

## **EQUIVALÊNCIA ENTRE DADOS DE TRAÇÃO A QUENTE E FLUÊNCIA NO AÇO 2,25Cr-1Mo. Parte 1 – AMPLIAÇÃO DA BASE DE DADOS NA FAIXA DE 500 A 700°C<sup>1</sup>**

Noeli Bragalda dos Santos<sup>2</sup>  
 José Francisco dos Reis Sobrinho<sup>3</sup>  
 Levi de Oliveira Bueno<sup>4</sup>

### **Resumo**

Um conjunto de 18 ensaios de fluência foi acrescentado a uma base de dados anterior que constava de 25 ensaios de tração a quente e 49 ensaios de fluência no aço 2,25Cr-1Mo. Os ensaios foram realizados na faixa de 500 a 700°C, na modalidade de carga constante, utilizando-se níveis de tensão na região de transição do comportamento de tração a quente para o de fluência, quando se analisam os resultados de acordo com uma metodologia de equivalência proposta por Bueno(2005) para análise conjunta das duas modalidades de teste. Os novos resultados de fluência confirmam de maneira marcante a correlação existente entre os dois tipos de dados, considerando quatro principais tipos de gráfico de análise do processo de fluência em metais, a saber: variação da Taxa Mínima de Fluência com a Tensão (Norton), variação da Taxa Mínima de Fluência com o inverso da Temperatura (Arrhenius), variação da Taxa Mínima de Fluência com o Tempo de Ruptura (Monkman-Grant) e Queda de Resistência com o Tempo de Ruptura.

**Palavras-chave:** Aço 2,25Cr-1Mo; Tração a quente; Fluência; Extrapolação de dados.

### **EQUIVALENCE BETWEEN HOT TENSILE AND CREEP DATA IN 2.25Cr-1Mo STEEL. Part 1 – ENLARGMENT OF THE DATA BASYS FROM 500 TO 700°C**

#### **Abstract**

A batch of 18 creep test results we added to a previous data basis consisting of 25 hot tensile tests and 49 creep tests in 2,25Cr-1Mo steel. The tests were carried out from 500 to 700°C, at constant load, with stress levels in the transition region from hot tensile to creep behaviors, as long as the data are analyzed according to a methodology of equivalence proposed by Bueno(2005) for the concomitant analysis of both kind of results. These new results remarkably confirm the correlation existing between hot tensile and creep data, according to four principal graphs in the analysis of creep behavior analysis in metals, namely variation of: Minimum Creep Rate with Stress (Norton), Minimum Creep Rate with Inverse of Temperature (Arrhenius), Minimum Creep Rate with Rupture Time (Monkman-Grant) and Loss Creep Strength with Rupture Time.

**Keywords:** 2,25Cr-1Mo steel; Hot tensile data; Creep data; Data extrapolation.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheira Química. Gerente Industrial, Usina Comanche, Canitar (SP), Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico. Professor do Cefet, Teresina (PI), Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Mecânico EESC-USP. Professor Associado do DEMa/UFSCar, São Carlos (SP), Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Em trabalhos produzidos no Laboratório de Fluência do DEMa/UFSCar, publicados em 2004 / 2005,<sup>(1,2)</sup> foi proposto um critério que estabelece as seguintes relações entre os fenômenos de tração a quente e fluência:

- a) A tensão máxima no teste de tração a quente é virtualmente idêntica à tensão aplicada no teste de fluência.
- b) A taxa de deformação no teste de tração a quente é virtualmente idêntica à taxa mínima de fluência no teste de fluência.
- c) O tempo para ocorrência da tensão máxima no teste de tração a quente é virtualmente idêntico ao tempo de ruptura no teste de fluência.

O aço 2,25Cr-1Mo foi selecionado para estudo em decorrência da sua extensa utilização na indústria química e petroquímica nacional, principalmente na faixa de 500°C a 650°C.

A validade do critério de equivalência proposto foi verificada com sucesso, inicialmente utilizando-se dados de tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo gerados na faixa de 500 a 700°C. No entanto, desde o primeiro trabalho, realizado por Reis Sobrinho,<sup>(1)</sup> verificou-se a necessidade de produzir mais resultados para preenchimento dos dados em certas faixas de condição de ensaio, de forma a comprovar a real coincidência entre os dados de tração e fluência nessas regiões. Uma primeira complementação nesse sentido foi realizada no trabalho apresentado por Bueno.<sup>(2)</sup> Posteriormente, mais dados de fluência foram acrescentados ao trabalho por Santos,<sup>(3)</sup> ampliando significativamente a base inicial de resultados.

Neste trabalho, apresenta-se uma atualização dos resultados de equivalência entre tração a quente e fluência, considerando-se a nova base de dados ampliada que consta agora de 25 ensaios de tração a quente e 67 ensaios de fluência.

Tendo em vista que será realizada uma correlação entre os dados de tração a quente com os de fluência, optou-se pela utilização da terminologia de fluência para descrição dos resultados de tração a quente, ou seja sempre que for mencionado: tensão aplicada, taxa mínima de fluência e tempo de ruptura para os testes de tração, deve-se considerar que se trata na realidade de: limite de resistência a tração, taxa de deformação em tração e tempo de ocorrência do limite de resistência a tração.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aço foi fornecido na forma de placa com 25,4mm de espessura, de acordo com a especificação ASTM A387, Grau 22 – CL2, na condição de tratamento térmico de normalização e revenimento, com a seguinte composição química: Fe – 2.09Cr – 1.08Mo – 0.097C – 0.32Si – 0.50Mn – 0.007P – 0.002S – 0.03Ni – 0.01Cu – 0.05Al. Análise metalográfica do material indicou a presença de 30% de bainita e 70% de ferrita.

Os corpos de prova para os ensaios de tração a quente e fluência foram extraídos na direção longitudinal de laminação, tendo sido usinados com comprimento inicial de referência,  $L_0 = 25$  mm e diâmetro inicial  $d_0 = 6,25$  mm.

Os ensaios de tração a quente foram realizados em uma máquina servo-hidráulica INSTRON modelo 8802, nas temperaturas de: 500°C – 550°C – 600°C, 650°C – 700°C, utilizando-se as seguintes velocidades de tração: 0,01 – 0,25 – 1,0 – 5,0 – 20 mm/min. Desta maneira, 25 ensaios de tração foram realizados, em uma

faixa de cerca de 3 ordens de magnitude em taxa nominal de deformação, a saber:  $6,67 \times 10^{-6}$  a  $1,33 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Os ensaios de fluência foram realizados na modalidade de carga constante, de acordo com a ASTM E139,<sup>(4)</sup> empregando um conjunto de 10 máquinas de fluência, modelo STM-MF 1000. O alongamento dos corpos de prova foi monitorado com extensômetros de alta temperatura conectados a LVDTs. As leituras geradas pelos transdutores foram coletadas por um Data Logger, usando-se uma taxa de varredura de 6 leituras/h, na maioria dos casos. Os ensaios foram realizados em 9 níveis de temperatura: 500°C – 525°C – 550°C – 575°C – 600°C – 625°C – 650°C – 675°C – 700°C, com 19 níveis de tensão aplicada, variando de 34,5 MPa a 448 MPa. No total 67 testes de fluência foram realizados com tempos de ruptura variando de 0,1h a cerca de 1300h.

Os resultados referentes ao conjunto de 25 ensaios de tração a quente e 49 ensaios de fluência foram relatados anteriormente, no trabalho de Reis Sobrinho.<sup>(1)</sup> No presente trabalho, 18 ensaios de fluência complementares foram realizados em 5 níveis de temperatura: 500°C – 550°C – 600°C – 650°C – 700°C, com o objetivo de preencher principalmente as regiões onde os dados encontravam-se mais rarefeitos.

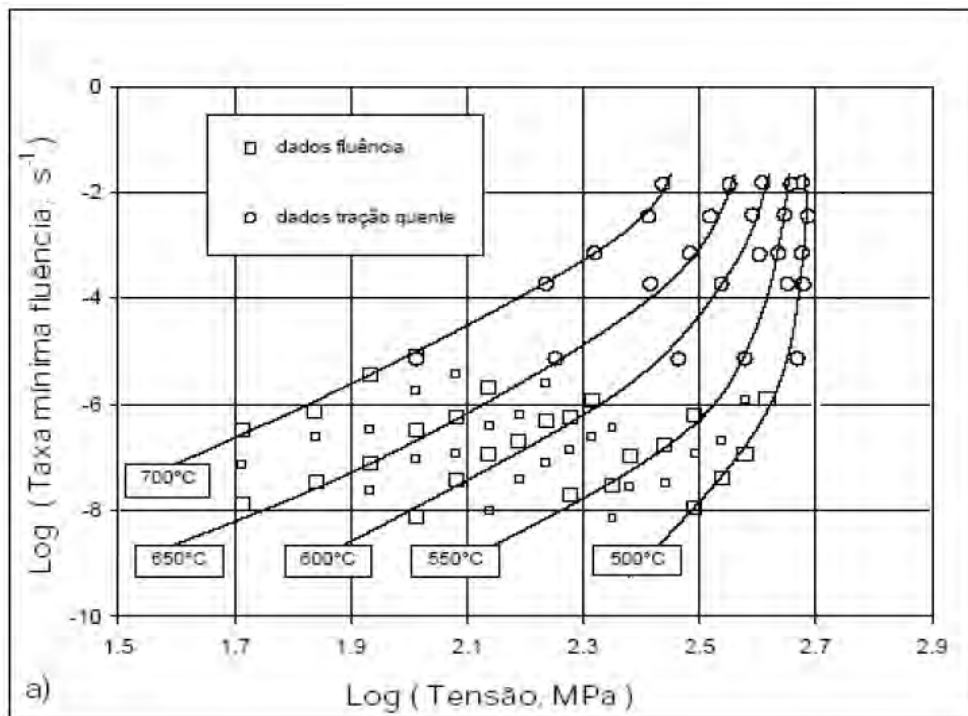
É importante ressaltar que todos os valores de tensão, deformação e taxa de deformação, mencionados neste trabalho correspondem a valores nominais (ou de engenharia) dessas variáveis, ou seja, eles são baseados no comprimento inicial e área inicial da secção transversal de cada corpo de prova. Este procedimento foi adotado, pois os ensaios de tração a quente e os de fluência foram realizados com velocidade constantes do travessão e com carga constante, respectivamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

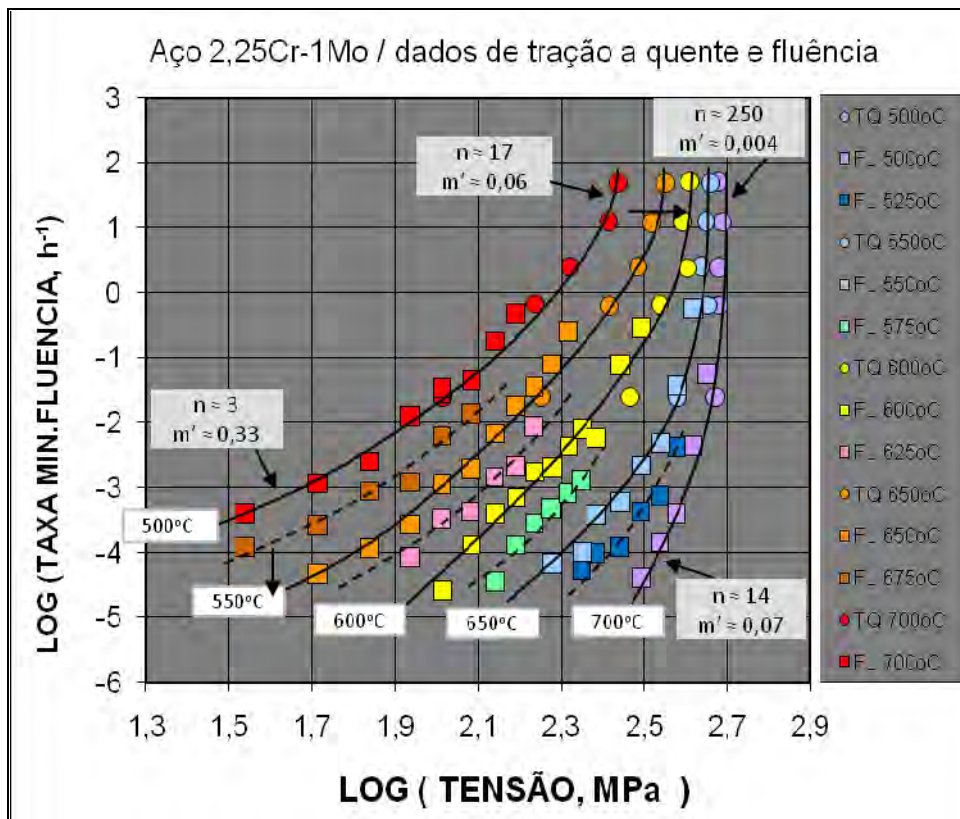
A Figura 1 apresenta os dados de variação da Taxa Mínima de Fluência com a Tensão, nas diferentes temperaturas de ensaio. Como comentado na sessão anterior deste trabalho, não foram realizados ensaios de tração a quente nas temperaturas de 525°C – 575°C – 625°C – 675°C. Observa-se que, nas temperaturas de 500°C – 550°C – 600°C – 650°C – 700°C, a concordância entre os dados de tração a quente e os de fluência é marcante.

No entanto, percebe-se que na região de transição, faltam dados que revelem melhor uma superposição dos pontos provenientes de cada tipo de teste. A Figura 2 apresenta os resultados de atualização das curvas, com a introdução dos 18 ensaios complementares deste trabalho. Nota-se a excelente equivalência entre os dois tipos de resultados que apresentam coincidência em uma faixa de tensão muito mais ampla. No presente trabalho, optou-se por expressar as medidas de tempo de ruptura e taxa mínima de fluência em  $h$  e  $h^{-1}$ , respectivamente, ao invés de  $s$  e  $s^{-1}$  adotadas anteriormente.

O tipo de gráfico mostrado na Figura 2 é bastante empregado para se verificar a validade da relação de Norton:  $\dot{\epsilon}_s = A \cdot \sigma^n$ , fornecendo os parâmetros  $n$  (expoente de tensão) e  $A$  (coeficiente pré-potencial). De acordo com a equivalência observada entre os dados, pode-se considerar a existência dos parâmetros  $n$  e  $A$  também para os ensaios de tração a quente.



**Figura 1** – Variação da Taxa Mínima de Fluência com a Tensão considerando os dados obtidos anteriormente.<sup>(1)</sup> Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

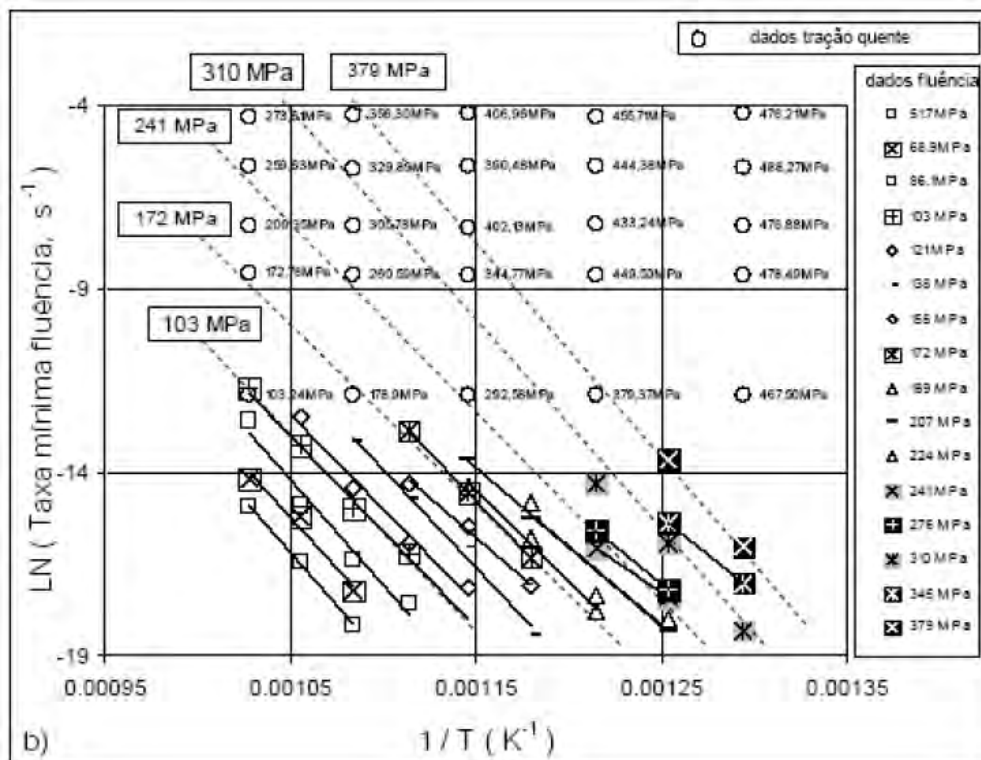


**Figura 2** – Variação da Taxa Mínima de Fluência com a Tensão, considerando os novos dados de fluência acrescentados ao trabalho. Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

No caso de análise dos ensaios de tração a quente, o gráfico usualmente utilizado é o da variação do limite de resistência a tração (tensão aplicada) com a taxa de deformação em tração (taxa mínima de fluência), em que se procura verificar a validade da relação de sensibilidade da tensão com a taxa de deformação:  $\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}_s^{m'}$ , que fornece os parâmetros  $m'$  e  $C$  (expoente e coeficiente de sensibilidade da tensão com a taxa de deformação, respectivamente). Como há equivalência entre os dados, de acordo com a Figura 2, e comparando-se as duas relações, conclui-se que  $m' = 1/n$ .

Alguns valores da variação de  $n$  e  $m'$  com a temperatura e a tensão aparecem indicados na Figura 2, como por exemplo, a 700°C, em que  $n$  varia de 3 até 17 ( e  $m'$  de 0,33 até 0,06), e a 500°C em que  $n$  varia de 14 até 250 ( e  $m'$  de 0,07 até 0,004). Na legenda desta figura, a sigla **TQ** corresponde aos ensaios de tração a quente e **FL** aos ensaios de fluência.

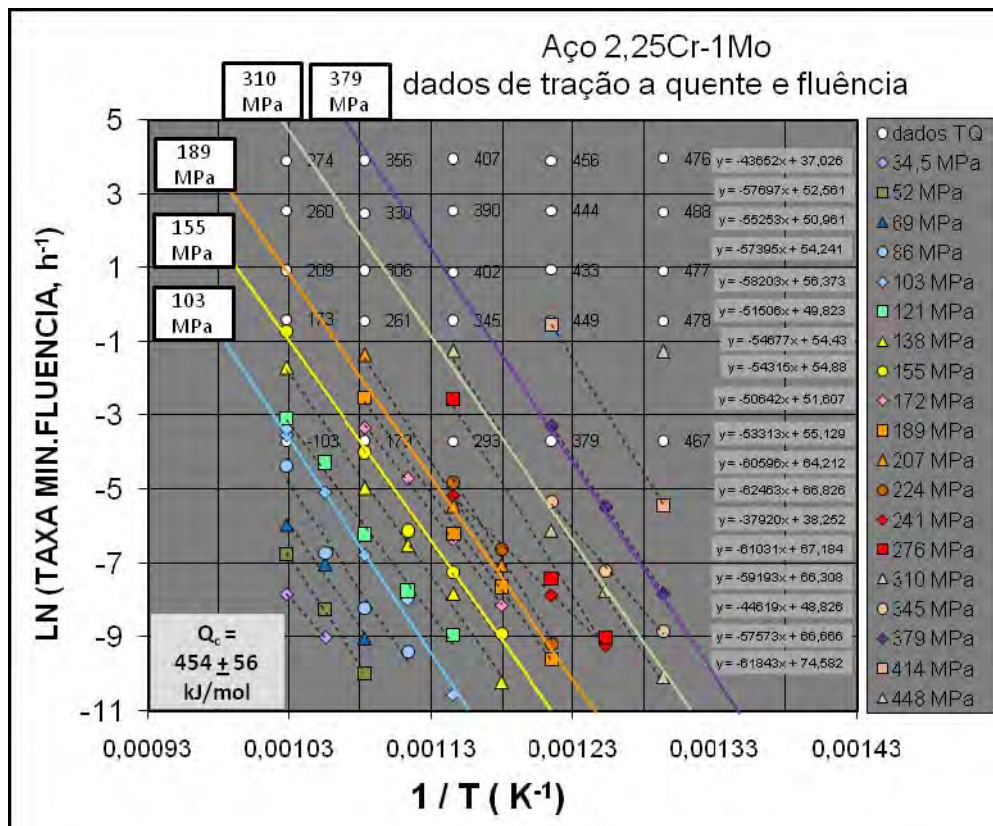
As Figura 3 e 4 apresentam os dados de variação da Taxa Mínima de Fluência com o Inverso da Temperatura, nas diferentes tensões de ensaio. Este tipo de gráfico é bastante empregado para se verificar a validade da relação de Arrhenius:  $\dot{\epsilon}_s = B \cdot \exp(-Q_c/RT)$ , fornecendo os parâmetros  $Q_c$  (energia aparente de ativação de fluência) e  $B$  (coeficiente pré-exponencial). Essa relação é observada normalmente quando se realizam ensaios de fluência na condição de iso-tensão. No caso de resultados de tração a quente não seria possível verificar a relação, já que ensaios em iso-tensão não são factíveis.



**Figura 3** – Variação da Taxa Mínima de Fluência com o Inverso da Temperatura, considerando os dados obtidos anteriormente.<sup>(1)</sup> Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

A Figura 4 corresponde à atualização dos dados da Figura 3 com a introdução dos 18 novos ensaios de fluência. As diferentes linhas retas ajustadas aos dados de fluência na Figura 4 forneceram um valor médio de  $Q_c = 445 \pm 56$  kJ/mol, que

concorda bem com resultados reportados anteriormente para o mesmo aço, por outros autores.<sup>(5,6)</sup> Nota-se que os dados apresentam-se alinhados numa disposição aproximadamente paralela. Na parte superior da figura aparecem plotados os dados referentes aos ensaios de tração a quente, estando indicados ao lado de cada ponto os valores correspondentes do Limite de Resistência a Tração (em MPa) em cada caso. É interessante observar que o prolongamento das linhas retas na condição de iso-tensão proveniente dos dados de fluência passa pelos dados de tração a quente em regiões de tensão equivalentes a essa condição. Na figura aparecem destacadas 5 linhas desse tipo (para 379 – 310 – 189 - 155 – 103 MPa).



**Figura 4** – Variação da Taxa Mínima de Fluência com o Inverso da Temperatura, considerando os novos dados de fluência acrescentados ao trabalho. Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

As Figuras 5 e 6 apresentam os dados de variação da Taxa Mínima de Fluência com o Tempo de Ruptura, para todas as condições de ensaio. O tipo de gráfico mostrado nessas figuras é comumente utilizado para se verificar a validade da relação de Monkman-Grant:  $\dot{\epsilon}_s \times t_r^m = K$ , fornecendo os parâmetros  $m$  e  $K$ . De acordo com a literatura,<sup>(5)</sup> o valor de  $m$  fica em torno de 1 para a maioria dos materiais metálicos, simplificando a relação para  $\dot{\epsilon}_s \times t_r = C$  (relação original proposta por Monkman-Grant).

A Figura 6 corresponde à atualização dos dados da Figura 5 com a inclusão dos 18 novos ensaios de fluência. A compatibilidade entre os dados de tração a quente com os de fluência, analisados segundo a metodologia de equivalência, é muito expressiva neste gráfico, evidenciando-se também a coincidência entre os dois tipos de resultados na região de transição anteriormente carente de dados, mostrada na Figura 5. Além disso, cabe ressaltar a excelente concordância dos resultados com a previsão de Viswanathan<sup>(5)</sup> para o mesmo tipo de aço em

semelhante condição de tratamento térmico. Neste trabalho, verifica-se que  $m = 1,0047$  e  $K = 0,04892$ .

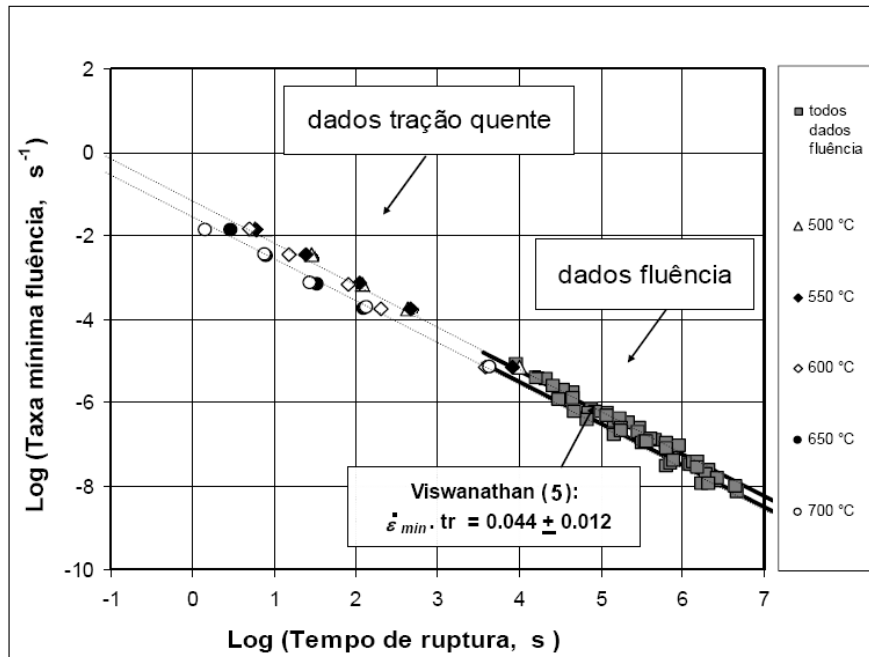


Figura 5 – Variação da Taxa Mínima de Fluência com o Tempo de Ruptura, considerando os dados obtidos anteriormente.<sup>(1)</sup> Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

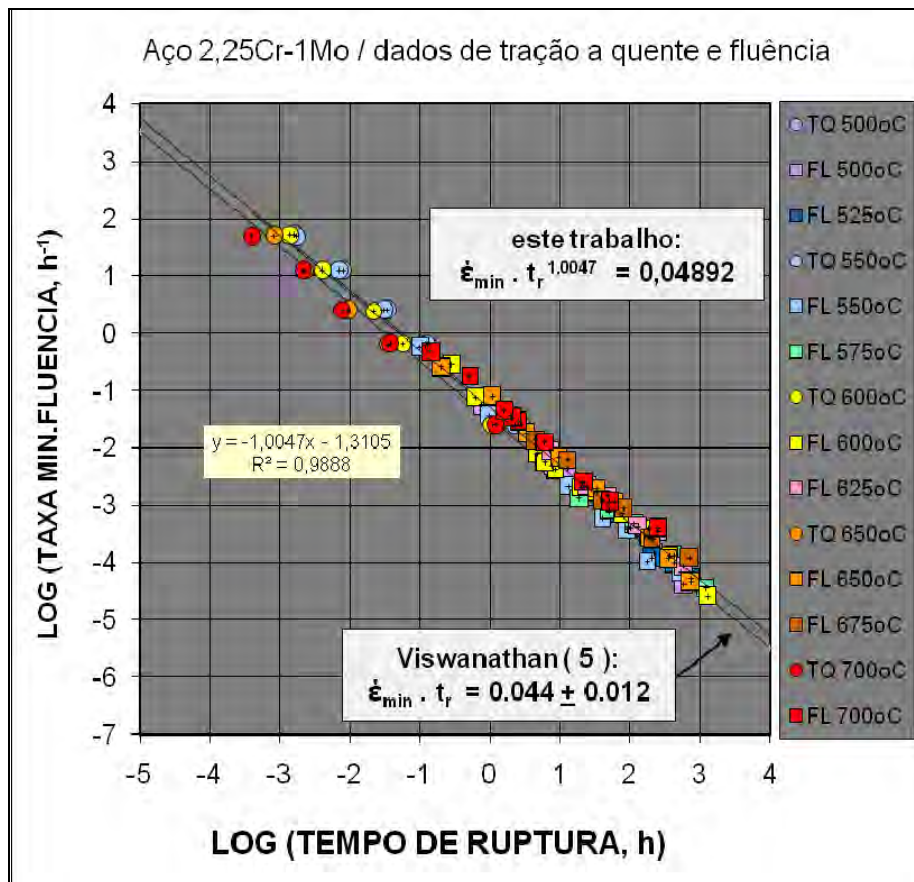
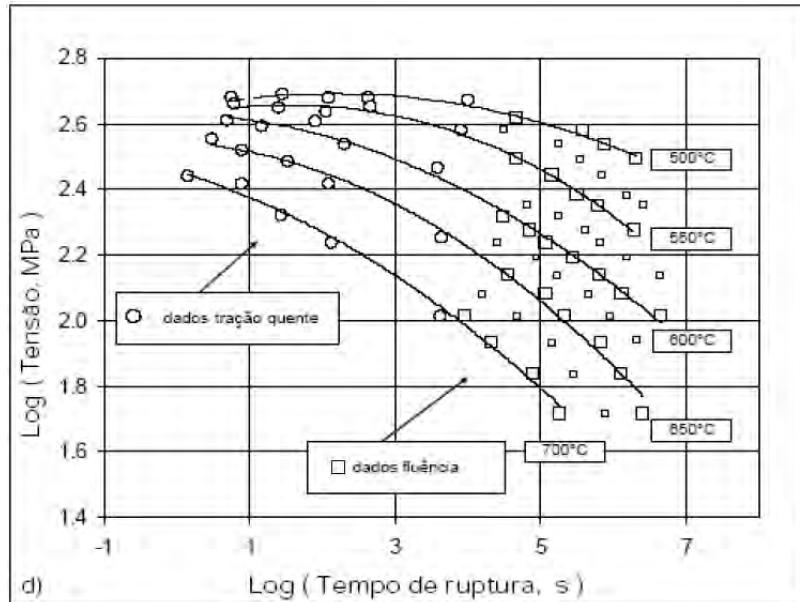
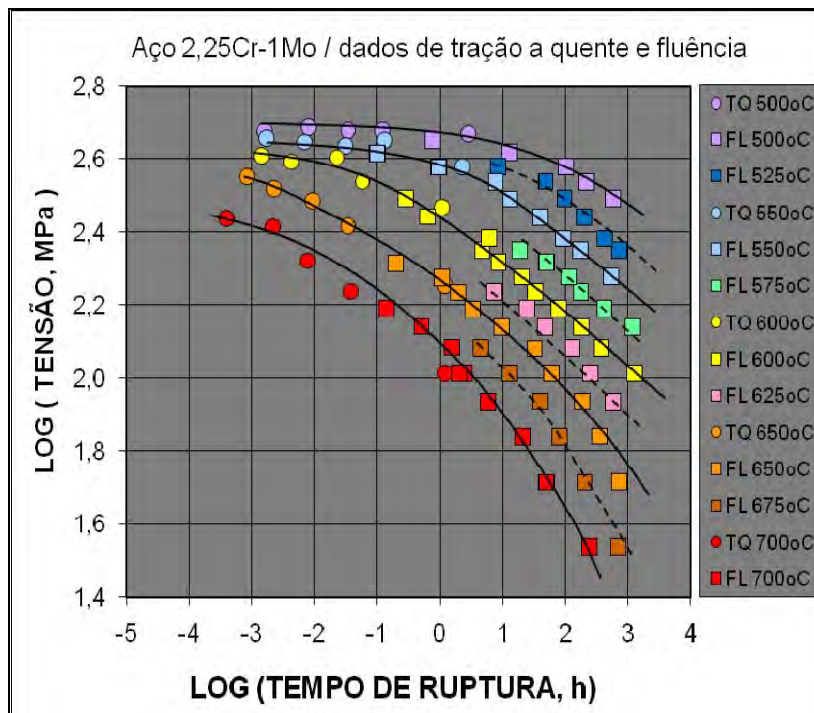


Figura 6 – Variação da Taxa Mínima de Fluência com o Tempo de Ruptura, considerando os novos dados de fluência acrescentados ao trabalho. Material: Aço 2,25Cr-1Mo, ASTM A387 Gr.22-CL2.

As Figuras 7 e 8 apresentam os dados de variação da Tensão com o Tempo de Ruptura, para os diferentes níveis de temperatura empregados nos ensaios. Esse tipo de gráfico representa a Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Ruptura, sendo extensivamente empregada em estudos de previsão de vida nas diferentes condições de operação dos materiais em alta temperatura. A equivalência entre os dados de tração a quente e fluência é mais uma vez confirmada nesta figura, ficando evidente também a superposição dos dados na região de transição.



**Figura 7** – Variação da Tensão com o Tempo de Ruptura, considerando os dados obtidos anteriormente.<sup>(1)</sup> Material: Aço 2,25Cr-1Mo ASTM A387 Gr.22-CL2.



**Figura 8** – Variação da Tensão com o Tempo de Ruptura, considerando os novos dados de fluência acrescentados ao trabalho. Material: Aço 2,25Cr-1Mo ASTM A387 Gr.22-CL2.



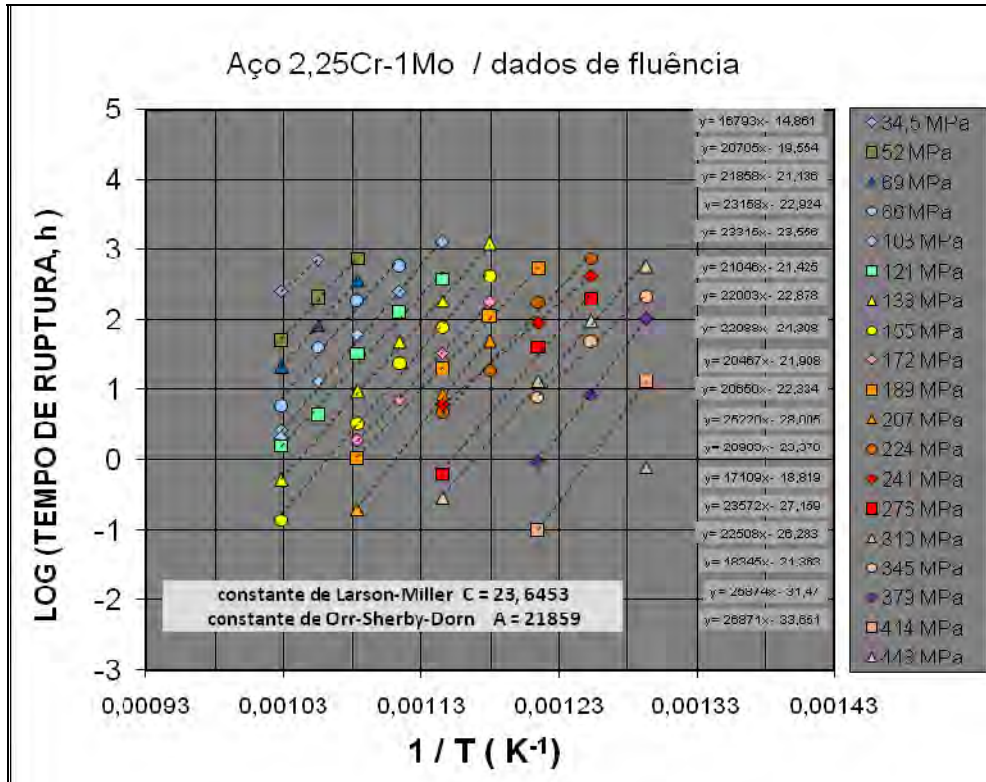
É nesse tipo de gráfico que se realizam os procedimentos de parametrização, visando a racionalização dos resultados na forma de uma única curva de referência do material, para extrapolação dos dados em tempos longos de operação em serviço. A metodologia dos procedimentos tradicionais de parametrização é baseada na elaboração de dois tipos de gráficos para obtenção das constantes referentes à formulação de cada tipo de parâmetro.<sup>(5)</sup> O gráfico no espaço  $\text{LOG}(t_r) \times 1/T$  permite a determinação das constantes pelos métodos de: Larson-Miller, Orr-Sherby-Dorn e Goldhoff-Sherby, enquanto que no espaço  $\text{LOG}(t_r) \times T$  são obtidas as constantes dos métodos de Manson-Succop e Manson-Haferd, por exemplo. As Figuras 9a e 9b apresentam os dados de fluência deste trabalho lançados nos espaços  $\text{LOG}(tr) \times 1/T$  e  $\text{LOG}(tr) \times T$ , respectivamente. O cálculo das constantes de cada método se baseia na análise do padrão de disposição das linhas de iso-tensão, que provém exclusivamente dos dados de fluência.

No presente trabalho, exploramos a possibilidade de parametrização dos dados segundo dois métodos de cada possibilidade, como mostrado nas Figuras 9a e 9b. As constantes de cada metodologia aparecem indicadas nas legendas inseridas em cada figura. As Figuras 10a e 10b mostram as curvas de parametrização referentes aos métodos de Larson-Miller e Orr-Sherby-Dorn, respectivamente e as Figuras 10c e 10d as curvas de parametrização referentes aos métodos de Manson-Succop e Manson-Haferd, respectivamente. Em todos os casos, foram ajustados polinômios de 3<sup>o</sup> grau para expressar os resultados, sendo as suas equações representadas nas legendas inseridas nas figuras.

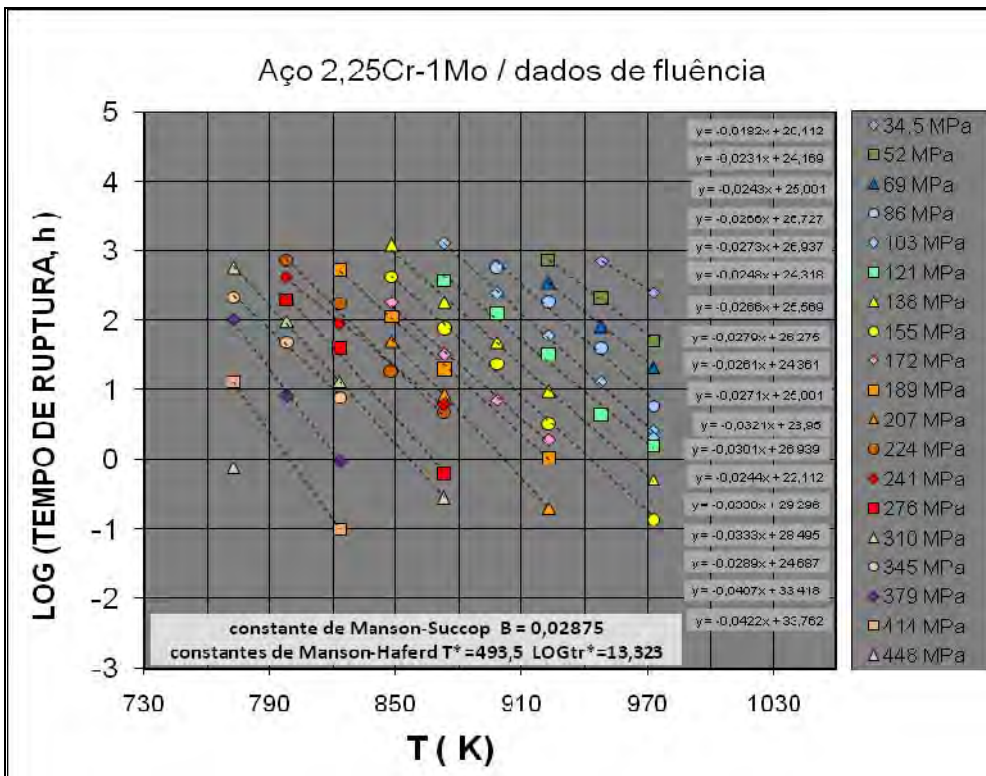
No caso das duas análises provenientes da Figura 9a, verificou-se que o procedimento de parametrização de Orr-Sherby-Dorn apresentou o melhor resultado ( $R^2 = 0,9904$ ), enquanto que para as duas análises com a Figura 9b, o melhor resultado ocorreu com o procedimento de Manson-Haferd ( $R^2 = 0,9934$ ). Dentre todos os quatro resultados é evidente a constatação do melhor desempenho de parametrização do método de Manson-Haferd, pela própria comparação visual da Figura 10d com as Figuras 10a, 10b e 10c. O melhor desempenho desse método já havia sido apontado em trabalhos anteriores,<sup>(1,2)</sup> ficando agora plenamente confirmado com o acréscimo da nova bateria de ensaios de fluência incluída neste trabalho.

As curvas de parametrização mostradas nas Figuras 10a, 10b, 10c e 10d revelam de maneira convincente o alto grau de compatibilidade dos dados de tração a quente com os de fluência, quando analisados segundo a metodologia de equivalência proposta,<sup>(2)</sup> em uma ampla faixa de superposição entre os resultados dos dois tipos de ensaio. Analisando essas figuras, observa-se nitidamente que os pontos referentes aos dados de tração a quente (representados por círculos) penetram significativamente na região dos pontos referentes aos dados de fluência (representados por quadrados), e vice-versa.

Com a introdução do parâmetro de Zener-Hollomon,  $Z = \dot{\epsilon}_s \times \exp(Q_c / RT)$ , utilizando-se o valor calculado  $Q_c = 454$  kJ/mol indicado na Figura 4, foi possível realizar a racionalização dos resultados de variação da Taxa Mínima de Fluência com a Tensão, mostrada na Figura 2, na forma de uma curva de referência contendo todos os dados. A Figura 11a ilustra o excelente resultado obtido com essa análise. Na região da extrema esquerda da curva o expoente de tensão assume o valor  $n \approx 3$  (equivalente a  $m' \approx 0,33$ ) e na parte extrema direita  $n \approx 250$  (correspondente a  $m' = 0,004$ ).



a)



b)

**Figura 9** – Gráficos de: a) **LOG(Tempo de Ruptura) x 1/T**, para determinação das constantes pelos métodos de Larson-Miller e Orr-Sherby-Dorn; b) **LOG(Tempo de Ruptura) x T**, para determinação das constantes pelos métodos de Manson-Succop e Manson-Haferd.

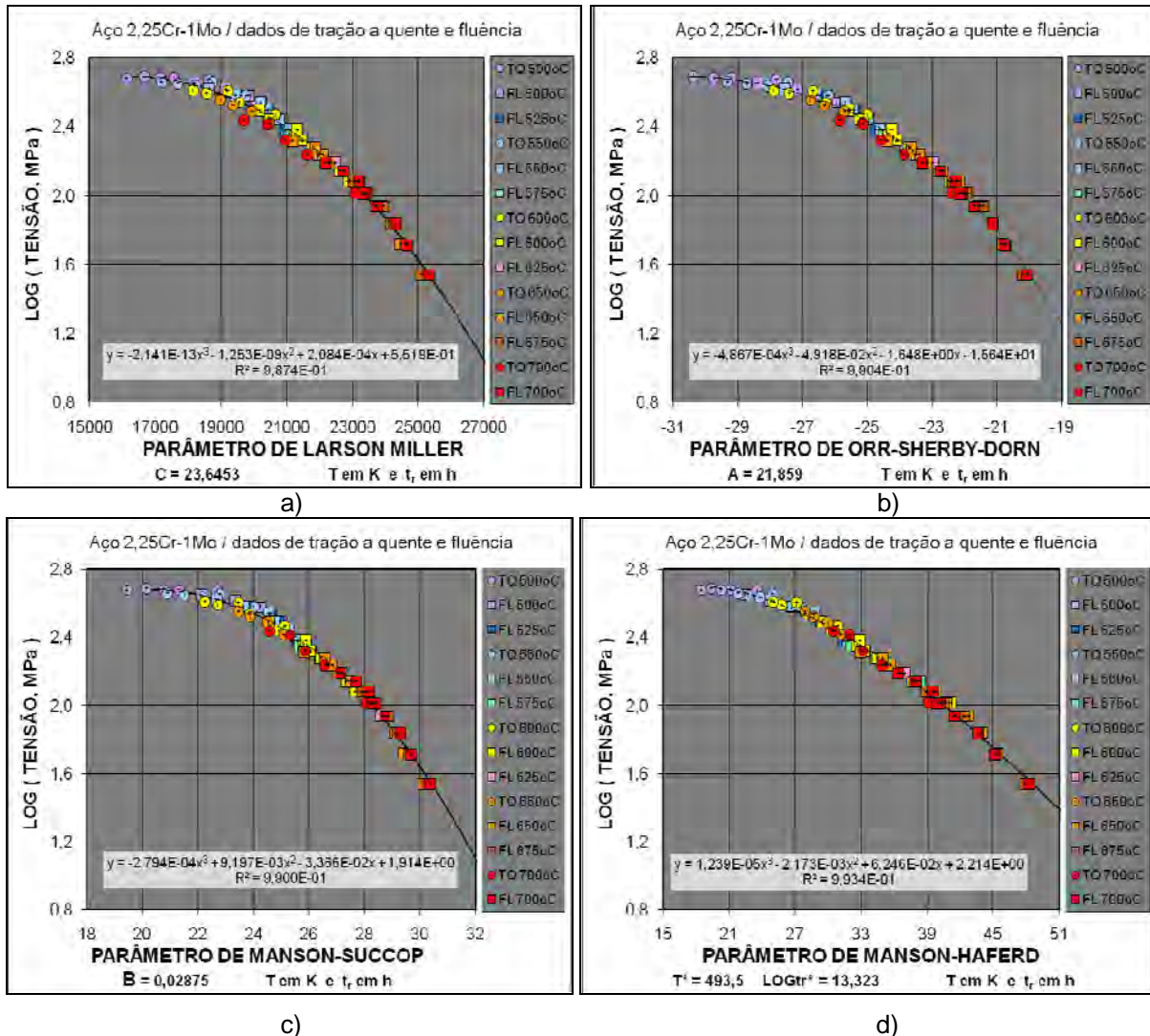


Figura 10 – Curvas de Parametrização dos dados de Tração a Quente e Fluência pelos métodos de: a) Larson-Miller; b) Orr-Sherby-Dorn; c) Manson-Succop; d) Manson-Haferd.

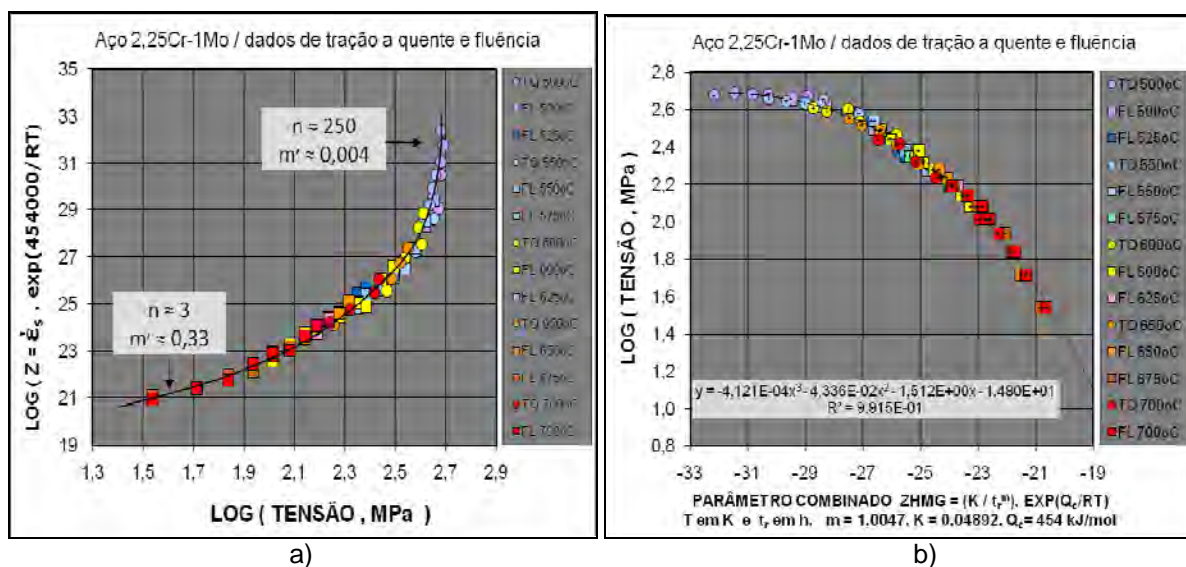


Figura 11 – Racionalização dos resultados: a) pelo parâmetro de Zener-Hollomon; b) por um parâmetro combinado Zener-Hollomon / Monkman-Grant.

É possível realizar também uma racionalização dos resultados de variação da Tensão com a Tempo de Ruptura, mostrados na Figura 8, utilizando-se um parâmetro combinado entre as relações de Zener-Hollomon com a relação de Monkman-Grant, como proposto anteriormente por Bueno<sup>(2)</sup> e Bueno e Reis Sobrinho,<sup>(7)</sup> ou seja considerando-se um novo parâmetro  $P_{ZHM\&G} = (K / t_r^m) * (\dot{\epsilon}_s \times \exp(Q_c / RT))$ . Foram considerados os valores de  $m = 1,0047$ ,  $K = 0,04892$  e  $Q_c = 454$  kJ/mol, apresentados anteriormente. É notável a excelente adequação desse tipo de procedimento para parametrização dos dados obtidos, apresentando resultado equivalente ao das metodologias tradicionais, como mostra a Figura 11b.

Tanto na Figura 11a como na Figura 11b comprova-se a coincidência dos resultados de tração a quente com os de fluência, em uma extensa faixa de cada curva de parametrização.

## 4 CONCLUSÕES

A introdução de 18 novos resultados de fluência a uma base anterior de 25 dados de tração a quente e 49 dados de fluência no aço 2,25Cr-1Mo, ASTM Gr.22 CL2, preencheu com sucesso a região de transição do comportamento de tração a quente para o de fluência, que apresentava anteriormente uma escassa quantidade de dados.

Essa nova base ampliada revela a notável compatibilidade que os resultados de tração a quente apresentam com de fluência, quando analisados por diversas formas, segundo as diferentes relações citadas na literatura de fluência nos metais.

A parametrização dos resultados de variação da tensão com o tempo de ruptura, por métodos tradicionais, evidencia uma marcante superposição entre os dados dos dois tipos de teste, em uma região significativamente abrangente das curvas de referência em cada caso.

A parametrização dos resultados de variação da taxa mínima de fluência com a tensão tornou-se possível de maneira notável com a utilização do parâmetro de Zener-Hollomon. A utilização de um procedimento de parametrização combinada, envolvendo as relações de Zener-Hollomon e Monkman-Grant, mostrou grande eficiência na racionalização dos resultados de variação da tensão com o tempo de ruptura. Em ambos os casos a concordância entre os resultados de tração a quente com os de fluência foi também confirmada.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à STM-Sistemas de Teste em Materiais Ltda pela preparação e ensaios nos corpos de prova de fluência e ao Sr. Flávio A.S.Serra da Replan/Petrobrás pela doação do material utilizado na pesquisa. A Engenheira Noeli Bragalda dos Santos e o Prof. José Francisco dos Reis Sobrinho agradecem ao CNPq/Capes pela concessão de bolsas de mestrado e de doutorado, respectivamente, no programa PPG/CEM do DEMa/UFSCar.

## REFERÊNCIAS

- 1 REIS SOBRINHO, J.F. Tese de doutorado: Correlação entre os Comportamentos de Tração a Quente e Fluência do Aço 2,25Cr-1Mo na Faixa de Temperatura de 500°C a 700°C. PPG/CEM, UFSCar, 2004.

- 2 BUENO, L.O. – Creep Behaviour of 2.25Cr-1Mo Steel - An equivalence between hot tensile and creep testing data. ECCC Creep Conference, 12-14 Setembro 2005, Londres – Proc. Creep & Fracture in High Temperature Components – Design and Life Assessment Issues – Editores: I.A.Shibli, S.R.Holdsworth, G.Merckling. DEStech Publ., USA., p.969-980 , 2005.
- 3 SANTOS, N.B. Dissertação de Mestrado: Avaliação de um critério de equivalência entre dados de tração a quente e fluência em aços. PPG/CEM, UFSCar, 2007.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E 139-83 (Re-approved 1990), Annual Book of ASTM Standards, section 3, vol. 03.01, p.309-319, 1990.
- 5 VISWANATHAN, R. Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components, ASM International, Palo Alto, CA, USA, 1993.
- 6 EVANS, R.W.; WILSHIRE, B. Creep of Metals and Alloys. The Institute of Metals, London, 1985.
- 7 BUENO, L.O. and REIS SOBRINHO, J.F., Correlation Between Creep and Hot Tensile Behavior for 2.25Cr-1Mo Steel from 500°C to 700°C. Part 1: An Assessment According to usual Relations Involving Stress, Temperature, Strain Rate and Rupture Time, Revista Materia, v. 10, n. 3, pp. 463 – 471, 2012.