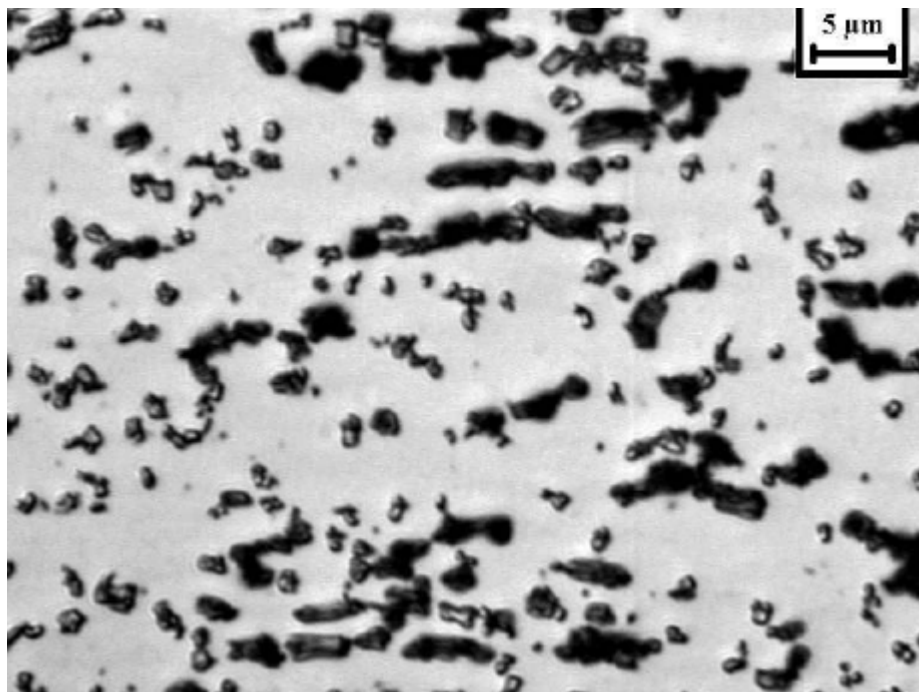
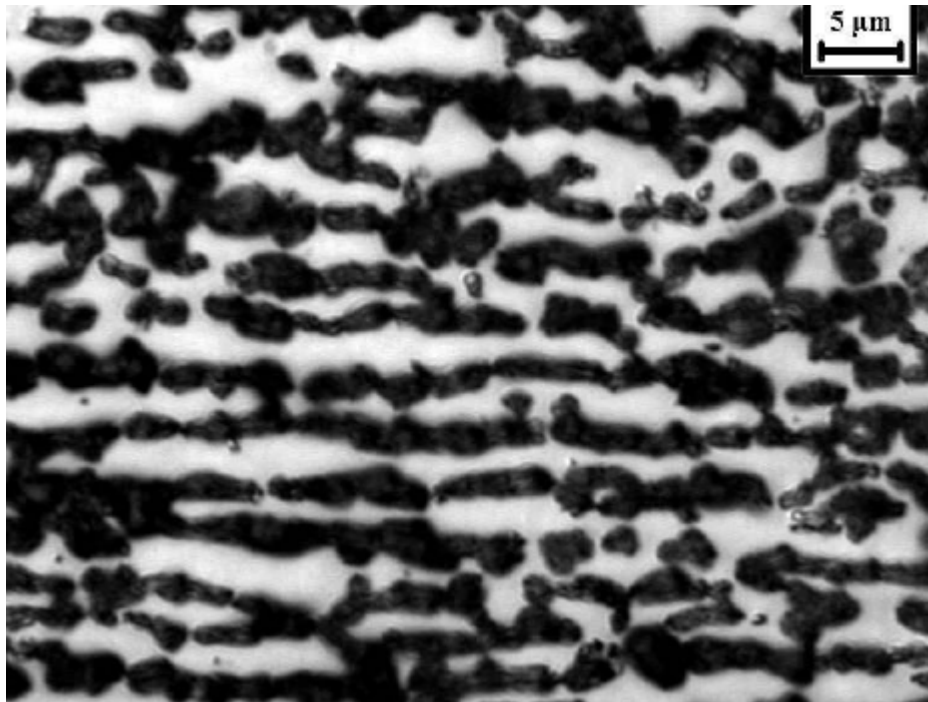


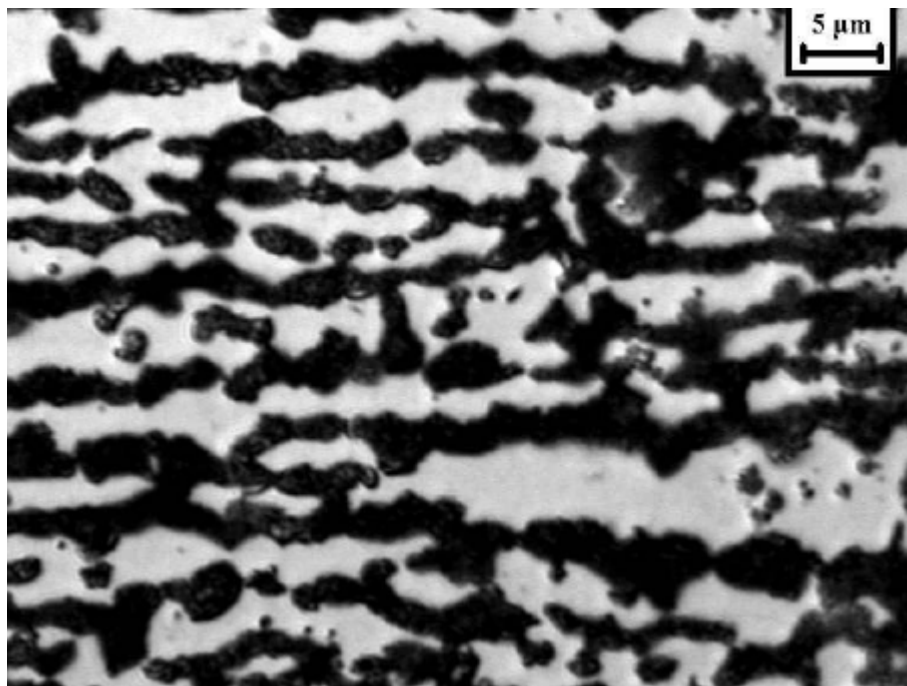
Micrografia 4.20- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 768 horas a 750°C. Sigma (escura). Ataque: KOH.



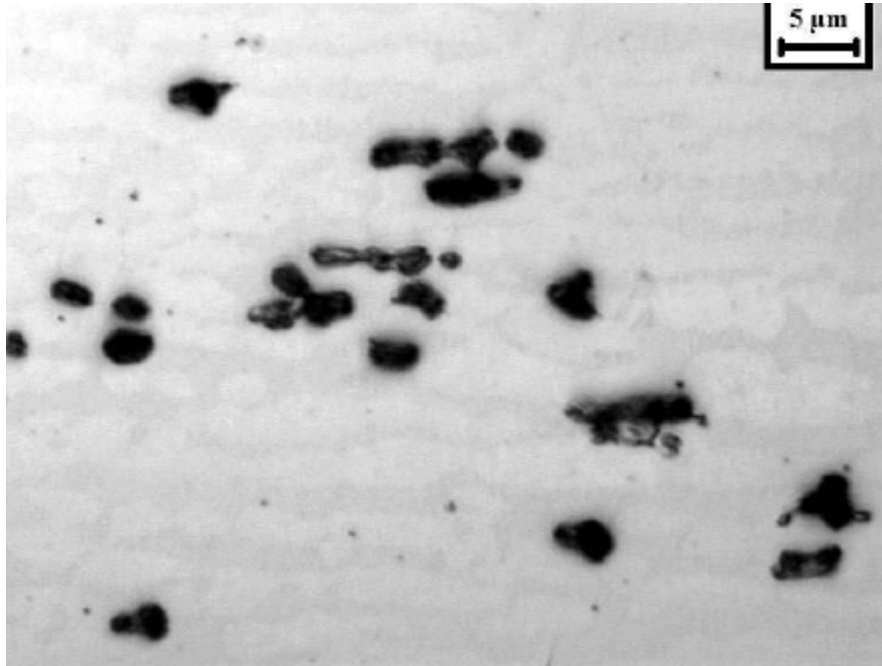
Micrografia 4.21- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 20 minutos a 800°C. Sigma (escura). Ataque:KOH.



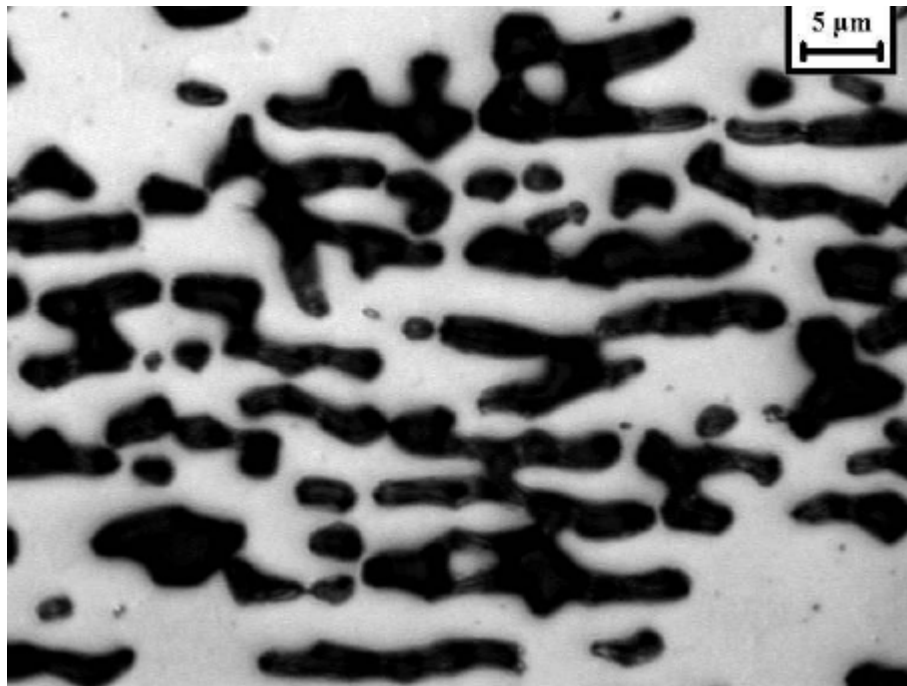
Micrografia 4.22- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 24 horas a 800°C.
Sigma (escura). Ataque:KOH.



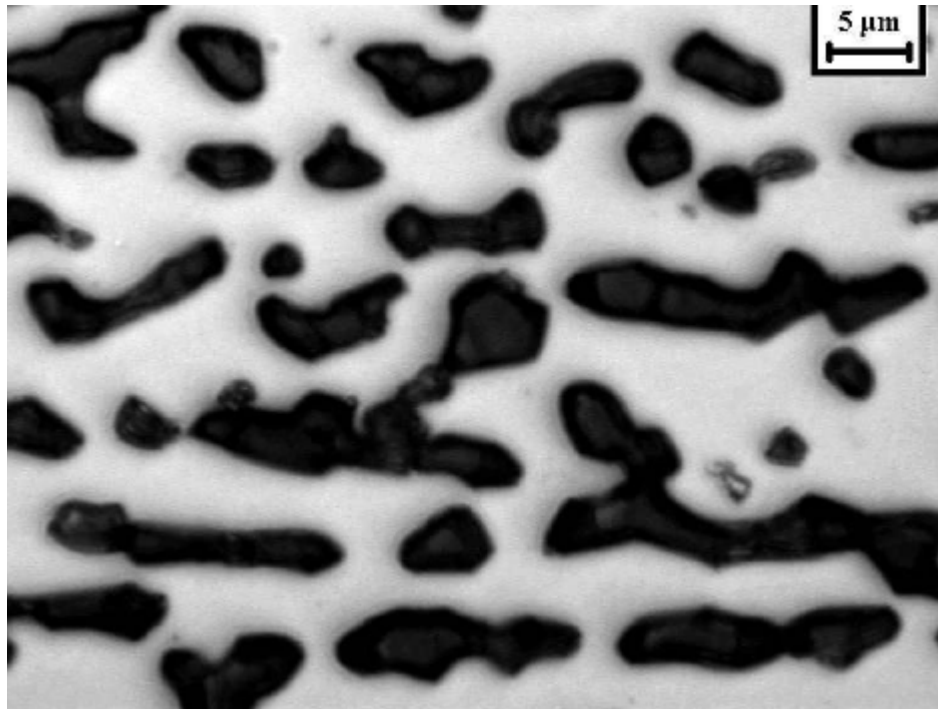
Micrografia 4.23- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 768 horas a 800°C.
Sigma (escura). Ataque:KOH.



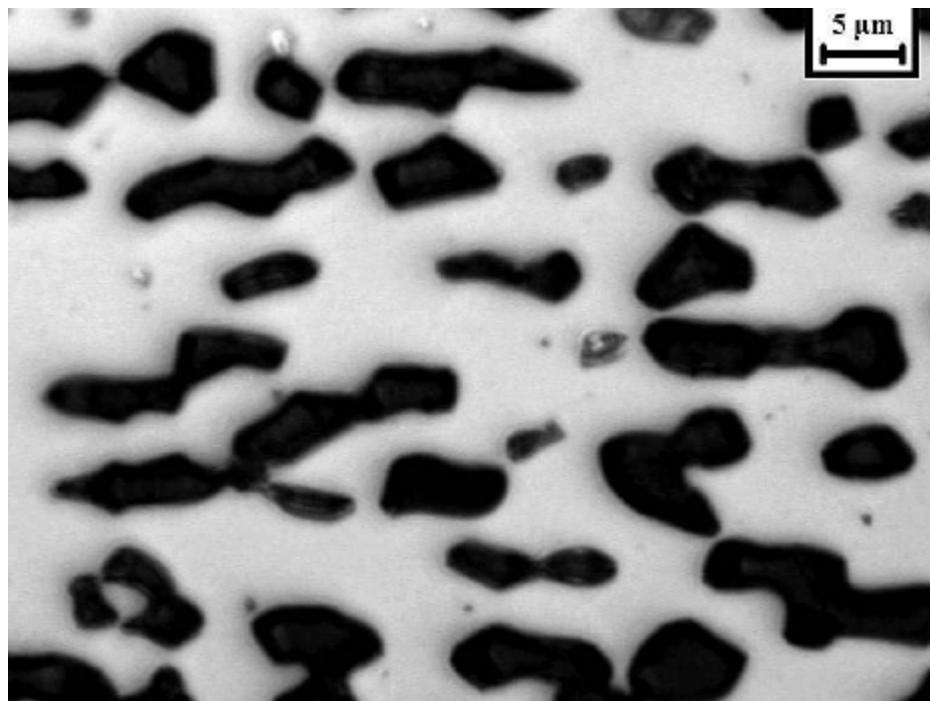
Micrografia 4.24- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 20 minutos a 900°C.
Sigma (escura). Ataque:KOH.



Micrografia 4.25- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 24 horas a 900°C.
Sigma (escura). Ataque:KOH.



Micrografia 4.26- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 768 horas a 900°C. Sigma (escura). Ataque:KOH.



Micrografia 4.27- Amostra do aço SAF 2205 envelhecida por 1032 horas a 900°C. Sigma (escura). Ataque:KOH.



4.1.2. Caracterização quantitativa da microestrutura

Para a obtenção dos valores de fração volumétrica de fase sigma nas amostras já atacadas foi utilizado o processo automático de análise por estereologia quantitativa, em um microscópio LEICA DMLM ligado a um analisador de imagens. Os resultados para cada uma das séries de tratamento encontram-se nos gráficos 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 que seguem.

Nota-se no gráfico 4.1 que a fração volumétrica de sigma aumenta no decorrer do tempo e a fração volumétrica máxima desta fase se dá a 96 horas de envelhecimento, com um valor aproximado de 46%, porém vale notar que ocorre uma queda na fração volumétrica de fase sigma a partir deste ponto de máximo, atingindo 36% para um envelhecimento de 1032 horas. Por esse motivo vale aqui o estudo da formação de diferentes fases para a caracterização deste tipo de comportamento, considerando uma possível formação de nitretos ou outras fases, responsáveis pelo consumo de parte da fase sigma precipitada no material.

Já a 800°C (gráfico 4.2), a máxima fração volumétrica de sigma é de aproximadamente 54%, alcançada a partir de 24 horas de envelhecimento, mantendo-se praticamente inalterada em superiores tempos de envelhecimento.

Nos gráficos 4.3 e 4.4, respectivamente das temperaturas de 750°C e 700°C, nota-se que com a diminuição da temperatura de envelhecimento das amostras, a taxa de precipitação se torna cada vez menor, embora em ambas as

temperaturas ocorra crescimento da fração volumétrica e estabilização em valores consideráveis, variando entre 50 e 60% nos dois casos.

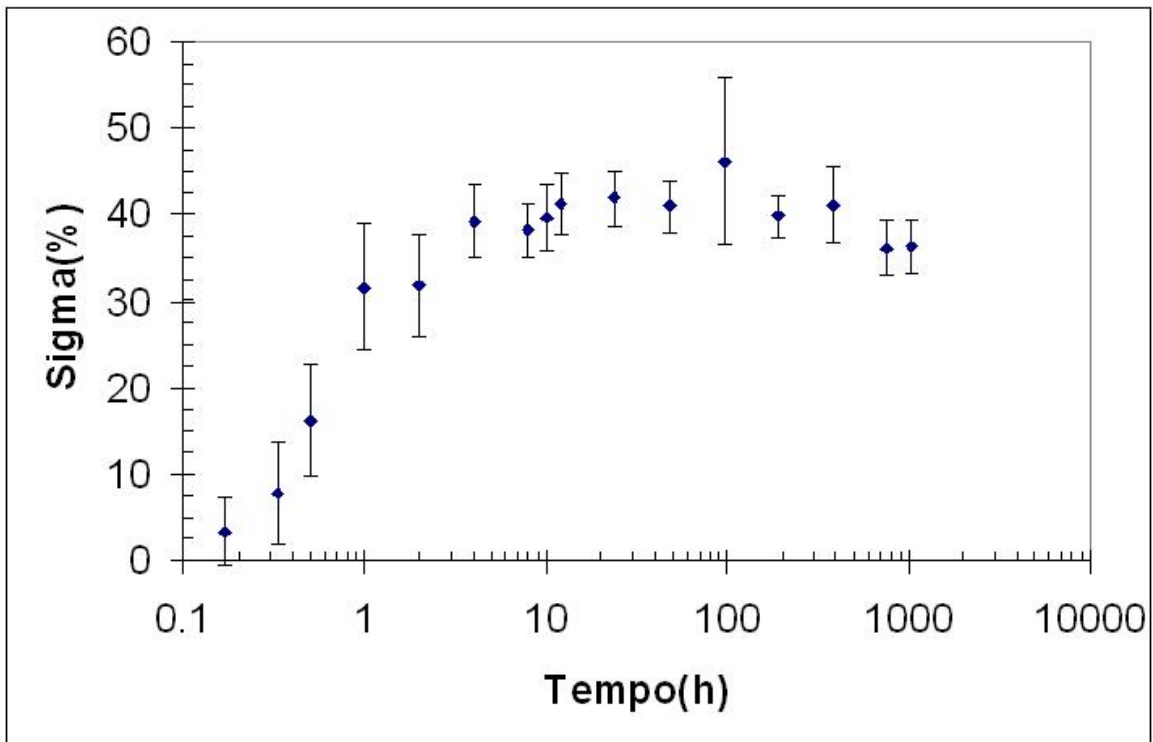


Gráfico 4.1-Fração volumétrica de fase sigma para amostras envelhecidas a 900°C.

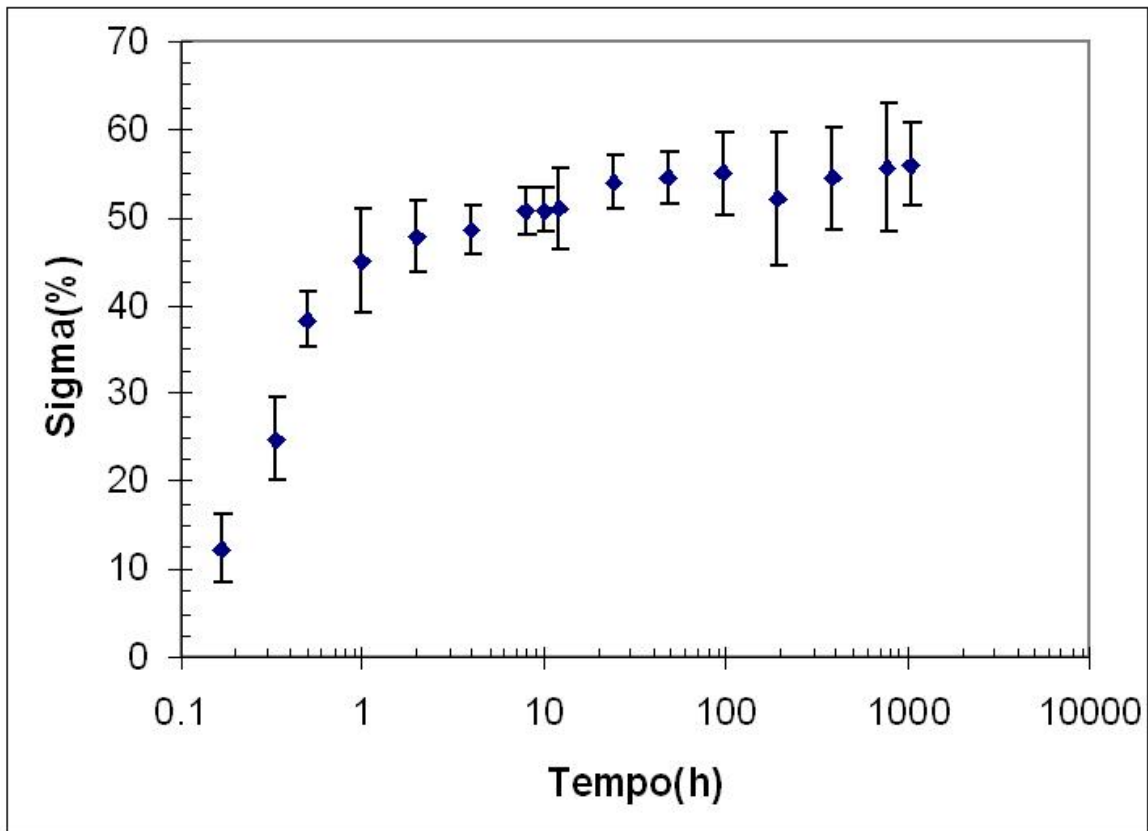


Gráfico 4.2-Fração volumétrica de fase sigma para amostras envelhecidas a 800°C.

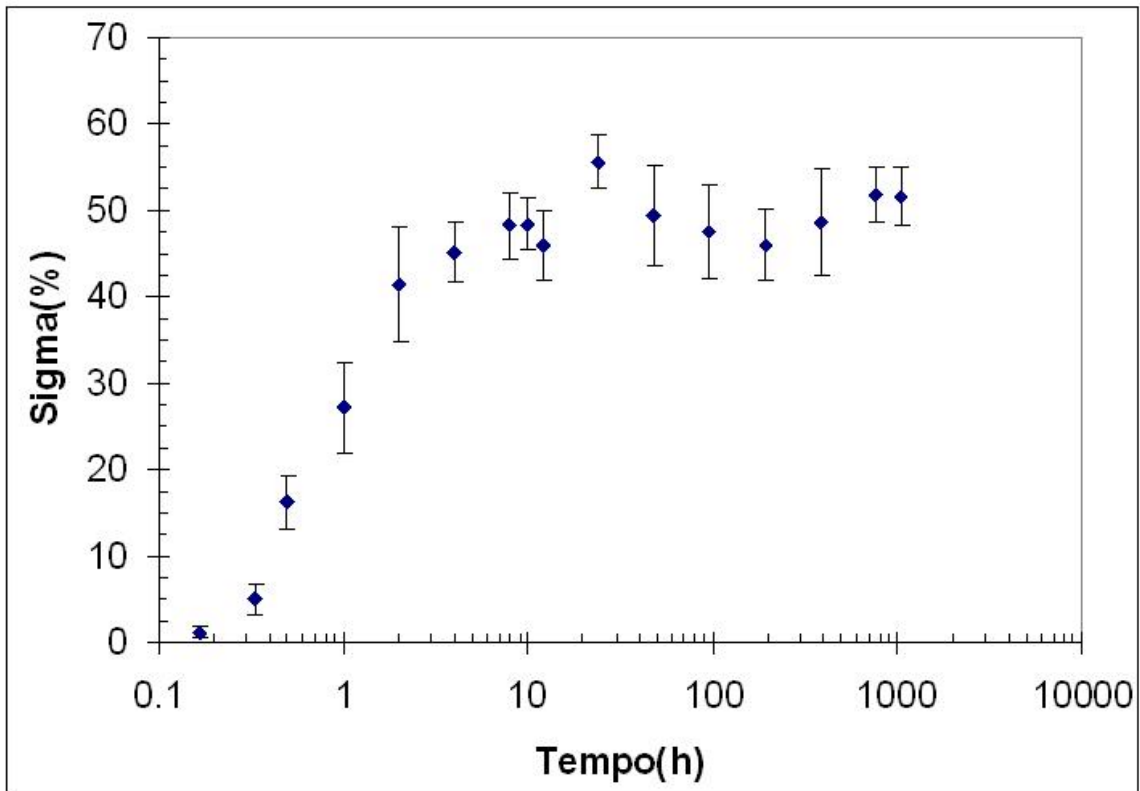


Gráfico 4.3-Fração volumétrica de fase sigma para amostras envelhecidas a 750°C.

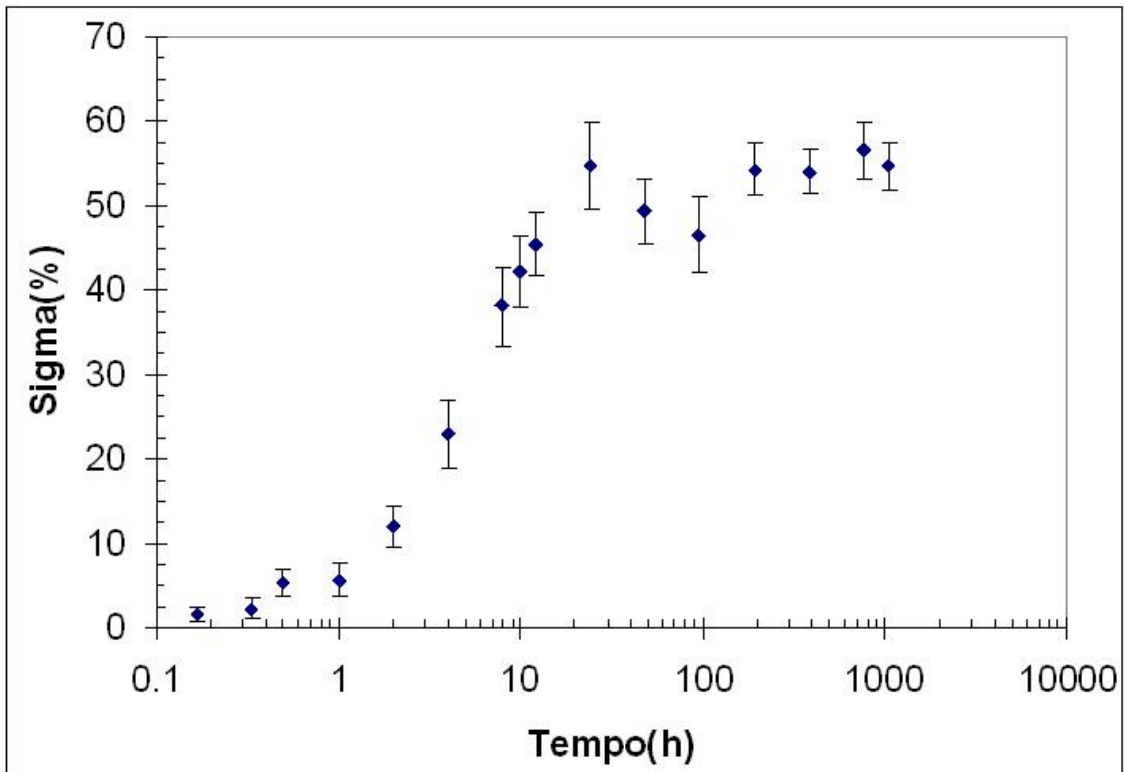


Gráfico 4.4-Fração volumétrica de fase sigma para amostras envelhecidas a 700°C.



5-Discussão dos resultados:

No geral, os resultados obtidos para todas as quatro séries de amostras estudadas se encaixam dentro do perfil pretendido e esperado com relação à fração volumétrica da fase sigma.

Realmente foi constatado que com o aumento do tempo de exposição do material à uma dada temperatura, ocorre o aumento da fração volumétrica da fase, tendendo à praticamente estabilização quando do consumo completo da ferrita presente, já que a partir daí a precipitação de fase sigma passa a ocorrer proveniente da austenita, fenômeno muito mais lento, como já visto anteriormente (vide figura 14 pg.26).

Para a temperatura de 700°C, nota-se o crescimento da fração volumétrica de fase sigma até estabilização em aproximadamente 55%. Nota-se aí a pequena precipitação para tempos de envelhecimento reduzidos.

Já para a temperatura de 750°C, a precipitação de fase mesmo em baixos tempos de exposição mostra-se mais elevada, ficando este fenômeno claramente evidenciado pela mudança no perfil inicial dos gráficos 4.3 e 4.4. Para esta temperatura também ocorreu o crescimento da fração volumétrica até estabilização em aproximadamente 50%.

Para a temperatura de 800°C, nota-se precipitação ainda mais intensa desde os menores tempos de exposição à temperatura, como pode ser observado



no gráfico 4.2. A precipitação de fase sigma mostra-se intensa e a estabilização ocorre logo nas 24 horas de envelhecimento, em valores em torno de 54%.

Porém na série de amostras envelhecidas isotermicamente a 900°C nota-se uma tendência de queda na fração volumétrica de fase sigma a partir de 96 horas de envelhecimento. Neste momento a fração volumétrica de fase sigma atinge um valor máximo de 46%, sofrendo posterior queda, atingindo um valor de 36% para o envelhecimento realizado por 1032 horas. Este tipo de comportamento não era esperado e não há evidências na literatura de tal tipo de ocorrência. Por este motivo, se faz necessário o estudo da possível precipitação de diferentes fases, como nitretos por exemplo, nas temperaturas próximas de 900°C e que possam estar consumindo a fase sigma presente, caracterizando este fenômeno. No gráfico 5.1 estão sobrepostas todas as curvas obtidas experimentalmente e ficam evidentes os comportamentos evidenciados.

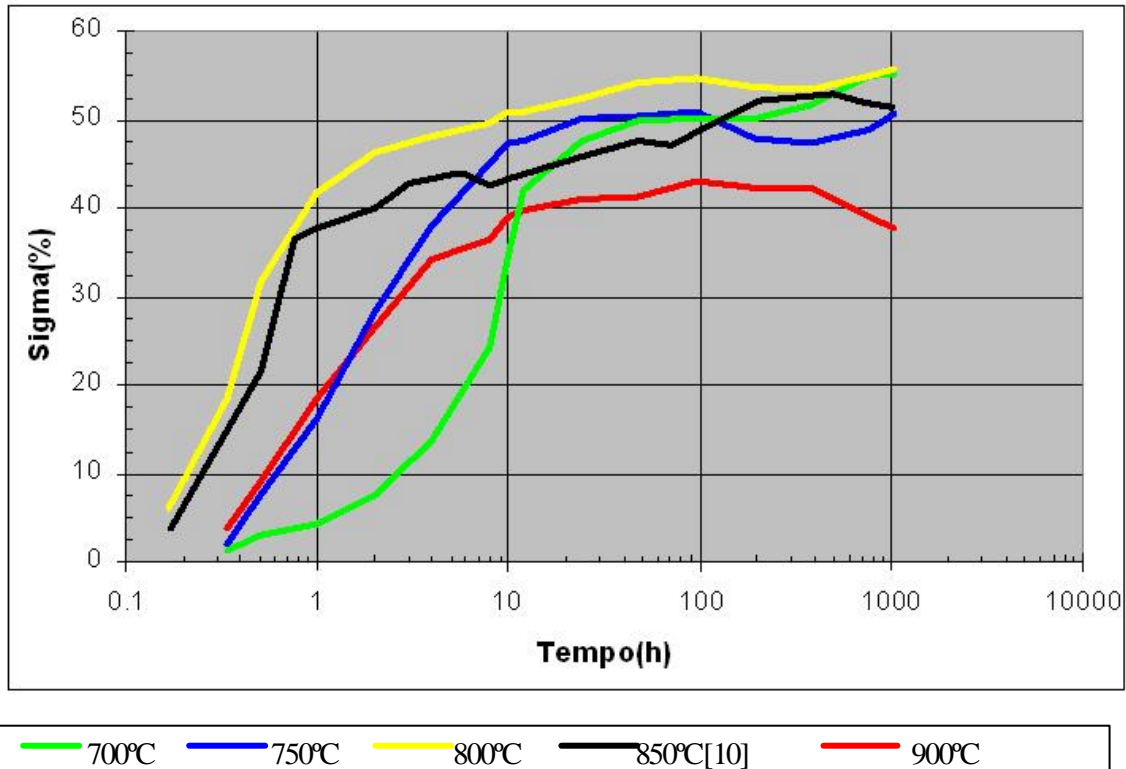


Gráfico 5.1: Resultados de fração volumétrica de fase sigma ao longo do tempo para todas as séries de amostras.

Realizando a análise geral de todos os resultados para todas as séries de amostras, nota-se claramente uma mais rápida e mais intensa precipitação de fase sigma em temperaturas próximas de 800°C, caracterizando aproximadamente a faixa de temperaturas onde espera-se encontrar o vértice da curva de precipitação desta fase. O gráfico 5.2 ilustra estas conclusões e relaciona as temperaturas de envelhecimento com os respectivos tempos e frações



Laboratório de Materiais do Centro Universitário da FEI
<http://www.fei.edu.br/mecanica/me541/LabMat.htm>

volumétricas. Fica claro por este diagrama a mais intensa precipitação de fase sigma nas temperaturas próximas de 800°C.

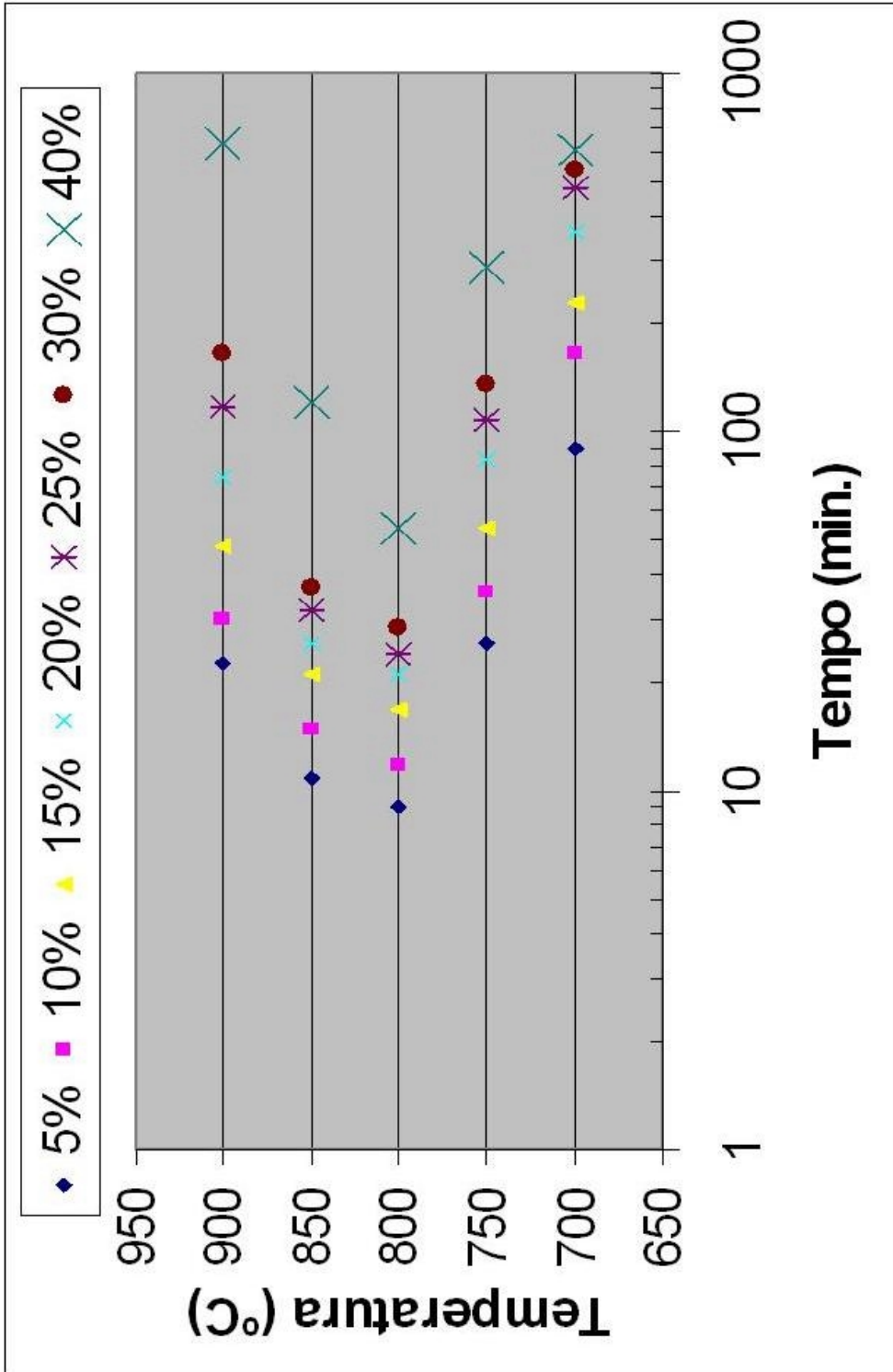


Gráfico 5.2: Diagrama de Temperatura - Tempo - Precipitação (TTP) da fase sigma em aço inoxidável duplex SAF 2205 (dados de 850°C extraídos do trabalho de MAGNABOSCO [10]).



6-Conclusões:

Do presente trabalho pode-se concluir que:

- Há aumento da fração volumétrica de fase sigma de acordo com o aumento no tempo de envelhecimento isotérmico.
- As séries de amostras de 700°C, 750°C e 800°C apresentam crescimento na fração volumétrica de fase sigma com posterior estabilização nos valores máximos.
- A série de amostras de 900°C apresenta pico de 46% em 96 horas, seguido de queda na fração volumétrica da fase sigma. Cabe aí estudos de possíveis novas transformações de fase.
- A máxima cinética de formação de fase sigma para o aço inoxidável SAF 2205 se dá nas temperaturas próximas a 800°C, com queda na precipitação tanto para maiores quanto para menores temperaturas.



Laboratório de Materiais do Centro Universitário da FEI
<http://www.fei.edu.br/mecanica/me541/LabMat.htm>

- A máxima fração volumétrica de fase sigma foi obtida no envelhecimento de 24 horas a 800°C e foi de 54%.



7-Sugestões para novos trabalhos:

- estudo específico para a precipitação de fase sigma no aço em estudo para tempos inferiores a 10 minutos;
- estudo por microscopia eletrônica de varredura para identificação de possíveis outras fases também presentes nas amostras em estudo;
- estudo das novas transformações de fases que caracterizam o comportamento evidenciado nas amostras de 900°C, com o consumo da fase sigma formada.



Referências Bibliográficas:

- [1]- SEDRIKS, A. J. *Corrosion of stainless steels*. John Wiley : NY 1996 2. Ed. Cap. 1 e 2;
- [2]-Página da internet- <http://www.nucleinox.org.br> - consultada em 23/04/02;
- [3]-“ASM HANDBOOK” - volume 9- “Metallography and Microstructures” p. 288-293.
- [4]- ECKENROD e PINNOW, “ Effects of chemical composition and thermal history on the properties of alloy 2205 duplex stainless steel” , 1984 p. 77-87;
- [5]-POTGIETER, J. H. CORTIE, M. B. *Determination of the microstructure and alloy element distribution in experimental duplex stainless steels*. Materials characterization v. 26 1991 p. 155-65;
- [6]- Página da internet- http://www.pipesystem.com.br/Artigos-Tecnicos/Aco-Inox/body-aco_inox.html - consultada em 26/04/02;
- [7]-AGARWAL, D.C. Duplex stainless steels ”The cost effective answer to corrosion problems of major industries.” Key Eng. Mater n.2 v.20-28 1988 p.1677-92
- [8]- RAYNOR e RIVLIN, *Phase equilibria in iron ternary alloys* The Institute of Metals, London, 1988;
- [9]- LANGEORG, R. *The physical metalurgy of stainless steels*. Proceedings of international conference on stainless steels, 1991, Chiba, Japan jun. 1991. p. 11-24.
- [10]-MAGNABOSCO, R. *Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço SAF 2205*. Tese (Doutorado em engenharia) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, 2001 p. 98-111;
- [11]- SOLOMON, H. D. DEVINE Jr., T. M. *Duplex stainless steels – a tale of two phases*. In: Duplex stainless steels – conference proceedings. ASM Metals Park : Ohio 1982 p. 693-756.