

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

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

²*Universidade Federal de Pelotas – amandasrobe@gmail.com*

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

⁴*Universidade Federal de Pelotas – milenacneitzel@hotmail.com*

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

⁶*Universidade 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 $\log(aT)=C*(1/T-1/T_r)$, onde C é constante para cada mistura, T é a temperatura e Tr é a temperatura de referência. Vestena et al. (2021) menciona os modelos polinomiais, expressos por $\log(aT)$ como um somatório de termos $c_i^*(T-Tr)^i$, onde “i” representa o grau do polinômio do ajuste, com valor mínimo de 1, e ci 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 $\log(aT)=c_1*(T-Tr)$; b) modelo polinomial quadrático, do tipo $\log(aT)=c_2*(T-Tr)^2+c_1*(T-Tr)$; c) modelo polinomial cúbico, do tipo $\log(aT)=c_3*(T-Tr)^3+c_2*(T-Tr)^2+c_1*(T-Tr)$. 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 ou 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 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 .

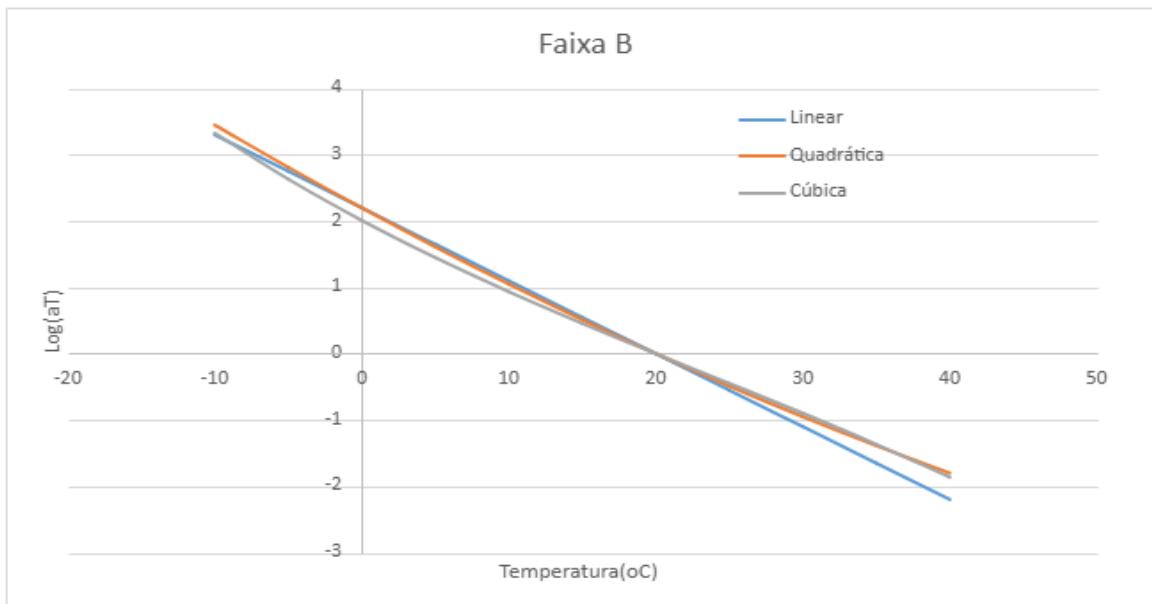


Figura 1 - variação das funções Log(aT) para misturas da Faixa B

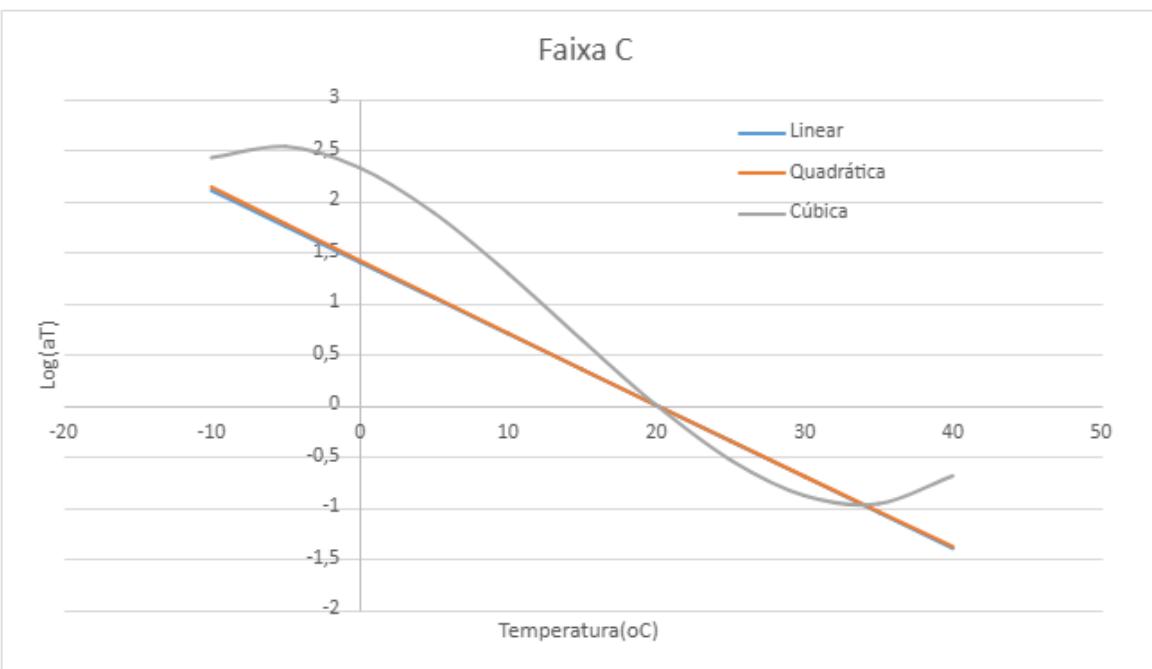


Figura 2 - variação das funções Log(aT) para misturas da Faixa C.

Analizando-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 Kieling 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.