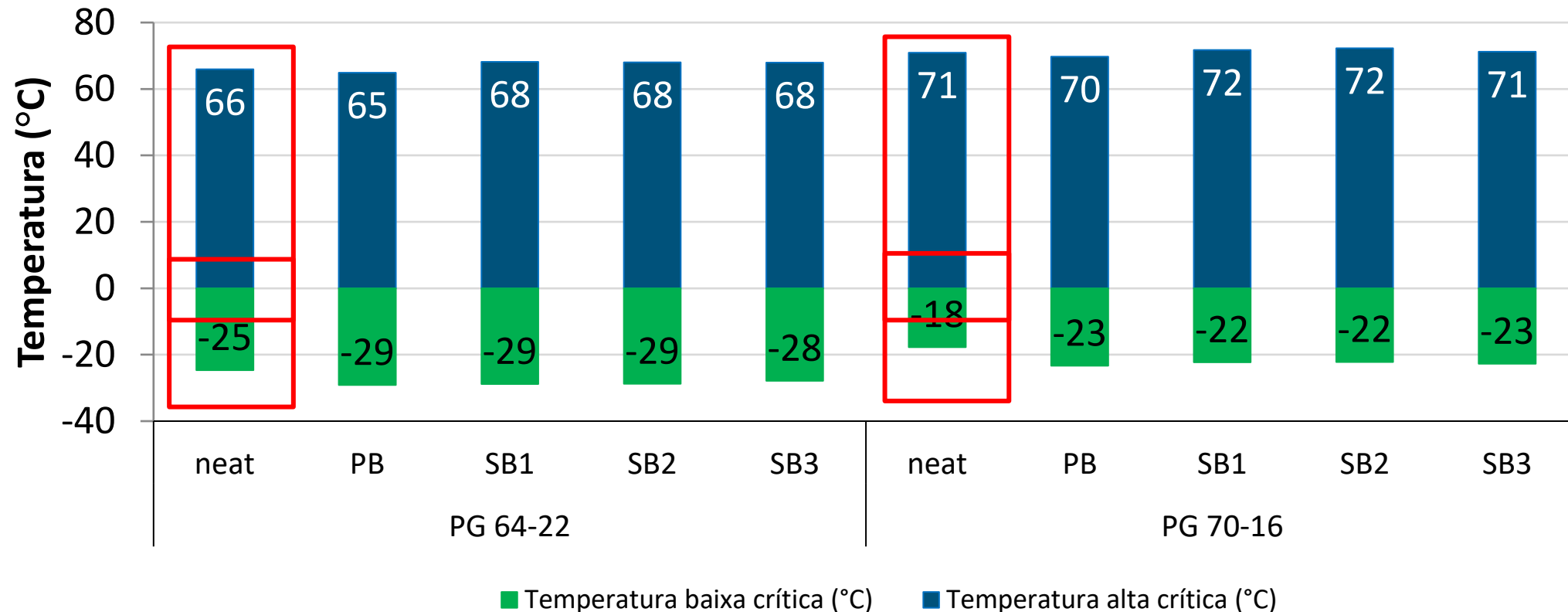
- Procedimento
 - Envelhecimento do ligante puro (RTFO+PAV)
 - Rejuvenescimento nos teores ótimos
 - Segunda rodada de envelhecimento
 - Caracterização química e reológica

LIGANTE + AGENTE

Ex.: PG 64-22 + PB

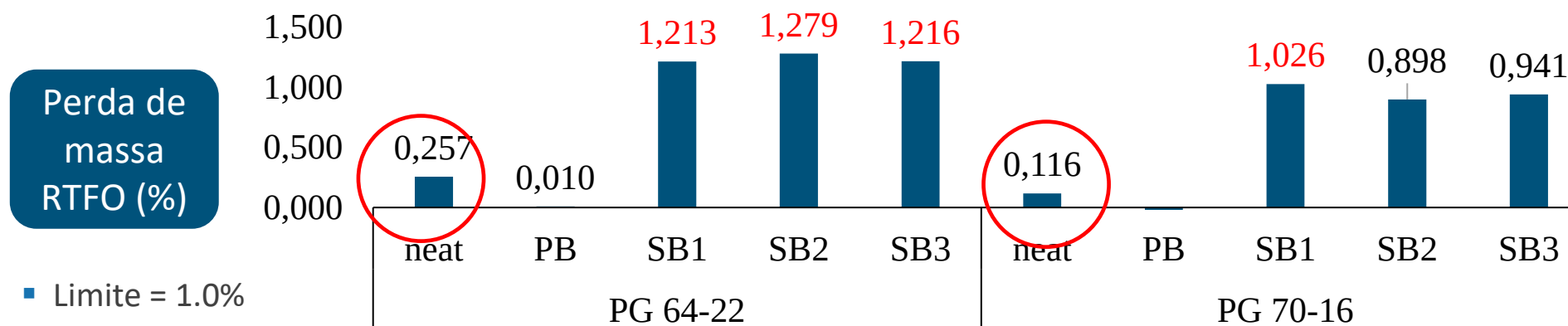
Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

- Temperaturas críticas (PG)



Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

- Perda de massa e Delta Tc

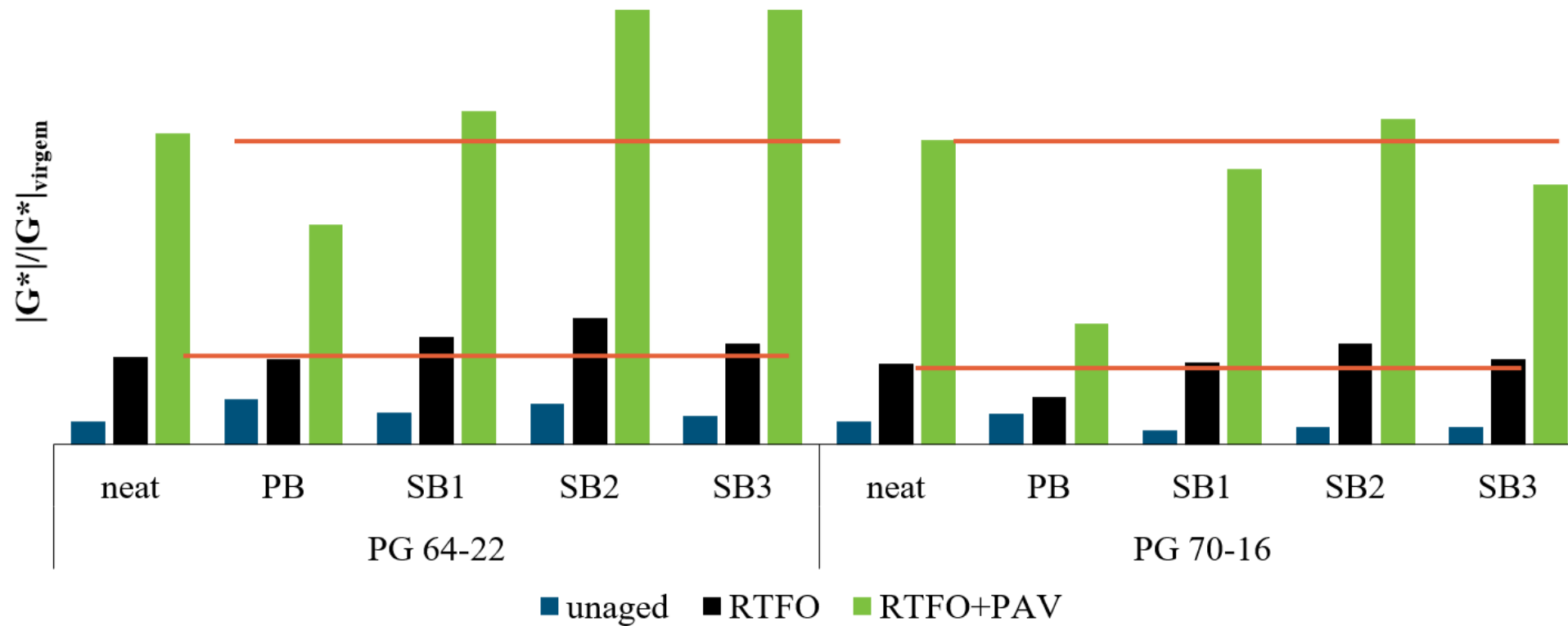


Valores de ΔT_c

	neat	PB	SB1	SB2	SB3
PG 64-22	1.1	0.9	1.9	-0.6	2.9
PG 70-16	1.9	2.1	2.4	0.7	1.0

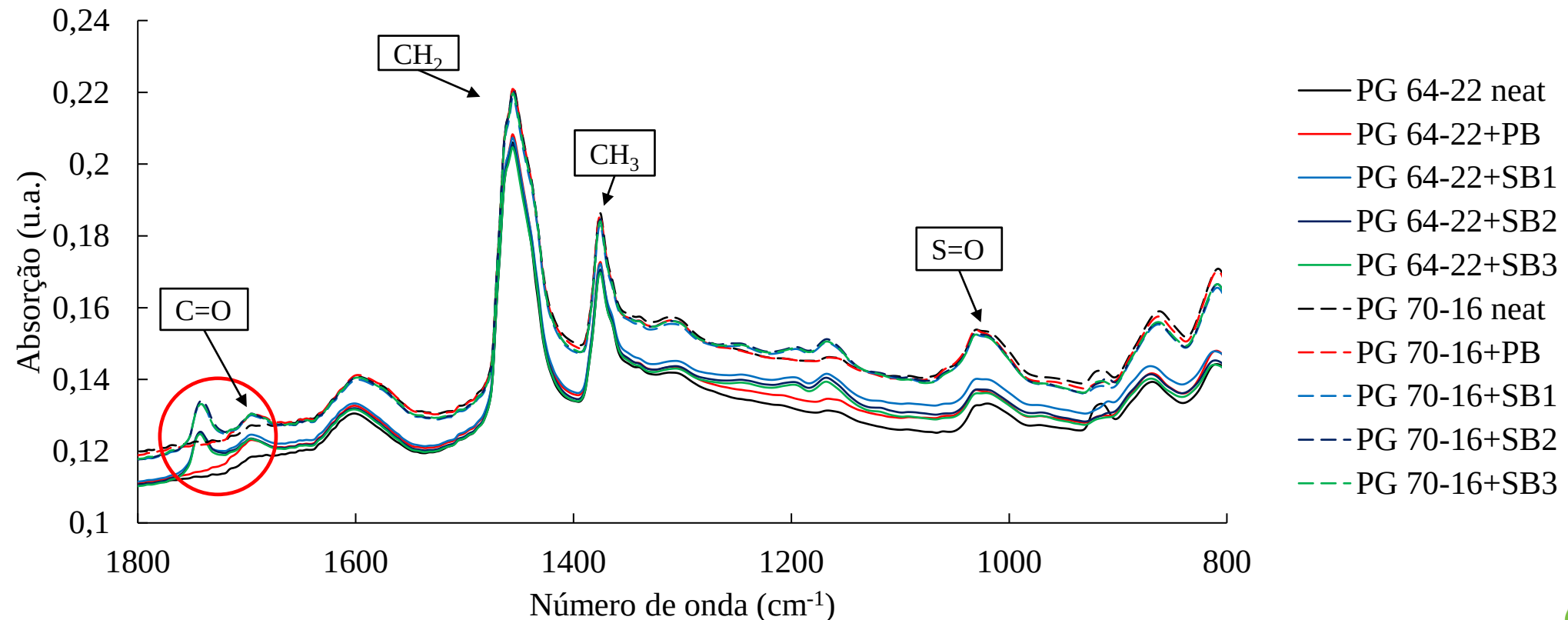
Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

- Relação $|G^*|/|G^*|_{\text{virgem}}$



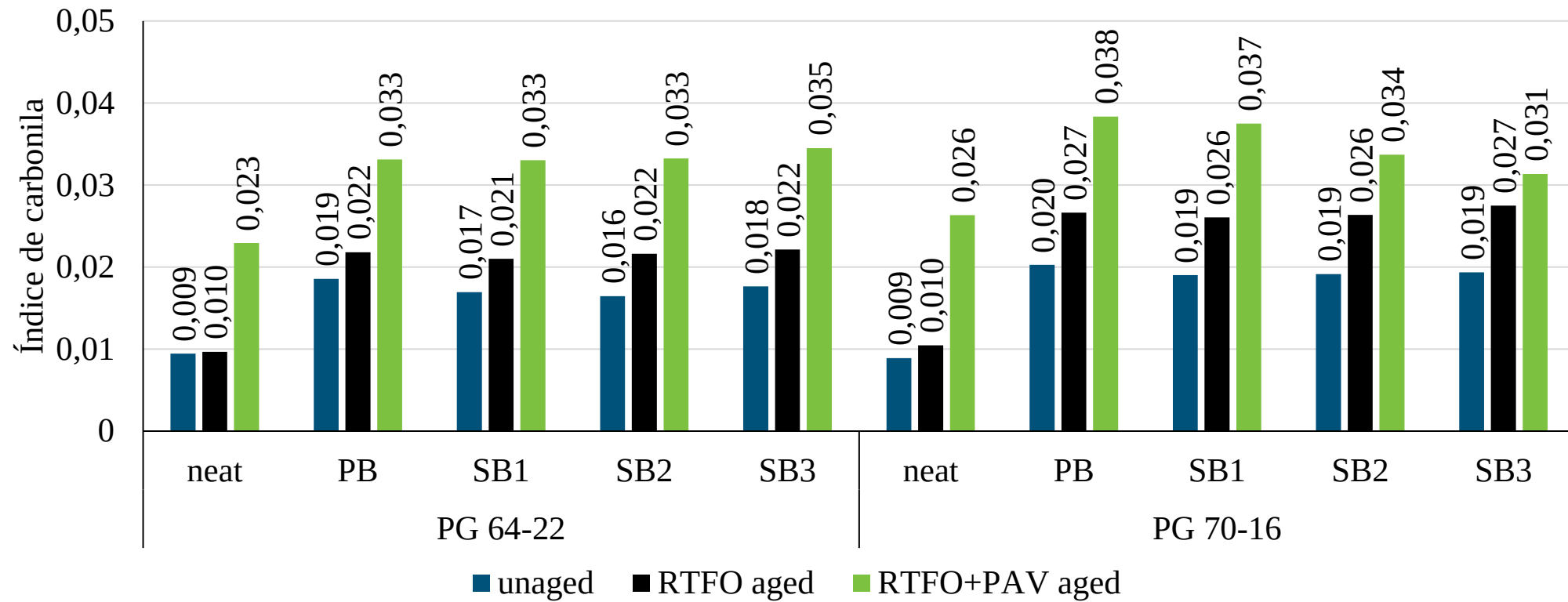
Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

- Espectroscopia no Infra-Vermelho (FTIR)



Desempenho dos ligantes rejuvenescidos

- Índice de carbonila



Conclusões

- Quanto aos teores ótimos dos agentes de reciclagem
 - Os bio-óleos exigem teores mais baixos → possível redução de custo
 - Envelhecimento a longo prazo (PAV20) → maior efeito no teor de AR
 - O ligante mais mole exigiu teores mais altos
- Quanto ao desempenho dos ligantes rejuvenescidos
 - Ganho de resistência ao trincamento térmico
 - Recuperação parcial dos índices químicos
 - Perda de massa mais elevada dos bio-óleos
 - Ligantes bio-rejuvenescidos mais suscetíveis ao envelhecimento

Referências

- Santos, F. B.; Faxina, A. L.; Soares, S. A. Soy-based rejuvenated asphalt binders: Impact on rheological properties and chemical aging indices. **Construction and Building Materials**. 300 (2021) 124220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124220>
- Santos, F. B.; Faxina, A. L.; Soares, S. A. Soy-based rejuvenated asphalt binders: Impact on rheological properties and chemical aging indices. **J. Transp. Eng., Part B: Pavements**. 147(1) (2021) 04020090. DOI: <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000251>
- Ongel, A.; Hugener, M. Impact of rejuvenators on aging properties of bitumen. **Constr. Build. Mater.** 94 (2015) 467-474, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.030>
- Majidifard, H.; Tabatabaee, N.; Buttlar, W. Investigating short-term and long-term binder performance of high-RAP mixtures containing waste cooking oil. **J. Traffic Transp. Eng.** 6 (4) (2019) 396-406, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.11.002>
- Yang, X.; You, Z.; Mills-Beale, J. Asphalt binders blended with a high percentage of biobinders: Aging mechanism using FTIR and rheology. **J. Mater. Civ. Eng.** 27 (2015) 1-11, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001117](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001117)

Agenda 2

- » Contextualização
- » Objetivos
- » Experimento
- » Resultados preliminares



Contextualização

- Carpenter e Wolosick (1980): o processo de mistura deveria durar tanto quanto necessário para garantir a difusão homogênea do agente de reciclagem no asfalto envelhecido
- Zaumanis et al. (2013): estudo de rejuvenescedores após aquecimento a 135 °C durante 40 minutos (100% fresado)
- Zhao (2014): tempo de difusão de 15 min a 155°C se mostrou adequado (50% de fresado); a 125°C, o tempo sobe para 1h
- Ma et al. (2015): agente de baixa viscosidade tem maior difusibilidade porém pior estabilidade térmica
- Ding et al. (2016): adicionar o agente de reciclagem ao asfalto envelhecido primeiro, em vez de adicionar o agente ao ligante asfáltico virgem primeiro, pode acelerar substancialmente a difusão
- Margaritis et al. (2019): temperaturas altas e tempos de mistura mais longos podem proporcionar maior grau de difusão
- Li et al. (2021): rejuvenescimento maior quando aquecido a 165 °C durante 3 horas (40% de fresado)
- OBJETIVO: investigar o processo de difusão de modo a determinar as condições ideais (temperatura e tempo) de incorporação do bio-agente

Matriz de agregados finos (MAF) - método de preparo

- Composição granulométrica: centro da faixa C do DNIT com TMN de 2,0 mm
- Teor de asfalto: 9%
- Dimensões aproximadas da amostra: 40,0 mm de altura e 12,7 mm de diâmetro
- Volume de vazios determinado pelo método da DMT (Curado et al., 2021): $5,0 \pm 0,5\%$

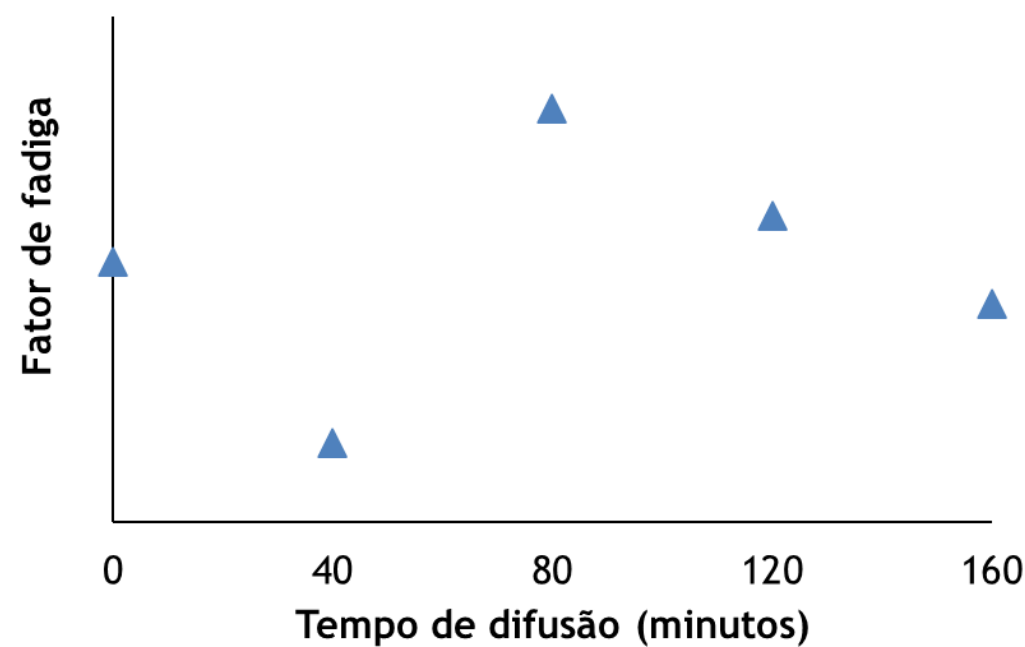
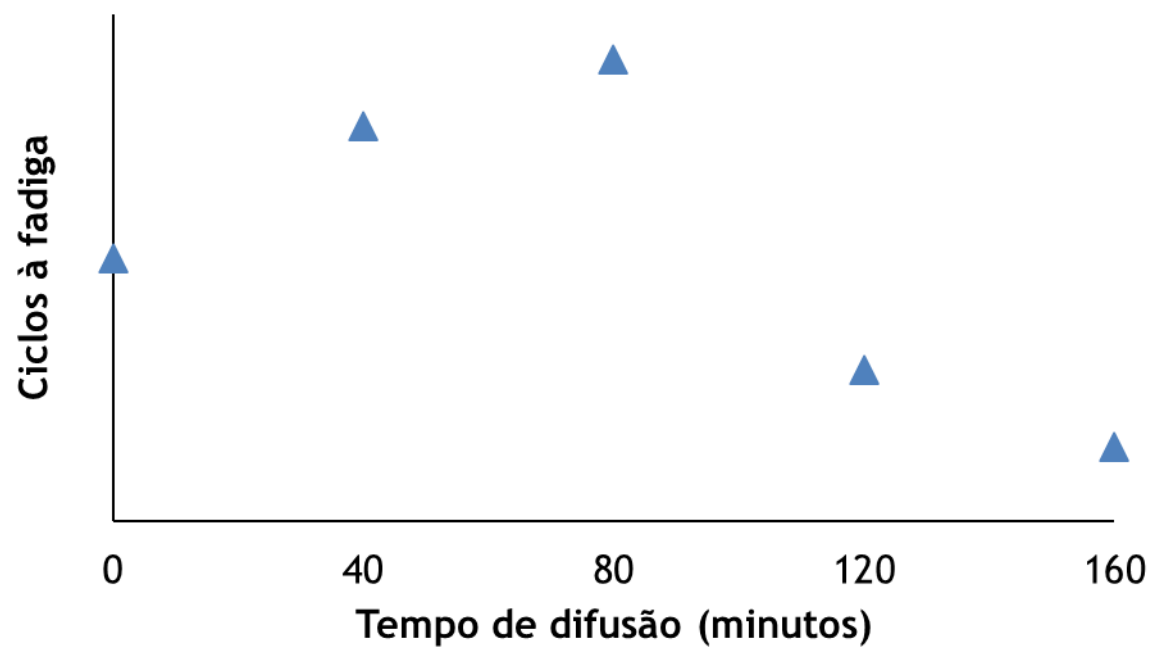


Molde e processo de compactação (Curado et al., 2021)

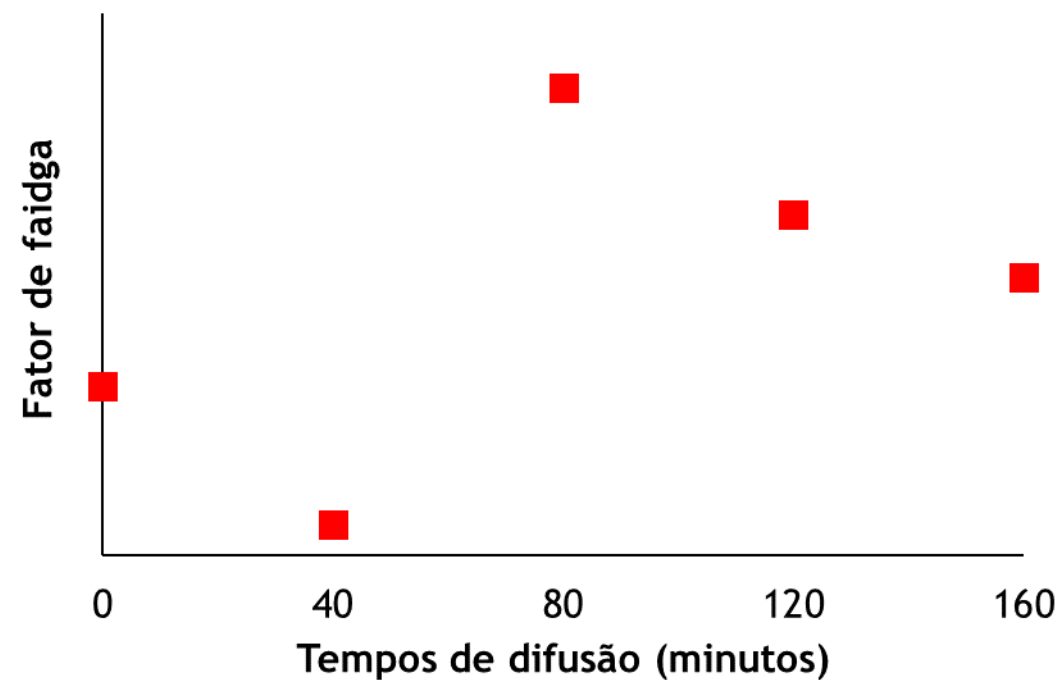
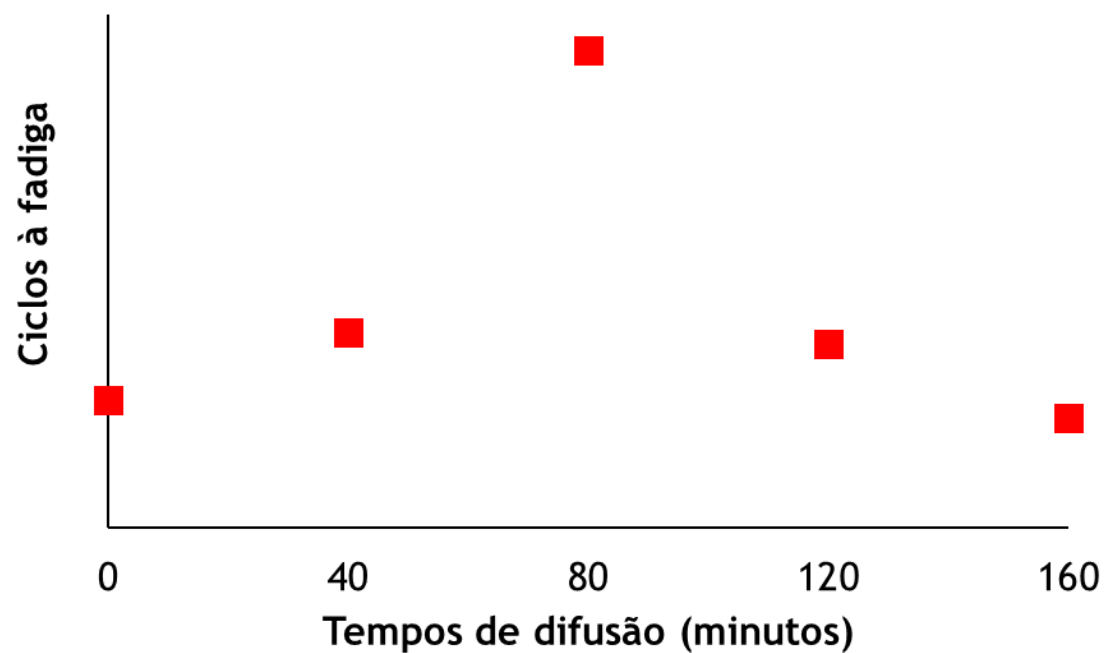
Matriz de agregados finos (MAF) - método de preparo

- **Etapas da preparação das MAFs:**
 1. Pré-aquecimento
 2. Mistura
 3. Tempo de difusão
- Tempos de difusão: 40, 80, 120 e 160 minutos
- Temperaturas: 160 e 135 °C
- Teores de material fresado: 40 e 100%

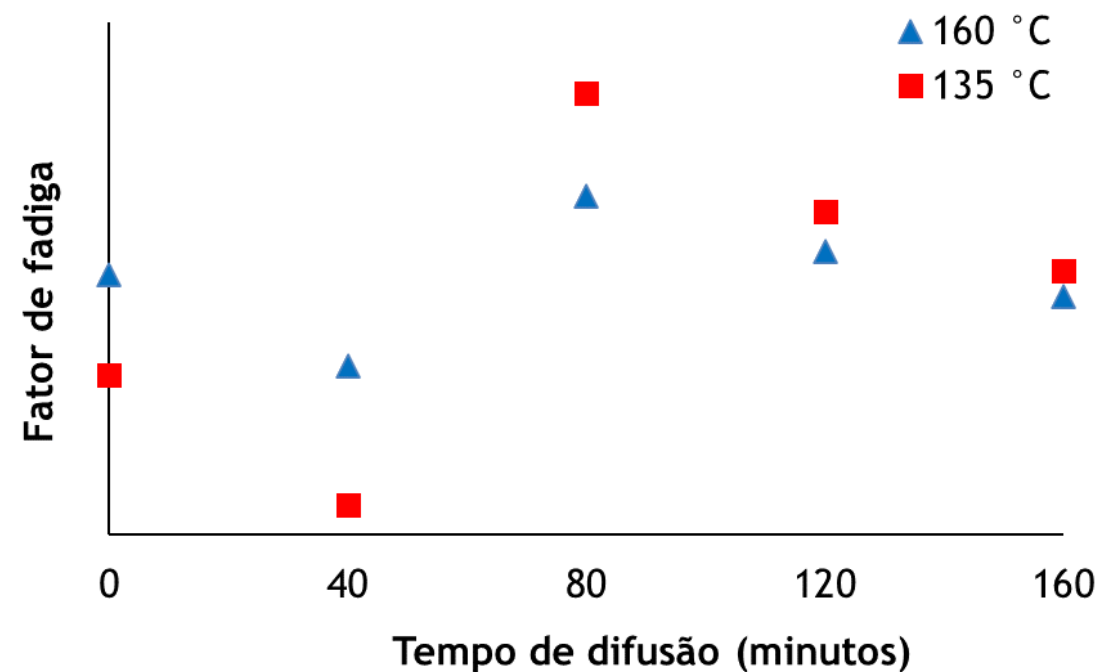
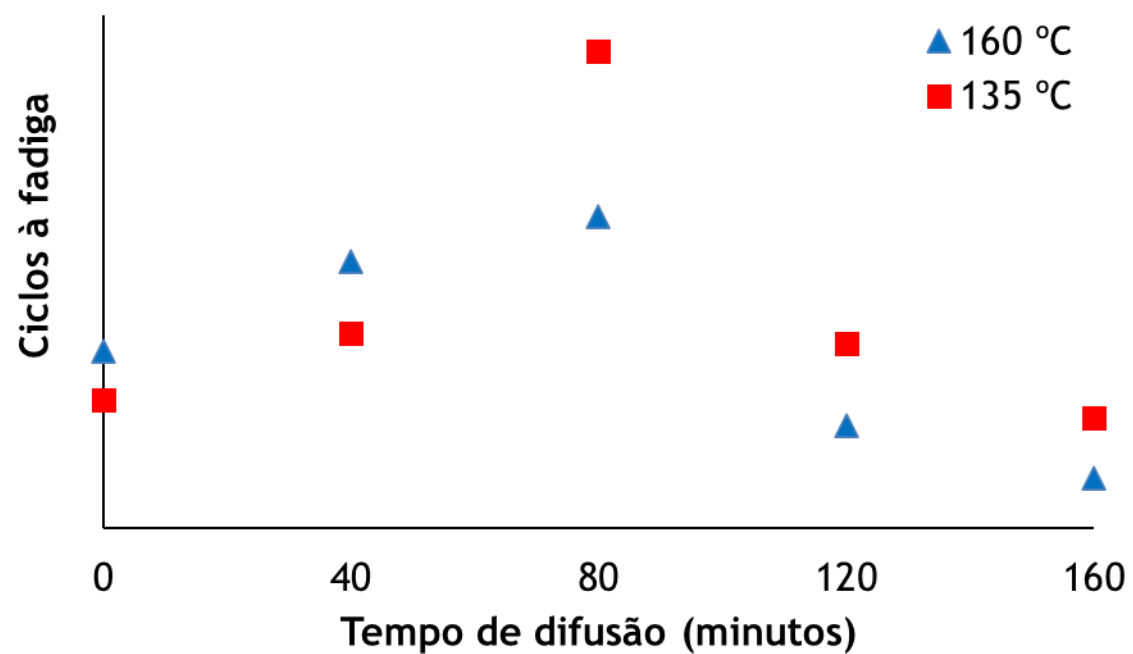
Tempo de difusão - misturas preparadas a 160°C



Tempo de difusão - misturas preparadas a 135°C



Efeito da temperatura



Referências

- Carpenter, S. H., Wolosick, J. R. (1980). Modifier influence in the characterization of hot-mix recycled material, **Transportation Research Board**, n.777, p.15-22
- Zaumanis, M., Mallick, R. B., Frank, R. (2013). Evaluation of rejuvenator's effectiveness with conventional mix testing for 100% Reclaimed Asphalt Pavement mixtures, **Transportation Research Record**, 2370, p.17-25
- Curado, T. S., Klug, A. B., Pioli, J. H. G., Nardo, R. C., Faxina, A. L., Teixeira, J. E. S. L., Rezende, L. R. (2021). Study of maximum specific gravity of fine aggregate matrices: a comparison of sample sizes and density determination procedures, **Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET)**
- Zhao, S. (2014). Blending issues of Hot and Warm Mix Asphalt containing Recycled Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingle, PhD Dissertation, University of Tennessee, Knoxville
- Ma, T., Huang, X., Zhao, Y., Zhang, Y. (2015). Evaluation of the diffusion and distribution of the rejuvenator for hot asphalt recycling, **Construction and Building Materials**, n.98, p.530-536
- Ding, Y., Huang, B., Shu, X., Zhangm, Y., Woods, M. E. (2016). Use of molecular dynamics to investigate diffusion between virgin and aged asphalt binders, **Fuel**, n.174, p.267-273
- Margaritis, A., Tofani, G., Jacobs, G., Blom, J., Tavernier, S., Vuye, C., Van den bergh, W. (2019). On the applicability of ATR-FTIR microscopy to evaluate the blending between neat bitumen and bituminous coating of reclaimed asphalt, **Coatings**, n.9, v.4
- Li, M., Liu, L., Xing, C., Liu, L., Wang, H. (2021). Influence of rejuvenator preheating temperature and recycled mixture's curing time on performance of hot recycled mixtures, **Construction and Building Materials**, n.295

Felipe Brandão Santos

felipebsantos@alumni.usp.br

Adalberto Leandro Faxina

adalberto@usp.br



