

O PAPEL DOS FATORES DE TRANSLAÇÃO DE TEMPERATURA NA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

LEONARDO MACHADO MENDES¹; AMANDA DO SACRAMENTO ROBE²;
LUCAS ADRIEL RODRIGUES CARDOSO³; MILENA CARDOSO NEITZEL⁴;
PRISCILA MILECH THEISEN⁵; KLAUS MACHADO THEISEN⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – leonardo.machado@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – amandasrobe@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – lucascardosor.c2@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – milenacneitzel@hotmail.com

⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul – priscila.milech@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – theisenkm@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O módulo dinâmico (MD) é a propriedade de rigidez de misturas asfálticas, descreve como a relação tensão-deformação ocorre nessas misturas. O ensaio é padronizado conforme a norma DNIT 416/2019-ME (DNIT, 2019) onde uma carga axial senoidal ou semi senoidal de frequência variável, a várias temperaturas, é aplicada em corpos de prova de misturas asfálticas, sendo padrão as temperaturas de 4, 20 e 40°C e as frequências 0,1; 0,5; 1, 5, 10 e 25 Hz. A resposta será o MD medido das combinações temperatura-frequência para construir as curvas mestras, que são uma forma de representação contínua do MD em uma ampla faixa de frequências variadas, com uma temperatura de referência. Esta construção é feita aplicando-se o princípio da superposição Tempo-Temperatura (PSTT), que permite unificar os resultados em uma única curva para a temperatura de referência (Rocha *et al.*, 2018).

No PSTT, são utilizados fatores de translação de temperatura (aT), que são coeficientes adotados para alinhar as curvas mestras em uma única temperatura de referência, permitindo a sobreposição de dados e considerar o efeito da mudança de temperatura e sua equivalência com a da frequência, através da frequência reduzida (Rocha *et al.*, 2018).

Segundo (Pivetta *et al.*, 2018), a literatura apresenta vários modelos para expressar aT. Segundo (Pivetta *et al.*, 2018), os fatores podem ser obtidos através da equação de Arrhenius, expressa por $\log(aT) = C \cdot (1/T - 1/T_r)$, onde C é constante para cada mistura, T é a temperatura e T_r é a temperatura de referência. Vestena *et al.* (2021) menciona os modelos polinomiais, expressos por $\log(aT)$ como um somatório de termos $c_i \cdot (T - T_r)^i$, onde “i” representa o grau do polinômio do ajuste, com valor mínimo de 1, e c_i são constantes para cada mistura.

O presente trabalho, portanto, tem o objetivo de obter aT segundo os modelos apontados na literatura para diferentes bancos de dados de misturas asfálticas de diferentes características, obtendo curvas mestras desses bancos, de forma a auxiliar no entendimento do comportamento de aT e escolha do modelo mais adequado entre os disponíveis na literatura.

2. METODOLOGIA

Os dados para a realização do trabalho foram obtidos de bibliotecas digitais de universidades brasileiras e plataformas eletrônicas de artigos científicos. Foram selecionados trabalhos publicados entre 2015 e 2025, buscando-se resultados

atuais. Os dados extraídos desses documentos incluíam: a faixa granulométrica do DNIT, as frequências (Hz), os módulos dinâmicos (MPa) e as temperaturas (°C). Após a coleta, foi criado um banco de dados em planilha eletrônica, onde as misturas foram categorizadas nas faixas B e C estabelecidas pelas especificações de serviço vigentes do DNIT.

Para a construção das curvas mestras, utilizou-se o PSTT. O deslocamento foi feito assumindo-se o fator de translação (aT) como três modelos: a) modelo polinomial linear, do tipo $\log(aT)=c_1*(T-T_r)$; b) modelo polinomial quadrático, do tipo $\log(aT)=c_2*(T-T_r)^2+c_1*(T-T_r)$ c) modelo polinomial cúbico, do tipo $\log(aT)=c_3*(T-T_r)^3+c_2*(T-T_r)^2+c_1*(T-T_r)$. onde c_3 , c_2 e c_1 são constantes que vão variar conforme modelo empregado. O ajuste da curva mestra foi feito utilizando-se o modelo sigmoidal padrão da literatura.

A partir desses ajustes, foram obtidas as constantes do modelo sigmoidal mencionado, bem como os MD's mínimo e máximo (E_0 e E_{inf} , respectivamente), utilizando-se a ferramenta "Atingir Meta" do Microsoft Excel, partindo-se de valores iniciais de E_0 e E_{inf} , variando-se ciclicamente E_0 e após E_{inf} de forma a reduzir o erro percentual médio absoluto (EPMA) dos dados experimentais com relação aos previstos pelo ajuste sigmoidal. Iterações de variação de E_0 e E_{inf} foram realizadas até que a diferença percentual do EPMA entre uma iteração e outra fosse menor um igual a 1%. Os valores finais obtidos foram reunidos em uma tabela comparativa, apresentada na seção de Resultados e Discussão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados dos ajustes realizados.

Tabela 1 – resultados dos ajustes das curvas mestras com modelos Log(aT)

Misturas	E_0 (MPa)	E_{inf} (MPa)	A	B	c_3	c_2	c_1	R^2	EPM (%)
Faixa B LogaT linear	61,5	22730	0,46	-0,53	0	0	-0,11	0,96	17,79
Faixa B LogaT quadrático	99,5	20328	0,53	-0,65	0	0,0004977	-0,10	0,96	17,30
Faixa B LogaT cúbico	109,5	20147	0,53	-0,67	-0,00001707	0,0001848	-0,09	0,96	17,25
Faixa C LogaT linear	1100	25595	0,68	-0,56	0	0	-0,07	0,74	24,14
Faixa C LogaT quadrático	1060	23752	0,62	-0,59	0	0,0000387	-0,07	0,75	24,26
Faixa C LogaT cúbico	1060	22464	0,72	-0,62	0,00011156	0,0020403	-0,12	0,78	23,04

As Figuras 1 e 2 mostram a variação das funções Log(aT) para as misturas asfálticas da Faixa B e da Faixa C, respectivamente. Os resultados mostram que houve uma diminuição pouco significativa no EPM do ajuste da curva sigmoidal na faixa B quando a o grau da função Log(aT) foi aumentado de linear para quadrático e depois para cúbico, com os valores de EPM passando de 17,79% para 17,30% e 17,25%, respectivamente. Já para as misturas da faixa C, feito o mesmo processo, os valores de EPM foram de 24,14% para 24,26% na passagem da função linear para quadrática. Apenas na transição de quadrática para cúbica houve uma diminuição mais notável, de 24,26% para 23,04%. Com isso, a faixa B teve o melhor ajuste quando levado em conta os valores de EPM e de R^2 .

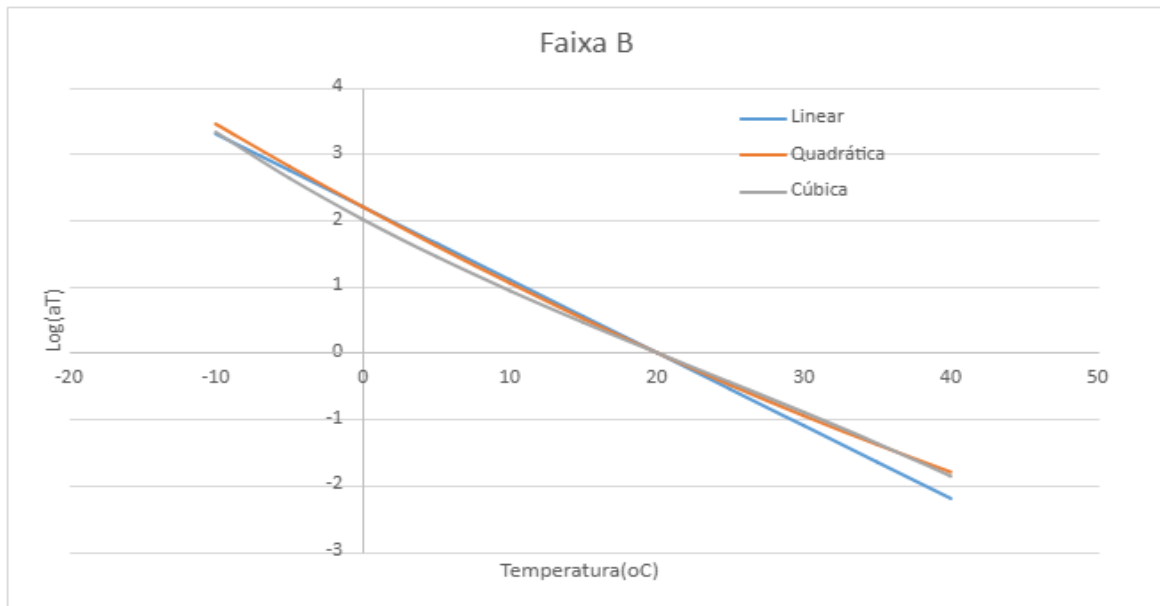


Figura 1 - variação das funções Log(aT) para misturas da Faixa B

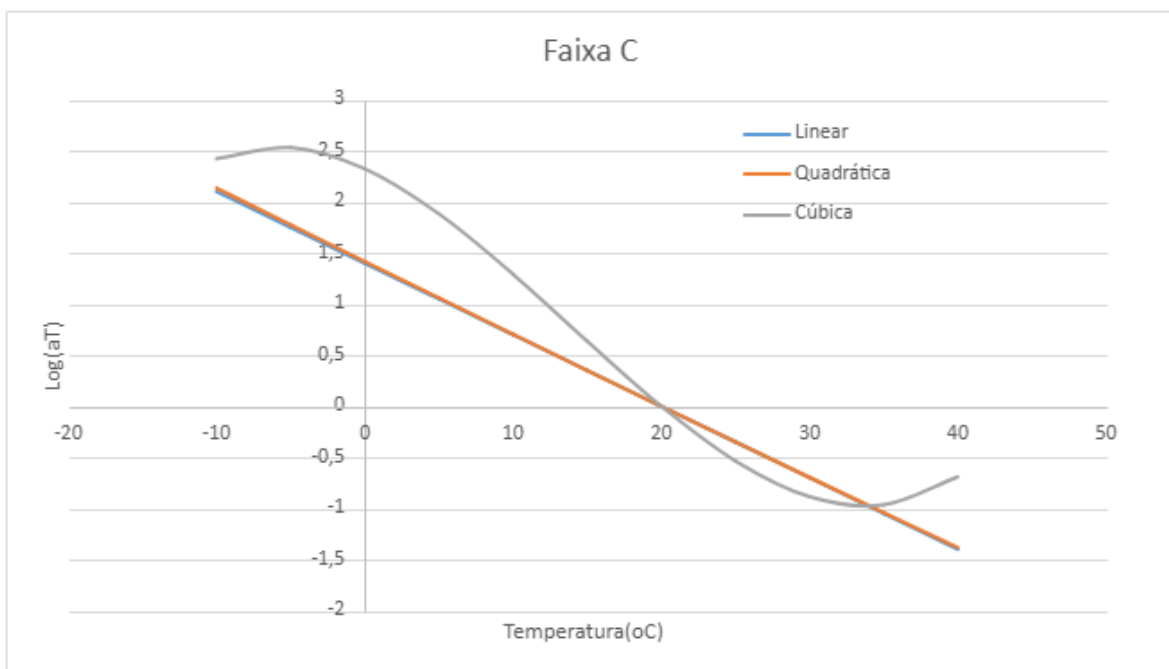


Figura 2 - variação das funções Log(aT) para misturas da Faixa C.

Analisando-se as Figuras 1 e 2, nota-se que os fatores aT têm comportamento decrescente e curvas próximas para ambas as faixas. A exceção é a faixa C, modelo cúbico, próximo às temperaturas de -10 graus e 40 graus, apresenta ponto máximo com variação de curvatura.

4. CONCLUSÕES

Em resumo, o estudo determinou Log(aT) para as faixas B e C. Após a análise e aplicação dos dados, constatou-se que o modelo cúbico foi o mais adequado entre os avaliados, destacando-se pela maior precisão que ele

proporciona quando empregado na base de dados da faixa C. Essa diferença acentuada na faixa C demonstra um indício da eficácia do modelo em representar o comportamento da curva mestra para misturas da faixa C com alta fidelidade. O modelo cúbico mostrou maior eficácia ao diminuir o EPM na faixa C, contudo o EPM na faixa B é menor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 416/2019 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo dinâmico - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019. 19 p.

PIVETTA, Felipe do Canto. **Análise de regeneração em misturas asfálticas através da mecânica do dano contínuo**. 2018. 159 f. Trabalho de Diplomação (Engenheiro Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ROCHA, Vinicius Moraes Kielling da. **Estudo da cinética de degradação de resina poliéster proveniente de fonte renovável**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

VESTENA, K. et al. **Segmentos experimentais na BR-116/RS empregando TLAflex, HiMA e 5575-E SBS: caracterização avançada e monitoramento**. ResearchGate, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/381291426>. Acesso em: 29 jun. 2025.