

# ANÁLISE DE FALHA EM VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO<sup>1</sup>

Marcelo Sartori<sup>2</sup>

Tiago Giordani<sup>3</sup>

Gabriel Cogo<sup>3</sup>

Antônio Ricardo Stadlander<sup>2</sup>

Márcio Medeiros Magalhães<sup>4</sup>

Marcio Levi Kramer de Macedo<sup>5</sup>

Afonso Reguly<sup>6</sup>

## Resumo

Válvulas reguladoras de pressão são utilizadas para estabilização e regulação da pressão da rede canalizada de gases ou de um cilindro de gás. Sua integridade é de suma importância, pois por exemplo a segurança na operação de um equipamento oxiacetilênico depende disso. Desta forma a análise de falha é uma ferramenta muito importante para apurar a(s) causa(s) da falha e com isso evitar futuros problemas operacionais. Uma válvula fraturada foi analisada com intuito de conhecer os motivos que levaram a uma falha prematura da peça, objetivando dessa forma melhorar o projeto do componente. Foram utilizadas várias técnicas usualmente utilizadas em análise de falha, a exemplo de metalografia, dureza, análise química e uso de microscopia eletrônica de varredura, dentre outros. Foi avaliado que o componente falhou por sobrecarga, pois existiram agravantes, como a presença de região encruada próxima a concentradores de tensão, como os filetes de rosca, aliado aos excessivos esforços mecânicos a que o componente foi submetido.

**Palavras-chave:** Análise de falha; Válvula reguladora.

## FAILURE ANALYSIS OF PRESSURE REGULATING VALVE

### Abstract

Pressure regulating valves are used for stabilization and regulation of the pressure of the pipeline or cylinder gas. Its integrity is of huge importance, because the safe operation of oxiacethilenic equipment depends on it. Thus the failure analysis is a very important tool to determine the cause of failure and thus prevent future operational problems. A broken valve was analyzed with the aim of studying the reasons that led to premature failure of the part, in this way wanting to improve the design of the component. Several standard failure analysis techniques were used to characterize the component, such as metallography, microhardness test, chemical analysis and use of scanning electron microscopy, among others. It was pointed out that the component failed due to overload, because there were aggravating issues such the presence of hardened region near the stress concentrators such as screw threads, coupled to excessive mechanical stresses to which the component has undergone.

**Keywords:** Failure analysis; Regulating valve.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico. Mestrando em Ciência e Tecnologia dos Materiais. PPGE3M / UFRGS

<sup>3</sup> Engenheiro de Materiais. Mestrando em Ciência e Tecnologia dos Materiais. PPGE3M / UFRGS

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica. UFRGS.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalúrgico. Doutor. PPGE3M / UFRGS

<sup>6</sup> Engenheiro Metalúrgico. Professor Doutor. PPGE3M / UFRGS

## 1 INTRODUÇÃO

As válvulas reguladoras de pressão são componentes responsáveis pela estabilização e regulagem da pressão da rede canalizada de gases ou de um cilindro de gás, permitindo o ajuste da pressão de trabalho de forma a mantê-la relativamente constante.

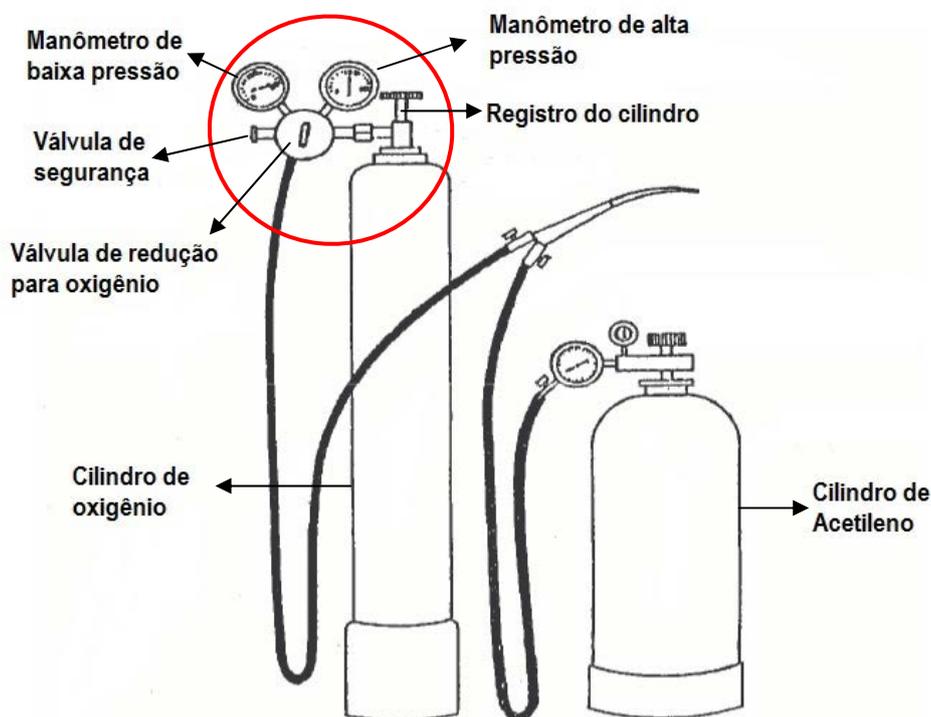
Estes componentes possuem uma variada gama de aplicações, entre elas, em equipamentos de soldagem, como é o caso da soldagem oxiacetilênica, a qual permite efetuar a união das peças pela fusão localizada destas através de uma chama gerada pela reação entre o oxigênio e o acetileno.<sup>(1)</sup> Um esquema mostrando a disposição dos componentes em um equipamento de soldagem oxiacetilênica pode ser observado na Figura 1.

O equipamento de soldagem oxiacetilênica compreende basicamente cilindros de oxigênio e acetileno, reguladores de pressão, mangueiras, maçarico, acendedor de chama, ferramentas, além de equipamentos de segurança individuais.

Por ser considerado um componente de grande responsabilidade, as válvulas reguladoras de pressão, além de favorecer o bom funcionamento do equipamento, também têm a função de garantir a segurança do operador durante os procedimentos de soldagem e, sendo assim, sua integridade mecânica é de fundamental importância para segurança da operação.

A metodologia de análise de falhas é uma ferramenta muito importante e fortemente empregada na otimização de projetos, pois permite, através de conhecimentos básicos, identificar os motivos pelos quais a falha ocorreu e, dessa forma, evitar futuros problemas operacionais.<sup>(2)</sup>

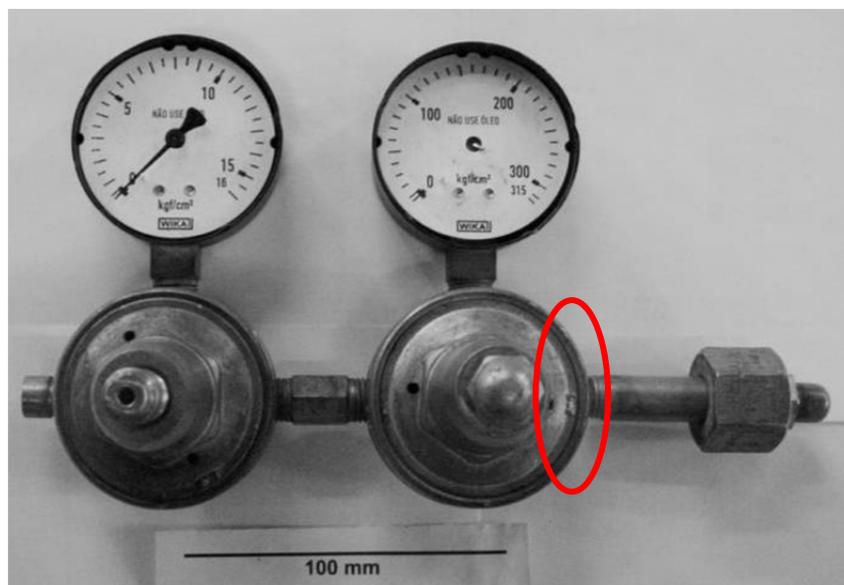
O objetivo deste trabalho é identificar os motivos que levaram uma válvula reguladora de pressão a romper em serviço.



**Figura 1:** Imagem mostrando um esquema de uma estação típica de soldagem oxiacetilênica. A região indicada pela elipse indica a localização da válvula reguladora de pressão.<sup>(3)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 2 mostra o componente conforme recebido para análise de falha. Trata-se de uma válvula reguladora de pressão de oxigênio, utilizada em equipamento de soldagem oxi-acetilênica. O componente apresentou fratura na conexão entre o cilindro e a reguladora, no local indicado pela elipse na Figura 2.



**Figura 2:** Válvula reguladora de pressão conforme recebida para análise.

A metodologia empregada na realização do trabalho consistiu na metodologia padrão de análise de falha. O estudo consistiu em análise visual, análise da superfície de fratura em lupa de baixo aumento e via microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química qualitativa através de microsonda (Energy Dispersive Spectroscopy - EDS), análise metalográfica e ensaio de microdureza.

Para a análise da superfície de fratura, primeiramente realizou-se uma análise visual, com as imagens obtidas em câmera digital e, em seguida efetuou-se a análise em lupa de baixo aumento visando identificar a possível região de início da falha. Após este procedimento, a amostra foi levada ao Microscópio Eletrônico de Varredura para identificação de possíveis micromecanismos de fratura.

Para análise metalográfica, foi retirada uma amostra transversal à superfície de fratura. Esta foi preparada segundo procedimentos padrões de metalografia, seguindo a norma ABNT NBR 13284<sup>(4)</sup> que incluem embutimento, lixamento e polimento. Para revelar a microestrutura, a amostra foi atacada quimicamente com solução de FeCl<sub>3</sub> em ácido clorídrico e água, seguindo a norma ABNT NBR 8108.<sup>(5)</sup>

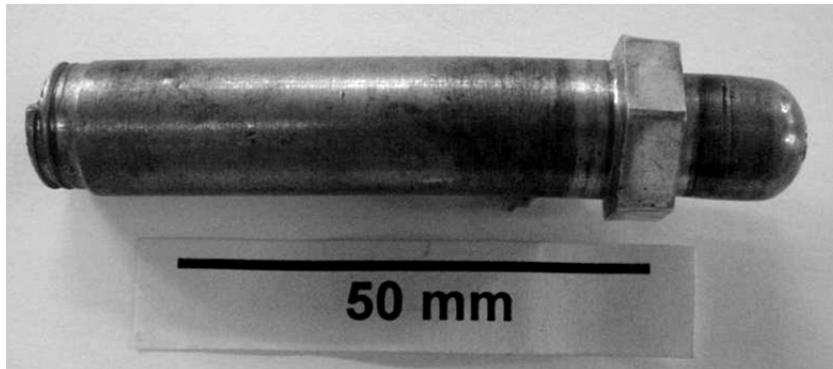
A amostra foi analisada em um microscópio ótico (MO) marca Olympus modelo BX 51M com as micrografias obtidas através de câmera digital acoplada ao microscópio. Primeiramente, a amostra foi analisada sem ser efetuado o ataque químico (amostra somente polida) e após, com ataque químico.

A medição de dureza foi realizada em um microdurômetro da marca Struers na escala Vickers, com carga de 200 gf, seguindo norma ABNT NBR NM188.<sup>(6)</sup> Os ensaios foram efetuados nas regiões dos filetes (regiões deformadas) e no também na região do núcleo da peça.

### 3 RESULTADOS

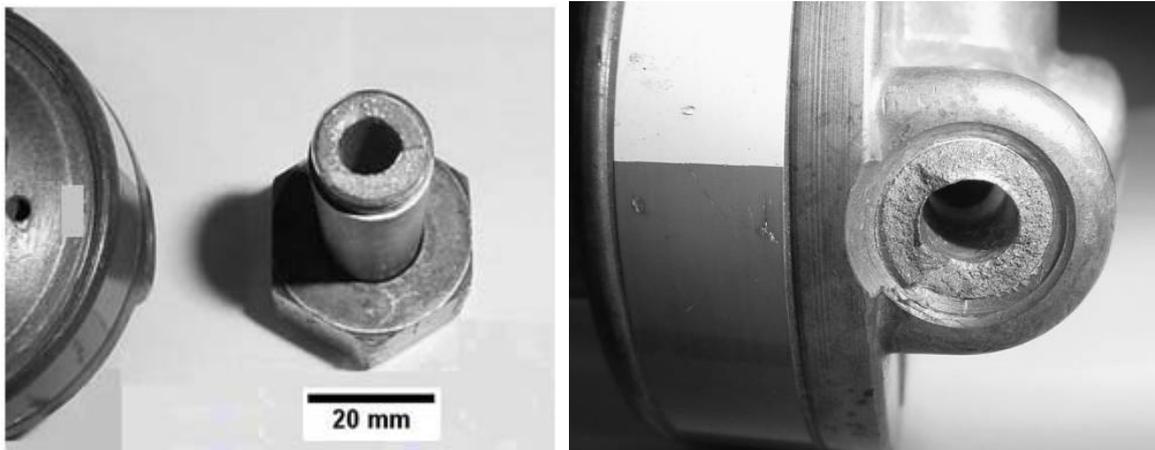
#### 3.1 Análise Visual

Constatou-se, através da análise visual, a presença de deformação no tubo de conexão entre o cilindro de oxigênio e a reguladora de pressão, provavelmente devida a esforços laterais, como pode ser observado na Figura 3.



**Figura 3:** Imagem em câmara digital apresentando o tubo de conexão.

Na Figura 4 pode-se observar que a fratura ocorreu no primeiro filete de rosca, na conexão com a reguladora, que é a região que apresenta a maior concentração de tensões em componentes rosqueados.



**Figura 4:** Imagem em câmara digital das superfícies de fratura. À direita, segmento remanescente na reguladora.

#### 3.2 Análise em Lupa de Baixo Aumento

A análise fractográfica realizada em lupa de baixo aumento foi efetuada para identificação da possível origem da falha. A Figura 5 mostra uma imagem em lupa da superfície de fratura no segmento da conexão entre o cilindro de oxigênio e a reguladora. Nesta figura pode-se observar a superfície de fratura apresentando aspecto rugoso e alguns pontos de amassamento. Também pode ser observado que o plano de fratura segue a orientação do fundo do filete.



**Figura 5:** Imagem em lupa de baixo aumento da superfície de fratura. A seta indica a região analisada em MEV e mostrada na Figura 7. À direita, em maior aumento.

Observa-se a mudança de plano de fratura pela presença de um degrau na superfície. Este tipo de configuração ocorre geralmente em componentes com rosca, onde a fratura segue a orientação do filete. Geralmente o início da fratura ocorre em região diametralmente oposta a este degrau (seta). Também foi observada a superfície lateral do componente, onde foi identificada a presença de trincas no fundo de filetes, indicadas pelas setas na Figura 6. As trincas seguem o fundo do filete e pode ser observado que a abertura das trincas é maior na região próxima da superfície fraturada.



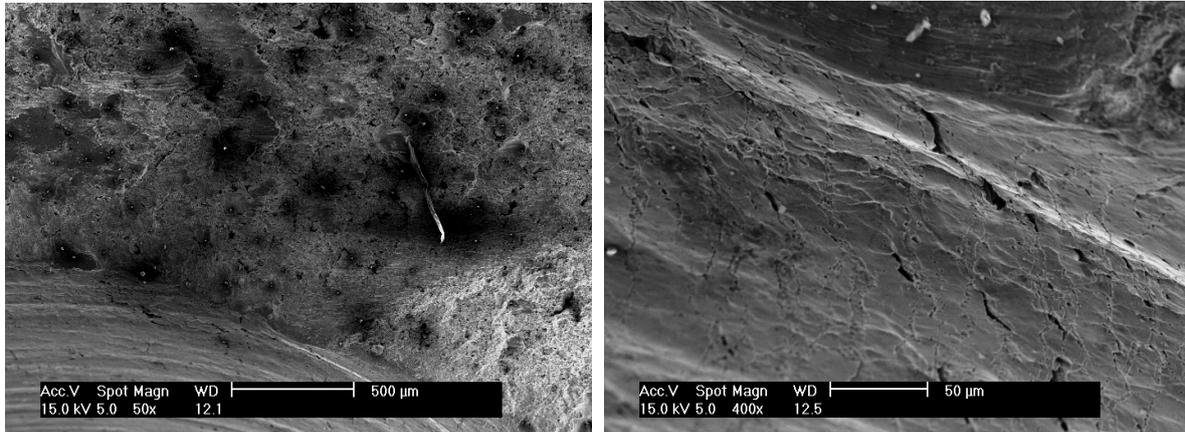
**Figura 6:** Imagem em lupa de baixo aumento da lateral do componente. As setas indicam as trincas.

### 3.3 Análise via MEV

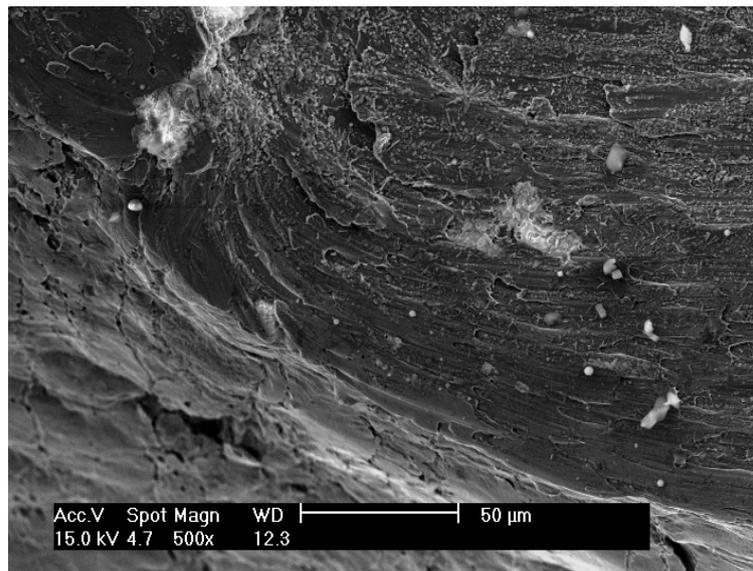
Para identificação dos micromecanismos de fratura foi seccionada a região contendo a superfície fraturada e foram efetuadas microfractografias através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Figura 7 mostra uma fractografia via MEV da superfície fraturada, na região indicada pela seta na Figura 5. O canto inferior esquerdo mostra a superfície interna do componente. À direita, em maior aumento, pode-se observar deformação plástica na borda interna da fratura. A Figura 8 mostra uma fractografia da superfície de

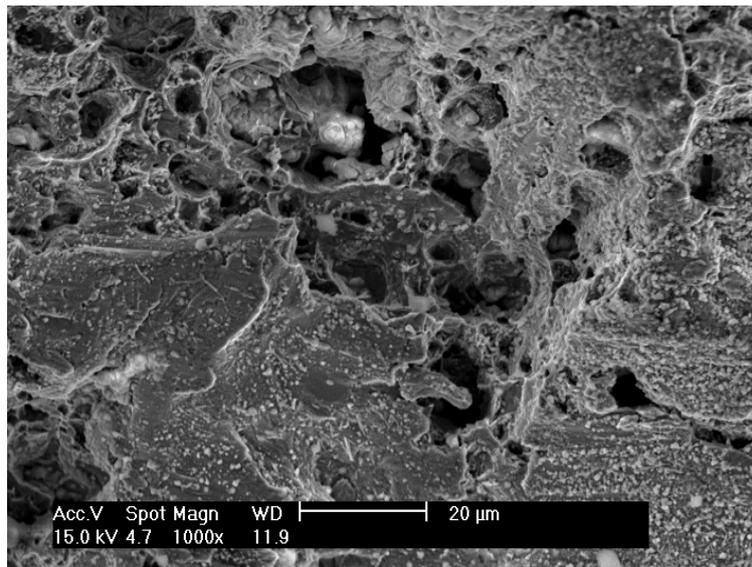
fratura na região de início da falha. Observa-se a presença de regiões planas indicando cisalhamento no canto superior esquerdo. O canto inferior direito é a superfície interna do componente. A Figura 9 mostra uma fractografia de uma região mais afastada da região de início da falha a aproximadamente meia distância entre a superfície interna e externa. Pode-se comparar com a fractografia mostrada na Figura 10, que é uma região de final da fratura, apresentando coalescimento de microcavidades.



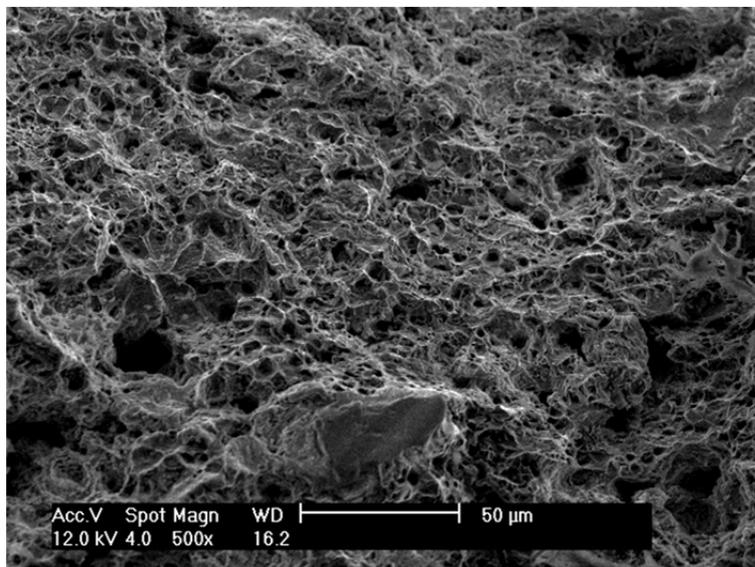
**Figura 7:** Fractografia via MEV da superfície de fratura. À direita, em maior aumento, a superfície interna.



**Figura 8:** Fractografia da região de início da trinca.



**Figura 9:** Fractografia da região mais afastada do início da fratura.



**Figura 10:** Fractografia da região final da fratura.

A amostra foi submetida à análise química qualitativa através de microsonda (Energy Dispersive Spectroscopy – EDS). A composição química média de 3 análises foi de 63% em peso de cobre e 37% de zinco.

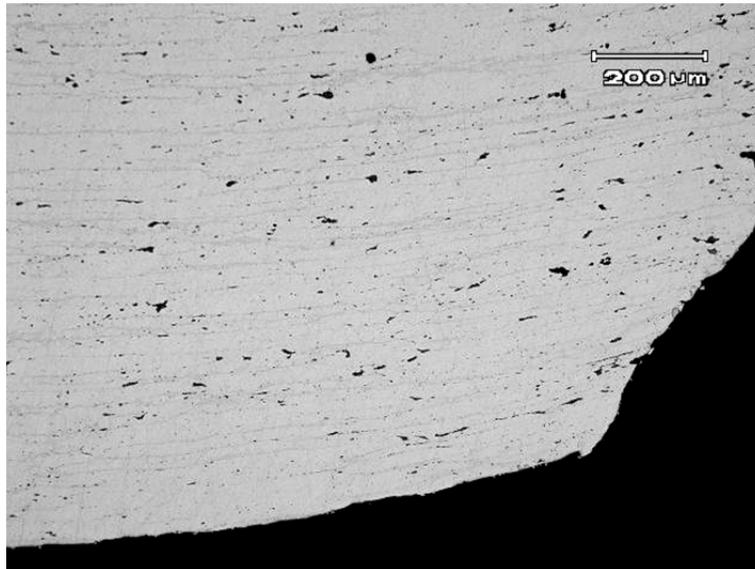
### 3.4 Análise Metalográfica

A amostra foi analisada em um microscópio ótico, onde foram efetuadas as micrografias com a amostra sem ataque químico (somente polida) e após com ataque químico (solução de  $\text{FeCl}_3$  em ácido clorídrico e água) de modo a observar a sua microestrutura.

A Figura 11 mostra uma micrografia da região próxima ao início da trinca, sem ataque químico. Pode ser observada uma estrutura bandeada e a presença de deformação plástica na superfície interna do componente (parte inferior). O bandeamento indica a deformação no sentido da conformação do material.

A Figura 12 mostra uma micrografia da região da rosca, sem ataque químico. Observa-se a superfície de fratura rugosa. Também se pode notar pequena trinca no

fundo do primeiro filete. A deformação plástica na região dos filetes indica que a rosca foi efetuada por rolamento.

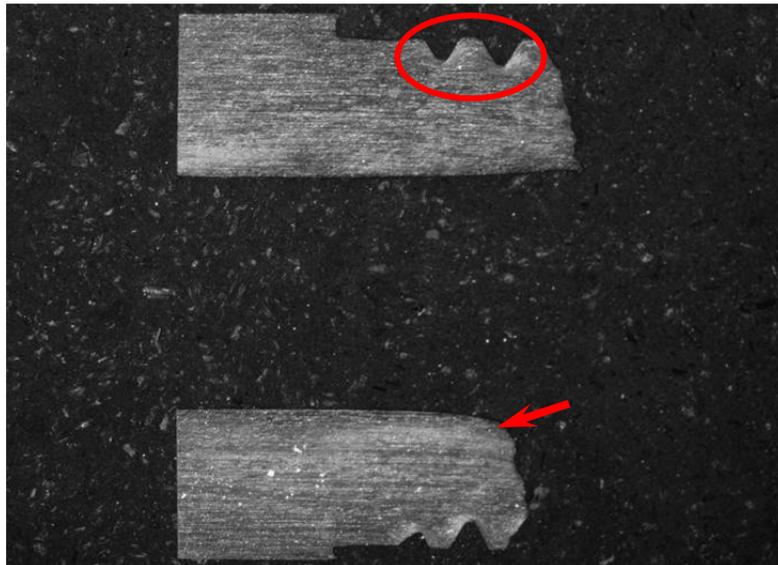


**Figura 11:** Micrografia da secção transversal da amostra. A borda inferior é a superfície interna.



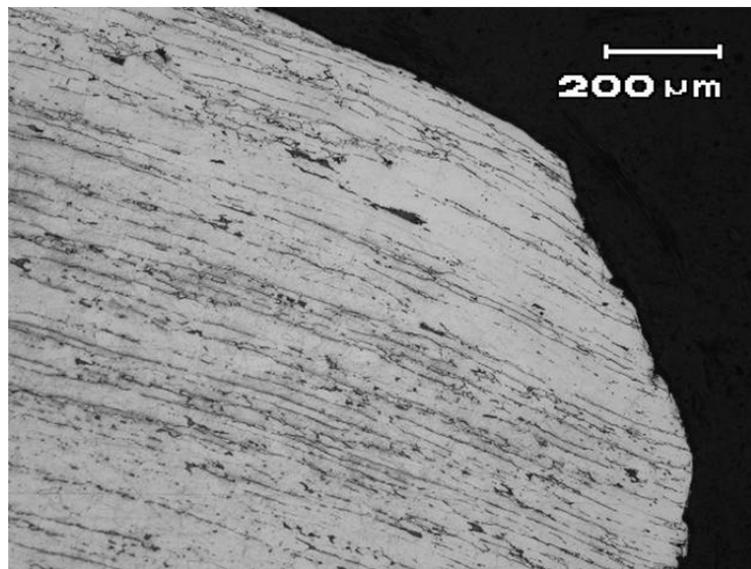
**Figura 12:** Micrografia da secção transversal mostrando a superfície fraturada (à direita) e a rosca. Sem ataque.

Após efetuado o ataque químico foi realizada uma macrografia em lupa de baixo aumento, mostrada na Figura 13. Nesta imagem pode-se notar a configuração do bandeamento da microestrutura, indicando uma maior deformação plástica em um dos lados do componente, inclusive com a presença de uma estrição na parte interna, próximo à superfície de fratura (indicado pela seta), correspondente ao que foi visto na Figura 11.



**Figura 13** – Macrografia da amostra seccionada, embutida e preparada para análise metalográfica. Com ataque químico.

A Figura 14 mostra uma micrografia da região próxima à superfície de fratura indicada pela seta na Figura 13. Aqui se pode observar mais detalhadamente a microestrutura bandeada e a deformação plástica na superfície interna do componente (parte superior da imagem). A Figura 15 mostra uma micrografia na região indicada pela elipse na Figura 13. Nota-se a presença de trincas no fundo dos filetes, regiões que apresentam grande deformação devida ao processo de rolamento.



**Figura 14:** Micrografia da secção transversal próxima à superfície de fratura. A borda superior é a superfície interna. Com ataque químico.

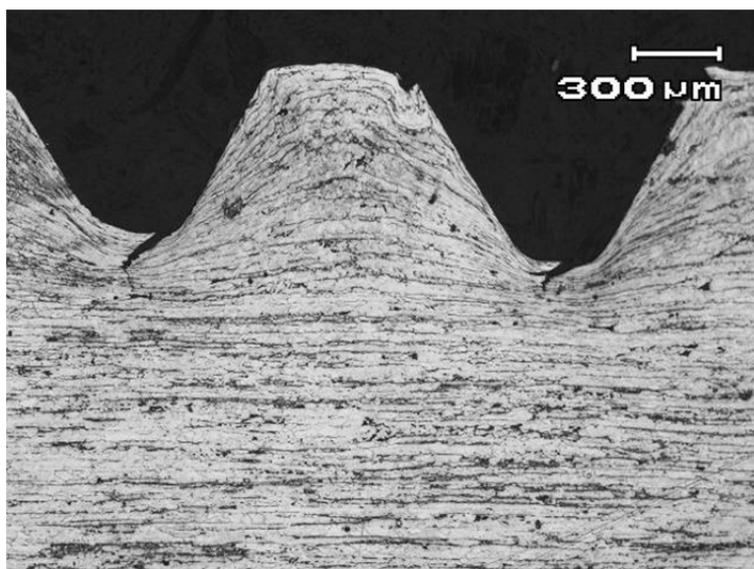


Figura 15: Micrografia da secção transversal, superfície externa. Com ataque químico.

### 3.5 Ensaio de Dureza

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers (HV) com carga de 200 gf nas regiões dos filetes (regiões deformadas) e também no núcleo da peça. Nos filetes, a dureza média encontrada foi no núcleo foi de 122 HV enquanto que, junto ao fundo dos filetes, a média foi de 187 HV, confirmando o encruamento das regiões próximas aos filetes verificado através da análise metalográfica. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 1: Resultados do ensaio de dureza Vickers

Indentação		1	2	3	4	Média
Região	Filetes	186	179	167	217	187
	Núcleo	118	122	123	126	122

## 4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A distorção do tubo de conexão entre a reguladora e o cilindro de oxigênio, como pode ser visto na Figura 3, indica que ocorreram esforços mecânicos sobre o componente.

A análise visual e a fractografia em lupa de baixo aumento permitiram concluir que a falha ocorreu em uma região de maior solicitação mecânica e com a presença de um concentrador de tensões, no caso, o fundo do filete.

A análise através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou coalescimento de microcavidades como micromecanismo de fratura na região de fratura final. Não foram encontrados indícios de fadiga no material.

A análise metalográfica mostrou uma microestrutura bandeada, apresentando deformação plástica na região próxima da superfície de fratura, indicando que o componente sofreu esforços que resultaram em tensões superiores à tensão de escoamento do material nesta região. A macrografia da Figura 13 mostra uma deformação plástica mais acentuada em um dos lados do componente, indicando que houve um esforço lateral, provavelmente de dobramento. Essa mesma macrografia indica uma estrição localizada, evidenciando ruptura por sobrecarga. Além de ser uma região de concentração de tensões pela sua geometria, o fundo do

filete apresentou encruamento devido ao processo de fabricação, verificado na metalografia e no ensaio de dureza. Esse encruamento reduz a ductilidade do material localmente, tornando essa região propícia a fraturas quando a peça é submetida a esforços mecânicos elevados.

## **5 CONCLUSÃO**

A partir das análises metalúrgicas realizadas no componente, evidenciou-se que a falha ocorreu por sobrecarga. A presença de deformação plástica em regiões próximas à de iniciação da falha indicam que o componente sofreu esforços que resultaram em tensões superiores à tensão de escoamento do material que, associadas a presença de concentradores de tensões e ao encruamento junto ao fundo do filete, propiciaram a ocorrência da fratura quando o componente é submetido esforços mecânicos elevados. Sugere-se o treinamento dos operadores para evitar manuseio inadequado que possa levar a novas falhas.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq e Capes pelo financiamento de bolsas de estudo e pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Técnica Operatória na Soldagem Oxi-Acetilênica - [www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas](http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas)
- 2 A. REGULY, I. LIMBERGER, S. GRIZA, M. KRAMER E T. STROHAECKER – Fadiga e Análise de Falha – Escola de Engenharia – UFRGS – sem 2004/02.
- 3 Portal do conhecimento – Curso Completo de Solda Industrial - <http://www.mpsnet.net>.
- 4 Norma Técnica ABNT NBR 13284:1995
- 5 Norma Técnica ABNT NBR 8108:1983
- 6 Norma Técnica ABNT NBR NM ISO 6507-3:2008.
- 7 Metals Handbook – Fractography and Atlas of Fractographs – ASM American Society for Metals - volume 9 - 8º edição 1974
- 8 Metals Handbook – Failure Analysis and Prevention – ASM American Society for Metals - volume 11 - 9º edição 1988.
- 9 Hertzberg, R. W., “Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials”, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 1989.