8. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo estudar a resistência à corrosão sob tensão e susceptibilidade a fragilização em presença de sulfetos em soldas circunferenciais de tubo API 5L X80. - Avaliar a influência do pH e do teor de H_2S na corrosividade dos meios aquosos utilizados nesta pesquisa. - Caracterizar metalográfica e fractograficamente as superfícies da fratura resultantes dos ensaios mecânicos e determinar o mecanismo de fratura das diferentes juntas ensaiadas e - Caracterizar as camadas de produtos de corrosão formadas. As principais conclusões são listadas a seguir:

1. A susceptibilidade à corrosão sob tensão e fragilização pelo hidrogênio foi evidenciada pela redução da ductilidade, nos ensaios de tração BTB para quase todas as juntas soldadas. Este fato foi observado com maior intensidade para os ensaios em soluções 1 e 3 ($pH = 3.4$), e foi atribuído a ação conjunta de dissolução do material e fragilização pelo hidrogênio, dado que estas duas soluções favorecem a produção de H_2S a partir de $Na_2S_2O_3$. Para as soluções 2 e 4 ($pH = 4,4$), se observa pouca perda de ductilidade. Estes resultados foram conferidos com os ensaios de permeação, onde se apresentou susceptibilidade à permeação do metal de base e as juntas na solução 1, enquanto que para a solução 4 não se apresentou.
2. Os metais base API X80 e API X56 foram considerados aprovados segundo os requisitos dos testes NACE TM0177/96 solução B, nas condições de ensaio aqui adotadas. As juntas soldadas apresentaram susceptibilidade à corrosão sob tensão em presença de sulfeto segundo o mesmo critério, fraturando em um período inferior a 720h ou apresentando trincas secundárias longitudinais e trincas internas transversais.

3. Um total de 33 ensaios BTB e 49 ensaios NACE foram feitos nas diferentes soluções, 15% dos ensaios BTB e 90% dos ensaios NACE falharam no metal de solda. A maior parte das fraturas ocorridas no metal de solda foi atribuída à presença de defeitos de tamanhos menores, os quais ainda foram aprovados nos ensaios de Dobramento lateral e Nick Break, segundo a norma API 1104, na avaliação de resistência à CST, exercem um papel importante, devido ao fato de poderem atuar como concentradores de tensão ou armadilhas para o acúmulo de hidrogênio, promovendo a fratura antecipada do corpo de prova.
4. A susceptibilidade da ZTA se inicia quando esta possui dureza superior a 250 Hv (22 Rc) segundo a norma NACE MR0175. Todas as regiões da junta soldada (metal base, ZTA e metal da solda), obtidas pelos diferentes processos possuíam dureza inferior a 250 Hv. Assim sendo, segundo esta norma, tanto metal base como as juntas soldadas, se encontram abaixo do valor especificado considerando o parâmetro de dureza e poderiam ser considerados como materiais aptos para serem utilizados em ambientes ácidos. Deste modo os resultados obtidos neste estudo, para os metais base indicam que estes seriam considerados aptos, porém o mesmo não ocorre para as juntas soldadas, pois embora todas apresentassem valores de dureza inferiores a 250 Hv₁₀, quando testadas pela Norma NACE TM0 177-96 e pela norma ASTM G129, apresentaram susceptibilidade à CST e fragilização pelo hidrogênio, contradizendo o especificado pela norma NACE MR0175.
5. A junta que teve melhor comportamento em todos os ensaios realizados nos diferentes meios foi a X80-2, indicando ser a menos susceptível à CST e fragilização pelo hidrogênio. As juntas X80-3 e X80-4 estão num grau intermédio e a junta X80-1 é a mais susceptível.
6. Comparando os valores de concentração de H₂S obtidos a partir das soluções de tiosulfato com pH diferente nos sistemas avaliados, constatou-se que a variação do pH parece não influenciar a produção de H₂S no sistema. Embora os resultados obtidos nos ensaios BTB

indicassem que o pH tem uma influência marcante, uma vez que foram obtidos valores de relação de redução de área, mais próximos a zero para os pH mais baixos (pH = 3,4), indicando maior susceptibilidade à CST e fragilização pelo hidrogênio. Os resultados obtidos nos ensaios NACE não foram conclusivos referentes à influência do pH, posto que não houve uma tendência de fratura ou não fratura ao se avaliar este parâmetro. Nos ensaios de permeação de hidrogênio, foi constatada a dependência da permeação com o pH e da quantidade de tiosulfato adicionada ao sistema, pois para pH=3,4 e 10^{-3} mol de tiosulfato, se obteve permeação, em quanto que para o sistema com pH=4, 4 e 10^{-4} não se apresentou permeação. A influência da concentração de H₂S na corrosividade dos diferentes meios mostrou-se significativa para os ensaios de determinação de H₂S, para as curvas de polarização e os ensaios de permeação de hidrogênio.

7. A avaliação da superfície de fratura por microscopia ótica e eletrônica de varredura tanto para os ensaios NACE como para os BTB, em solução, evidenciou a presença de trincas secundárias longitudinais e trincas internas transversais, evidenciando a ação do hidrogênio como elemento fragilizante dos materiais, e morfologia de fratura mista apresentando tanto fratura por quase-clivagem como fratura dúctil por “dimples”.
8. Nos ensaios NACE, a maior incidência de fratura ocorreu no metal de solda, para os ensaios BTB esta tendência não ocorreu, havendo uma maior incidência de fratura no metal de base. Este fato foi relacionado a diferença de mecanismos que apresentam os ensaios, onde no caso dos ensaios NACE o fator determinante é o acúmulo de H no aço, enquanto no ensaio BTB o efeito predominante é a redução de tenacidade do material pelo efeito do hidrogênio, associada à deformação plástica imposta .
9. O mecanismo de fratura predominante tanto nos ensaios BTB quanto nos ensaios NACE foi fratura transgranular, iniciando-se a trinca em algum defeito na superfície de material ocasionado pela ação dissolutiva do

meio ou em defeitos intrínsecos da solda, e se propagando no interior do corpo de prova através dos grãos.

10. Nos ensaios de determinação de H_2S nos diferentes meios, assim como nos ensaios de polarização, BTD, NACE e permeação de hidrogênio, se observou a formação de camadas de produtos de corrosão de cor preta, indicando que em todos os ensaios houve formação de sulfetos e óxidos, provenientes das reações da superfície metálica em contacto com o ambiente agressivo, e que dependendo das condições ambientais estas camadas terão um comportamento protetor ou pelo contrário contribuirão com o processo de corrosão do sistema.

11. As análises DRX das camadas, mostraram a formação de Magnetita (Fe_2O_4), Makinawita (FeS) e Halite ($NaCl$), as morfologias e espessuras não mostraram uma tendência com o tempo de ensaio, pH da solução o quantidade de H_2S no sistema. Foi adotado o modelo de corrosão em meios aquosos saturados com H_2S sugerido por Ramanarayanan para explicar a formação das camadas de sulfeto.

8.1.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As conclusões aqui apresentadas tornam interessante a continuidade do estudo, com a inclusão de novos parâmetros e variáveis a serem considerados como, por exemplo:

- Avaliação percentual dos defeitos de solda e tensões residuais.
- Avaliação de pH neutros e concentrações de H_2S menores, simulando condições mais similares com as condições de produção.
- Avaliação da imposição de potenciais catódicos nas juntas soldadas para simular processos de proteção catódica e avaliar sua influência na resistência à CST.
- Avaliação da velocidade do fluido e sua interação com outras variáveis, por médio de realização de ensaios dinâmicos.