

|  |  |
|--|--|
| <b>Lead institution: Lead institution: University of São Paulo – Escola Politécnica</b><br><b>Work Address of the position: Av. Professor Mello Moraes, 2463, Cidade</b><br><b>Universitária, São Paulo – SP – 05508-900, Brasil</b>   |  |
| <b>Supervisor name:</b> Hercílio Gomes de Melo   | <b>Department: Metallurgical and Materials Engineering - EPUSP</b>                               |
| <b>Co-supervisor (if any):</b> Helio Goldenstein   | <b>Department: Metallurgical and Materials Engineering - EPUSP</b>                               |
| <b>Recipient:</b> <a href="http://www.rcgi.poli.usp.br/opportunities/">http://www.rcgi.poli.usp.br/opportunities/</a><br><b>Ref:</b> 17PhD040<br><a href="http://www.rcgi.poli.usp.br/opportunities/application-form-rcgi/">http://www.rcgi.poli.usp.br/opportunities/application-form-rcgi/</a>   | <b>Type: PhD position</b><br><b>Period: Full time (40 h week)</b><br><b>Number of months: 48</b> |
| <b>Project title: (Portuguese and English)</b><br>Estudo do efeito da contaminação com compostos de enxofre na resistência à corrosão de aços ARBL expostos a soluções aquosas saturadas com CO <sub>2</sub><br>Study of the effect of sulfur compounds contamination on the corrosion resistance of HSLA steels exposed to aqueous solutions saturated with CO <sub>2</sub>   |  |
| <b>Research theme area: (Portuguese and English)</b><br>Corrosão, Engenharia de Materiais<br>Corrosion, Materials Engineering  |  |
| <b>Abstract (Portuguese and English)</b><br>A captura e armazenamento de dióxido de carbono requerem, dentre outras operações, a separação e transporte do gás a partir das fontes industriais e de produção de energia termoeletrica para um local de armazenagem onde é isolado da atmosfera. O transporte ocorre em condições de alta pressão, tipicamente acima de 7,0 MPa, onde o CO <sub>2</sub> encontra-se em estado supercrítico ( <i>supercritical CO<sub>2</sub> – SCCO<sub>2</sub></i> ). Uma opção economicamente viável para o transporte do SCCO <sub>2</sub> entre os sítios de produção e de armazenagem seria por meio de tubulações de aços utilizadas para o transporte de gás e petróleo. Estas tubulações são geralmente construídas com aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) X65-X70, as quais, para evitar problemas de corrosão, devem operar sob condições extremamente restritas de contaminantes no fluxo de SCCO <sub>2</sub> , particularmente no que concerne aos teores de H <sub>2</sub> O, HCl, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e CH <sub>4</sub> . Entretanto, quando a água se encontra acima de seu limite solubilidade no fluxo de SCCO <sub>2</sub> (estimado em algumas centenas de ppm) ela pode segregar, formando uma solução saturada com CO <sub>2</sub> e com pH próximo a 3,0, que, na presença de contaminantes, pode se tornar ainda mais ácida e agressiva. Além do mais, a presença destes contaminantes pode alterar o mecanismo de corrosão do aço na solução aquosa saturada em CO <sub>2</sub> . A natureza dos contaminantes presentes no fluxo de CO <sub>2</sub> depende da fonte. No caso de ser gerador em uma usina termoeletrica, a presença de SO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> S pode ser significativa.<br>Este projeto se insere dentro de uma linha de pesquisa que visa avaliar a possibilidade de utilizar a infraestrutura de dutos disponíveis para transporte de petróleo e gás, composta basicamente por aços ARBL, para o transporte de SCCO <sub>2</sub> . No estudo específico a ser desenvolvido serão utilizadas técnicas eletroquímicas e de caracterização microestrutural para estudar os efeitos da contaminação com compostos de enxofre (H <sub>2</sub> S e/ou SO <sub>2</sub> ) na resistência à corrosão de aços ARBL quando expostos a uma solução aquosa saturada com CO <sub>2</sub> . Será também avaliada a influência da temperatura e da pressão sobre a velocidade e tipo de corrosão predominante bem como sobre a natureza e estabilidade dos produtos de corrosão. |  |

The capture and storage of carbon dioxide require, among other operations, the separation and transportation of the gas from industrial sites and from thermoelectric energy sources to a storage site where it is isolated from the atmosphere. Transport takes place under high pressure conditions, typically above 7.0 MPa, where CO<sub>2</sub> is in the supercritical state (supercritical CO<sub>2</sub> - SCCO<sub>2</sub>). An economically viable option for transporting SCCO<sub>2</sub> between production and storage sites would be steel pipes used for the transport of gas and oil. These pipes are generally constructed of high strength low alloy (HSLA) steel X65-X70, which, to avoid corrosion problems, must operate under extremely restricted contaminant contents in the SCCO<sub>2</sub> flow, particularly with respect to H<sub>2</sub>O, HCl, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CH<sub>4</sub>. However, when water is above its solubility limit in the SCCO<sub>2</sub> flow (estimated at a few hundred ppm) it can segregate, forming a solution saturated with CO<sub>2</sub> and with a pH close to 3.0, which, in the presence of contaminants, can become even more acidic and aggressive. Moreover, the presence of these contaminants may alter the corrosion mechanism of the steel in the CO<sub>2</sub> saturated aqueous solution. The nature of the contaminants present in the CO<sub>2</sub> stream depends on the source. In case it is generated from a thermoelectric plant, the presence of SO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S may be significant.

This project is part of a research line aiming to evaluate the possibility of using the pipeline infrastructure available for oil and gas transportation, basically composed of HSLA steels, to transport SCCO<sub>2</sub>. In the specific study to be developed electrochemical and microstructural characterization techniques will be used to study the effects of contamination with sulfur compounds (H<sub>2</sub>S and / or SO<sub>2</sub>) on the corrosion resistance of HSLA steels when exposed to an aqueous solution saturated with CO<sub>2</sub>. The influence of temperature and pressure on the corrosion rate and on the predominant type of corrosion as well as on the nature and stability of the corrosion products will also be evaluated.

#### **Description (Portuguese and English)**

O projeto de pesquisa será desenvolvido em colaboração com pesquisadores do programa de engenharia do Research Centre for Gas Innovation – RCGI da USP (programa e projetos estão disponíveis no site do RCGI [www.usp.br/rcgi](http://www.usp.br/rcgi)).

O projeto será focado em avaliar a corrosão de aços ARBL em solução aquosa com diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> e no estudo do efeito da presença de compostos inorgânicos contendo enxofre, mais especificamente H<sub>2</sub>S e SO<sub>2</sub>, sobre a cinética e mecanismo do processo corrosivo. Como objetivos específicos pretendem-se:

- Avaliar o efeito da variação de concentração de CO<sub>2</sub> na fase aquosa sobre a corrosão de aços ARBL identificando o tipo de corrosão predominante, produtos de corrosão formado e variáveis microestruturais que contribuam para o processo;
- Para as condições críticas identificadas na etapa anterior e também para a solução saturada com CO<sub>2</sub> avaliar o efeito da adição de H<sub>2</sub>S e SO<sub>2</sub> sobre o processo corrosivo. As duas substâncias serão adicionadas como contaminantes em concentrações típicas passíveis de serem encontradas no fluxo de SCCO<sub>2</sub> (concentrações a serem determinadas por revisão da literatura);
- Avaliar o efeito da temperatura e da pressão sobre a corrosão do aço ARBL em solução aquosa saturada com CO<sub>2</sub> na ausência e na presença dos contaminantes;
- Propor um mecanismo que explique a dependência da velocidade de corrosão com as variáveis estudadas.

The PhD research is expected to be developed in collaboration with researchers from the Engineering Program of USP's Research Centre for Gas Innovation – RCGI (summary of the program and projects is found in the RCGI website at [www.usp.br/rcgi](http://www.usp.br/rcgi)).

The project will focus on the evaluation of the corrosion of HSLA steels in aqueous solutions with different concentrations of CO<sub>2</sub> and on the effect of the presence of sulfur-containing inorganic compounds, more specifically H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>, on the kinetics and mechanism of the corrosive process. Specific objectives are:

- Evaluate the effect of the variation of CO<sub>2</sub> concentration in the aqueous phase on the corrosion of HSLA steels identifying the type of corrosion predominant, corrosion products formed and microstructural variables contributing to the process;
- For the critical conditions identified in the previous step and also for the solution saturated with CO<sub>2</sub>, evaluate the effect of addition of H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub> on the corrosive process. The two substances will be added as contaminants at typical concentrations likely to be found in the SCCO<sub>2</sub> stream (concentrations to be determined by literature review);
- Evaluate the effect of temperature and pressure on the corrosion of HSLA steel in aqueous solution saturated with CO<sub>2</sub> in the absence and presence of the contaminants;
- Propose a mechanism that explains the dependence of the corrosion rate with the studied variables.

**Requirements to fill the position. (Ex: specific experience, minimum or maximum years after concluding the course) (Portuguese and English)**

- O candidato deverá ter realizado o mestrado na área de corrosão com o emprego de técnicas eletroquímicas – é pré-requisito indispensável para aceitação da inscrição que o candidato tenha autonomia para a realização dos ensaios eletroquímicos para avaliação da corrosão. A comprovação deste pré-requisito deverá ser realizada através de trabalhos desenvolvidos pelo candidato como autor principal.

- O candidato deverá ter noções sobre o uso da técnica espectroscopia de impedância eletroquímica para o estudo da corrosão e degradação de materiais;

- Apresentar conhecimentos específicos para a realização de ensaios eletroquímicos utilizando gases. É altamente desejável que o candidato apresente habilidade e conhecimentos para a realização de ensaios contendo H<sub>2</sub>S, particularmente no que concerne aos pré-requisitos de segurança;

- Conhecimentos em língua inglesa comprovado por certificado de proficiência (se aceita certificados emitidos pela USP).

- The candidate must have completed the master's degree in the area of corrosion using electrochemical techniques - it is an indispensable prerequisite for application that the candidate demonstrates autonomy to perform electrochemical tests for corrosion evaluation. The proof of this prerequisite must be carried out through works developed by the candidate as the main author.

- The candidate should have notions about the use of electrochemical impedance spectroscopy technique for the study of corrosion and degradation of materials;

- Present specific knowledge to perform electrochemical tests using gases. It is highly desirable that the candidate has the ability and knowledge to perform tests containing H<sub>2</sub>S, particularly with regard to safety prerequisites;

- Proficiency certificate in English - certificates issued by USP will be accepted.