

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE A RESISTÊNCIA AO MEIO MARINHO DE UM AÇO ESTRUTURAL *

Hariston Rubens Pita dos Santos Silva¹
Maurício dos Santos Vasconcelos²
Francielly Moura de Souza³
Gisel Chenard Diaz⁴
Mônica Costa Rezende⁵
Neyda de la Caridad Om Tapanes⁶
Wilma Clemente de Lima Pinto⁷
Ana Isabel de Carvalho Santana⁸

Resumo

Os aços estruturais são ligas ferrosas amplamente utilizadas em virtude de sua boa soldabilidade, resistência mecânica e baixo custo. Condições de operação ou de aplicação que envolvam aporte de calor podem promover alterações na microestrutura desses materiais. Este trabalho avaliou o efeito do tratamento térmico de tempera e revenido sobre a microestrutura e as propriedades de um aço estrutural do tipo A36. Foi observado que o tratamento térmico de tempera seguido de revenido promoveu a formação de microestrutura compatível com bainita e ferrita acicular. Amostras com esse perfil microestrutural apresentaram um deslocamento do potencial para valores mais nobres (mais anódicos) em comparação com a amostra como recebida. Esses resultados sugerem que o tratamento térmico possui influência tanto sobre as propriedades mecânicas quanto sobre a resistência química do aço.

Palavras-chave: Aço estrutural; tratamento térmico; microestrutura

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE RESISTANCE TO THE MARINE MEDIUM OF A STRUCTURAL STEEL

Abstract

Structural steels are ferrous alloys widely used because of their good weldability, mechanical strength and low cost. Operating or application conditions involving heat input may promote changes in the microstructure of these materials. This work evaluated the effect of tempering and tempering on the microstructure and properties of A36 structural steel. It was observed that the heat treatment of tempera followed by tempering promoted the formation of microstructure compatible with bainite and acicular ferrite. Samples with this microstructural profile showed a shift of the potential to nobler values (more anodic) compared to the sample as received. These results suggest that the heat treatment influences both the mechanical properties and the chemical resistance of the steel.

Keywords: Structural steels; heat treatment; microstructure.

¹ (Graduando em Tecnologia em Processos Metalúrgicos - Aluno de iniciação), Laboratório de Eletroquímica e Microscopia de Materiais (LABEMM), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

² (Graduando em Engenharia Metalúrgica - Aluno de iniciação), Laboratório de Eletroquímica e Microscopia de Materiais (LABEMM), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

³ Doutoranda em Ciência dos Materiais, Laboratório de Biomateriais, Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

⁴ Engenheira Química, Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Laboratório GreenTec, Universidade Federal do Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

- ⁵ *Engenheira Metalúrgica, Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, professora Adjunto, Laboratório de Tratamentos Térmico (LTT), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.*
- ⁶ *Engenheira Química, Doutora em Engenharia Química, professora Adjunto, Laboratório de Nanotecnologia e Processos Industriais (LPIN), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.*
- ⁷ *Engenheira Química, Doutora em Química Inorgânica, professora Adjunto, Laboratório de Eletroquímica e Microscopia de Materiais (LABEMM), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.*
- ⁸ *Química, Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, professora Adjunto, Laboratório de Eletroquímica e Microscopia de Materiais (LABEMM), CSPI, Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

As ligas metálicas são amplamente empregadas no meio industrial, sobretudo em virtude de suas propriedades mecânicas e da resistência química. Dentre os diferentes tipos de ligas metálicas, as ligas a base de ferro (ligas ferrosas) estão entre as mais utilizadas sobretudo devido à abundância do minério de ferro, à facilidade no processamento e aos diferentes tipos de propriedades possíveis de serem alcançadas através da combinação do ferro com outros elementos, metálicos e não metálicos. Os aços estruturais são ligas ferrosas em geral com baixo ou médio teor de carbono, que possuem comumente elementos como manganês, silício, enxofre e fósforo. Esses aços são aplicados na construção civil, em equipamentos de usinas sucroalcooleiras, em máquinas de implementos agrícolas, rodoviários e ferroviários, também são empregados na construção de torres de transmissão de energia elétrica e de telecomunicações e na indústria mecânica em geral. O aço estrutural do tipo ASTM A36 é um aço com baixo teor de carbono, cujo principal componente de liga é o manganês. Essa liga é principalmente utilizada por sua boa soldabilidade, elevada tenacidade, resistência mecânica intermediária e baixo custo [1-4].

A aplicação dos aços com características estruturais é realizada na maior parte das vezes por processos que envolvem um considerável aporte de calor, tais como os diferentes tipos de processos de soldagem. Estes processos podem provocar alterações nas características e nas propriedades dos aços. Além da soldagem, os tratamentos térmicos, termo-mecânicos e algumas condições de aplicação (vasos de pressão, caldeiras etc.), também podem promover mudança na microestrutura e nas propriedades desses materiais. Alguns trabalhos encontrados na literatura mostram o efeito provocados por tratamentos térmicos que simulam condições de operação sobre a microestrutura, as propriedades mecânicas e a resistência química de aços estruturais [5-7].

Considerando a ampla gama de aplicações do aço estrutural tipo ASTM A36, e as modificações de suas propriedades em consequência de processos que envolvam aporte de calor, este trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre o tratamento térmico, a microestrutura e a resistência do material em ambientes que apresentem atmosfera marinha.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

O material utilizado neste trabalho foi o aço ASTM A36. A composição química deste metal está especificada na tabela 1, denominado Como Recebido (CR).

Tabela 1. Composição química do aço ASTM A36 (como recebido).

Composição química			
C, max, %	P, max, %	S, max, %	Si, max, %
0,26	0,04	0,05	0,40

O material como recebido na forma de uma chapa metálica foi cortado inicialmente com auxílio de uma serra fita (modelo xxxx). Após corte inicial, as amostras foram usinadas em pedaços menores para a realização de tratamento térmico, com o auxílio de uma cortadora metalográfica de bancada (TECLAGO

M60). Após corte, foi realizado o tratamento térmico das amostras em forno tipo mufla. O aço foi submetido à austenitização em temperatura de 870 °C durante 25 minutos, seguido de têmpera em dois meios diferentes (água e ar). Parte das amostras temperadas foi submetida a revenimento a 250°C, durante 25 minutos seguido de resfriamento lento (forno). Para facilitar a identificação das amostras e a discussão dos resultados, cada condição de tratamento térmico foi identificada, o resumo das condições pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 2. Identificação das amostras analisadas com e sem tratamento térmico

Amostra	Tratamento térmico
CR	Amostra como recebida
TT 1	Têmpera em água e revenida
TT 2	Têmpera ao ar e revenida
TT 3	Têmpera em água
TT 4	Têmpera ao ar

Tabela 3. Identificação das amostras e resultado obtido da medição de dureza

Amostra	Dureza (HRB)
Amostra como recebida (CR)	77
Têmpera em água e revenida (TT 1)	74
Têmpera ao ar e revenida (TT 2)	75
Têmpera em água (TT 3)	93
Têmpera ao ar (TT 4)	87

Parte das amostras termicamente tratadas foi reservada para a realização de microscopia ótica e ensaios de dureza. O restante do material foi preparado para a realização de ensaios eletroquímicos (medida de potencial de circuito aberto e curvas de polarização anódica). A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume os procedimentos experimentais realizados.

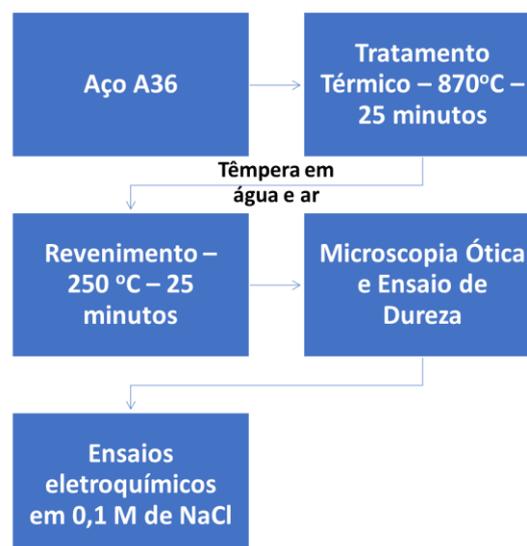


Figura 1. Fluxograma resumido do procedimento experimental

A análise micrográfica das amostras na forma como recebida e termicamente tratadas foi realizada através de microscopia ótica, utilizando um microscópio ótico (OLYMPUS, modelo BXM50). Para a obtenção das micrografias as amostras foram

lixadas com lixas na granulometria de 100, 200, 300, 400, 600 e 1200 *mesh*. O polimento foi realizado com pasta de diamante de 3 e 1 microns. Após polimento as amostras foram lavadas com água destilada, desengorduradas e secas com jato de ar frio. A microestrutura das amostras foi revelada através de ataque químico com solução Nital 3%. A dureza das amostras foi medida com o auxílio de um durômetro de bancada.

Para a realização dos ensaios eletroquímicos, as amostras foram embutidas em resina epóxi. Os ensaios foram obtidos através de um potenciostato (AUTOLAB modelo PGSTAT 302N). Foi utilizada uma célula de três eletrodos (aço – eletrodo de trabalho, referência – eletrodo de calomelano, platina – contra eletrodo). Os ensaios eletroquímicos foram conduzidos em uma solução aerada de cloreto de sódio 0,1 mol/L, em temperatura ambiente. As curvas de polarização foram obtidas após estabilização do potencial de circuito aberto (1800 s), numa velocidade de varredura de 1 mV/s.

2.2 Resultados e Discussão.

As Figuras de 2 a 6 apresentam as micrografias do aço estrutural na forma como recebido e termicamente tratado em diferentes aumentos.

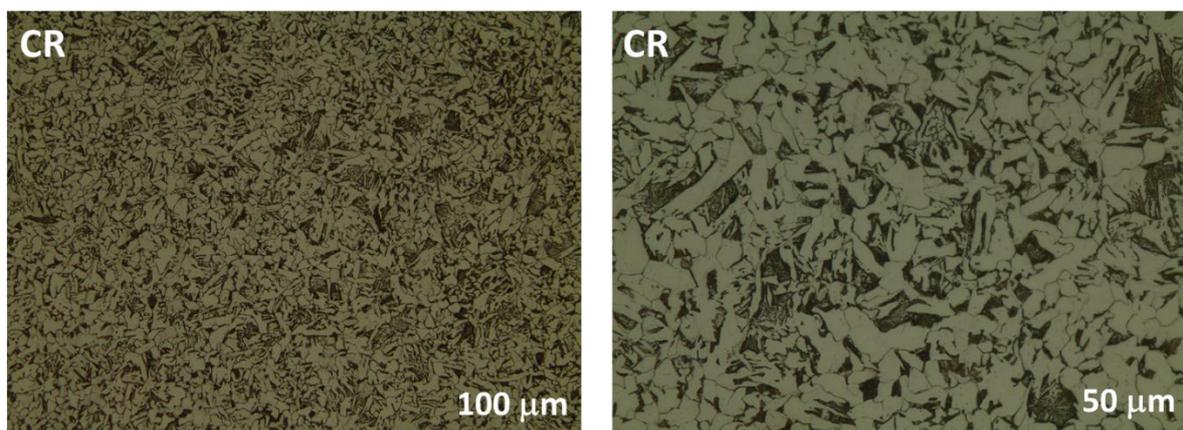


Figura 2. Micrografias obtidas por microscopia ótica do aço estrutural tipo A36 (como recebido).

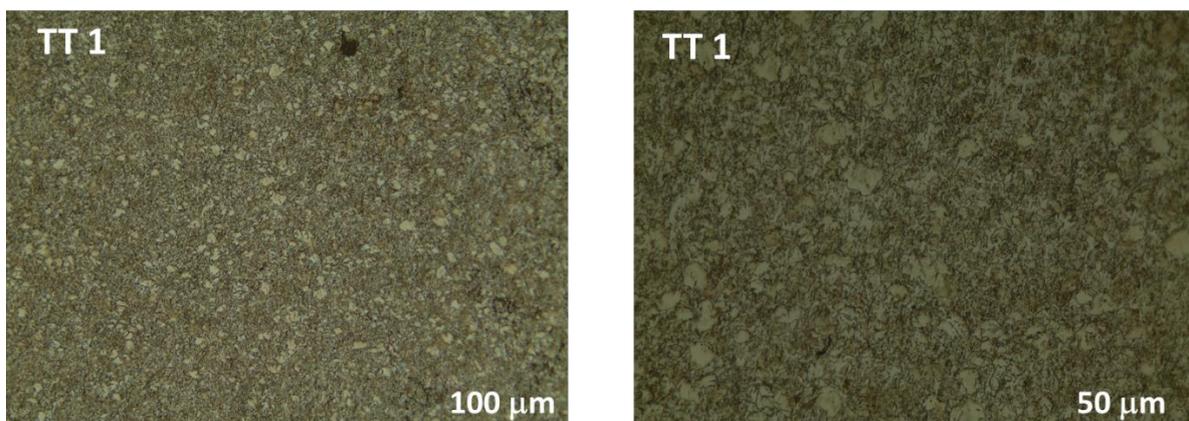


Figura 3. Micrografias obtidas por microscopia ótica do aço estrutural tipo A36, termicamente tratado (têmpera 870 °C, resfriado em água e revenido a 250° C).

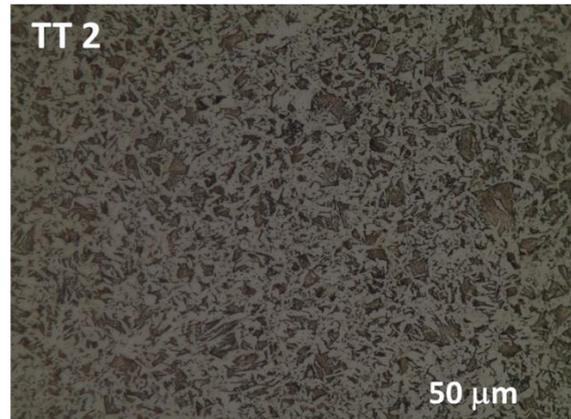
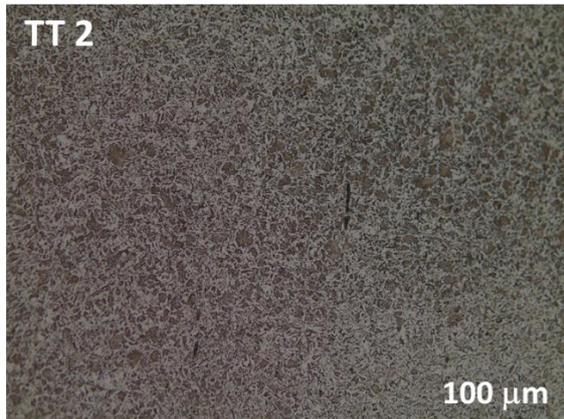


Figura 4. Micrografias obtidas por microscopia ótica do aço estrutural tipo A36, termicamente tratado (têmpera 870 °C, resfriado ao ar e revenido a 250° C).

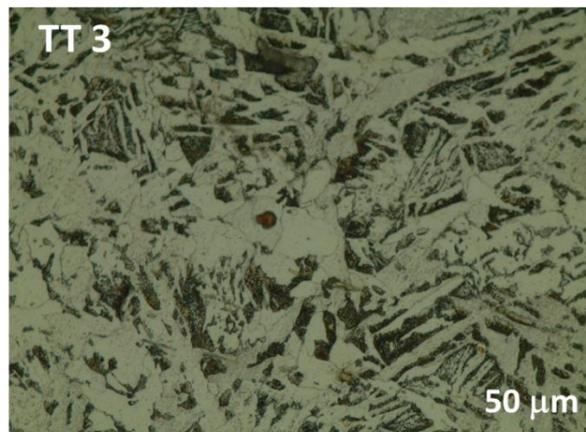
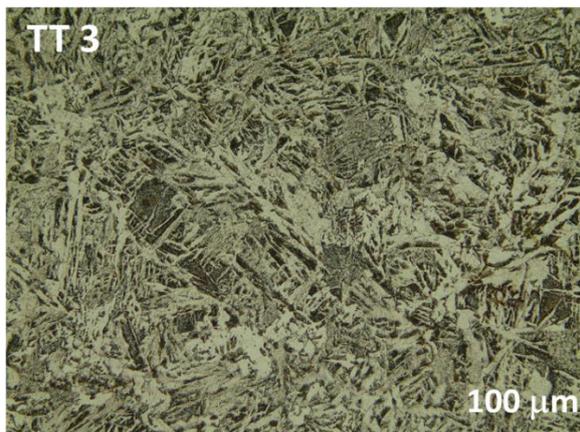


Figura 5. Micrografias obtidas por microscopia ótica do aço estrutural tipo A36, termicamente tratado (têmpera 870 °C, resfriado em água).

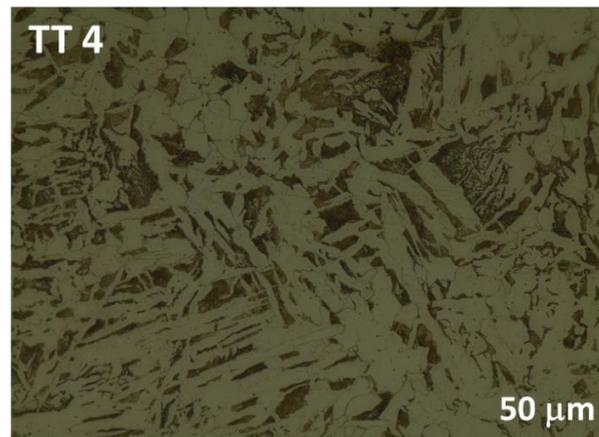
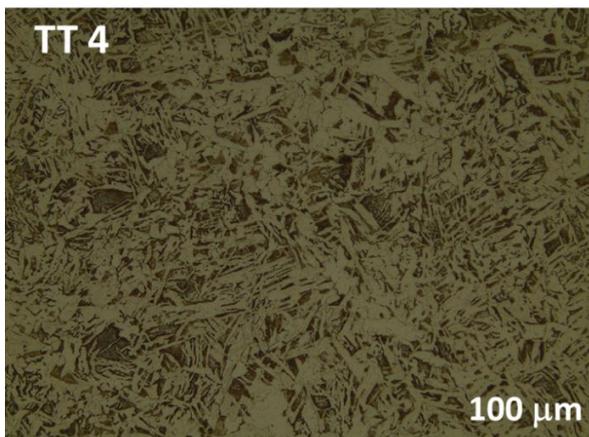


Figura 6. Micrografias obtidas por microscopia ótica do aço estrutural tipo A36, termicamente tratado (têmpera 870 °C, resfriado ao ar).

É possível verificar que o tratamento térmico realizado provocou mudança na microestrutura do aço. A amostra na forma como recebida (Figura 2) apresenta a microestrutura típica de um aço estrutural carbono-manganês com baixo teor de carbono, com matriz ferrítica e regiões de perlita e/ou bainita. As figuras 3 e 4 mostram

as amostras TT 1 e TT 2, na condição temperada e revenida. Observa-se a presença das fases ferrita, bainita e martensita. Na amostra revenida após têmpera em água, há uma formação mais expressiva de ferrita acicular. As amostras TT3 (Figura 5) e TT4 (Figura 6) foram submetidas à têmpera e resfriadas em diferentes meios, água e ar. Ambas as amostras apresentaram na microestrutura ferrita acicular, bainita e martensita. A amostra temperada em água apresentou maior quantidade de martensita. É esperado que o aumento da presença dessas fases, promova uma melhora na resistência mecânica do material. Isso é corroborado pelos resultados de dureza apresentados na Tabela 3. Observa-se que as amostras temperadas apresentam maiores valores de dureza, o revenimento realizado provoca uma diminuição desses valores. A amostra como recebida apresenta dureza semelhante com o verificado na condição revenida.

Os resultados dos ensaios eletroquímicos podem ser observados nas Figuras 7 e 8 que apresentam respectivamente a evolução do potencial de circuito aberto das amostras e as curvas de polarização anódicas obtidas em meio de cloreto.

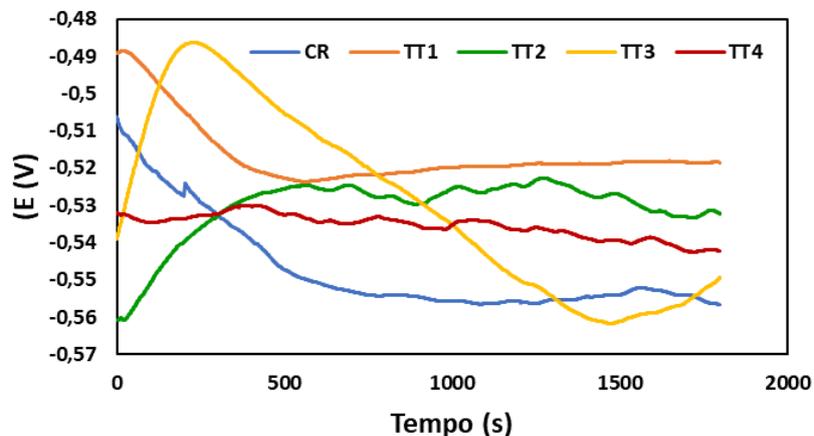


Figura 7. Medida do Potencial de circuito aberto das amostras com e sem tratamento térmico após imersão em solução aerada 0,1 mol/L de cloreto de sódio.

Verifica-se que as amostras submetidas a revenimento (TT1 e TT2), e a amostra temperada seguida de resfriamento ao ar (TT4) apresentam um deslocamento do potencial para valores mais nobres, em relação às amostras como recebida e temperada resfriada em água (TT3). A diferença de potencial é de aproximadamente 40 mV entre a amostra com potencial mais nobre (TT1) e a amostra com potencial menos nobre (CR). Esse comportamento é um indicativo de que o tratamento térmico exerce influência sobre a resistência química da amostra.

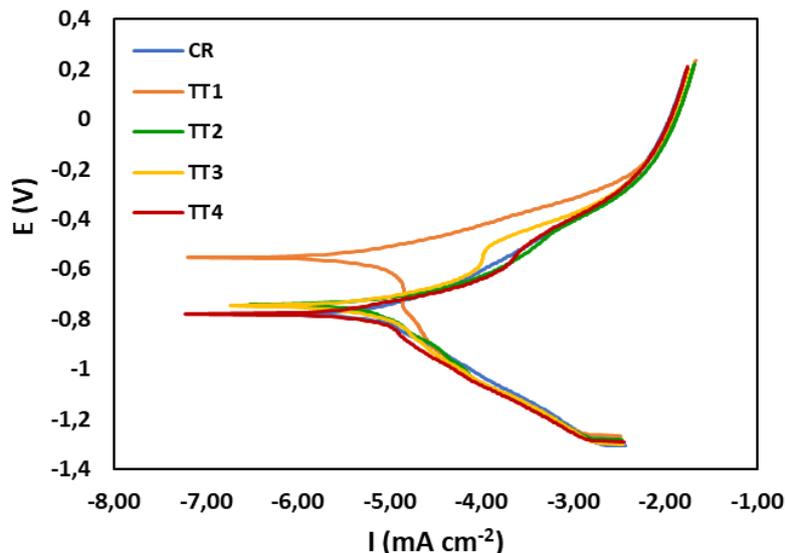


Figura 8. Curvas de polarização anódica das amostras com e sem tratamento térmico após imersão em solução aerada 0,1 mol/L de cloreto de sódio

Os resultados observados na Figura 8, corroboram com o verificado para o potencial de corrosão apresentado na Figura 7. Observa-se uma redução dos valores de corrente sobretudo na região anódica para a amostra TT1. Além disso também se observa um deslocamento considerável do potencial de corrosão da amostra. A amostra TT3, apresenta um leve deslocamento da corrente, na região anódica. No entanto, para as demais amostras não se verificou diferenças significativas nos valores de corrente e potencial. Os resultados eletroquímicos preliminares, sugerem que os tratamentos térmicos exercem influência sobre o comportamento eletroquímico da amostra nas condições experimentais analisadas.

3 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos é possível concluir que o tratamento térmico realizado promoveu alterações na microestrutura do aço estrutural avaliado. Foi observado a formação de microestrutura ferrita acicular, bainita e martensita. As amostras sem revenimento apresentam maiores valores de dureza. Após o revenido não se verificam diferença na dureza das amostras. Os resultados eletroquímicos apresentados mostraram que as modificações microestruturais promoveram diferenças no comportamento eletroquímico das amostras nas condições experimentais avaliadas.

Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro – FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- 1 Chiaverini, V. Aços e Ferros Fundidos. 7ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM; 2008.
- 2 Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4ª edição. São Paulo: Edgard Blucher; 2008.
- 3 ASTM A36 / 36M. Standard Specification for Carbon Structural Steel: Annual Book of ASTM Standards. USA. 2008.

- 4 Arcelor Mittal – Aços longos. Perfis e Barras. Linha Estrutural e Serralheria. [acesso em 14 jun. 2019]; 18:54. Disponível em: <http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/industria/perfis-barras/catalogo-perfis-barras.pdf>
- 5 Vargas-Arista B, Hallen JM, Albiter A. Effect of artificial aging on the microstructure of weldment on API 5L X-52 steel pipe. *Materials Characterization*. 2007; 58: 721 – 729.
- 6 Alizadeh M, Bordbar S. The influence of microstructure on the protective properties of the corrosion product layer generated on the welded API X70 steel in chloride solution. *Corrosion Science*. 2013; 70: 170 – 179.
- 7 Wang LW, Liu ZY, Cui ZY, Du CW, Wang XH, Li XG. In situ corrosion characterization of simulated weld heat affected zone on API X80 pipeline steel. *Corrosion Science*. 2014; 85: 401 – 410.