

## **TTEM 017/16**

### **PROCESSO DE SOLDAGEM TIG EM SISTEMA DE FILTRAGEM DE AR DE COMBUSTÃO DE TURBINA A GÁS**

### **WELDING PROCESS (TIG TYPE) ON INTAKE AIR FILTER FOR GAS TURBINE**

Signatários:

- Maxuel Peixoto de Lima<sup>1</sup>
- Stephany de Barros Camargo<sup>2</sup>
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Wendell de Queiroz Lamas – Universidade de São Paulo/USP
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP

Finalidade: Análise a aplicação da técnica e documentação do processo de soldagem conforme norma ASME IX, aplicado na fabricação de um sistema de filtragem do ar de combustão de uma Turbina a Gas utilizada para geração de energia.

Duração: 03 meses

1 – Maxuel Peixoto de Lima, aluno de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP) – [maxuel.lima@freudenberg-filter.com](mailto:maxuel.lima@freudenberg-filter.com)

2 - Aluna do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté – (UNITAU/SP) – [stephanycamargo@live.com](mailto:stephanycamargo@live.com)

Palavras chave: Soldagem, *Filter House*, Sistema de Filtragem, Turbina a Gas.

**Resumo.** Esse trabalho tem o objetivo de demonstrar a técnica e procedimento de soldagem tipo TIG conforme norma ASME IX aplicados na fabricação de um sistema de filtragem do ar de admissão de uma turbina a gás (aero derivada) utilizada para geração de energia em usinas termoeletricas.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Turbinas a Gas ( Aero Derivadas)

As turbinas a gás aero derivadas são turbinas inicialmente projetadas para propulsão de aeronaves porém após algumas adaptações são preparadas para trabalhar estáticas em processo de geração de energia, onde a turbina trabalha na rotação de um gerador de grande porte.

Essas turbinas necessitam de um bom sistema de filtragem para o ar de combustão, pois essas máquinas necessitam de ar limpo para manter a performance e conservação do rotor e câmara de compressão.



Figura 1 – Foto ilustrativa de uma turbina a gás.

Essas turbinas são lavadas em função da baixa de eficiência de acordo com as contaminações nos rotores da turbina. Se o sistema de filtragem não for eficiente o ciclo de lavagem é mais frequente e nesse caso a máquina deve ser parada para lavagem ocasionando em perda de geração de energia.

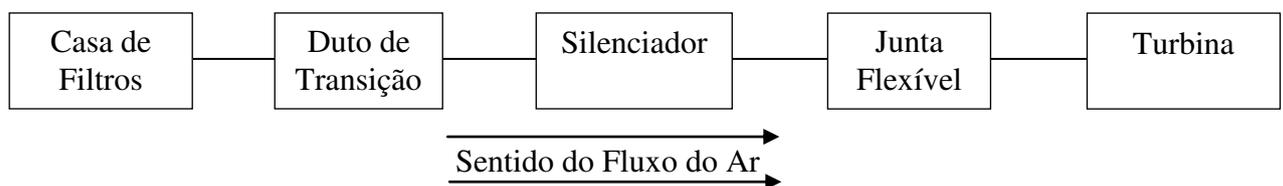
### 1.2. Sistema de Filtragem para o Ar de Combustão – Turbinas a Gás

As turbinas a gás requerem uma grande quantidade de ar ambiente para seu processo de combustão, esse ar ambiente contém impurezas que podem causar a erosão e ou sujar as pás do compressor, resultando em perda de capacidade e eficiência (baixa performance).

O sistema de filtragem (Filter House) é projetado para garantir que o ar de admissão no processo de combustão seja isento de partículas sólidas e gotículas de água. A operação da turbina com ar contaminado causa perda de eficiência, erosão, obstrução e corrosão das pás/aletas do rotor. Em casos de ingestão de grandes partículas pode causar em perda total do rotor da turbina.

Nas boas práticas de engenharia a eficiência mínima para um sistema de filtragem deve ser de classe F8 conforme norma EN779, que representa aproximadamente uma eficiência de 97,5% para partículas de 2,5  $\mu\text{m}$ .

Abaixo um fluxograma de um sistema de filtragem.



- Casa de Filtros: Sistema de filtragem do ar, composto por estágios de filtragem, tendo no mínimo dois estágios de filtragem (pré-filtro e filtro de alta eficiência).
- Duto de Transição: Duto de transição gradual, transferindo a seção transversal da casa de filtros para a seção de conduto do silenciador.
- Silenciador: Sistema composto por painéis acústicos para atenuação de ruído.
- Junta Flexível: Junta de ligação do sistema de filtragem com o duto de entrada de ar da



Figura 2 – Foto ilustrativa de uma casa de filtros.

Abaixo croqui de um sistema de filtragem tipo de Turbina a Gas para geração de energia.

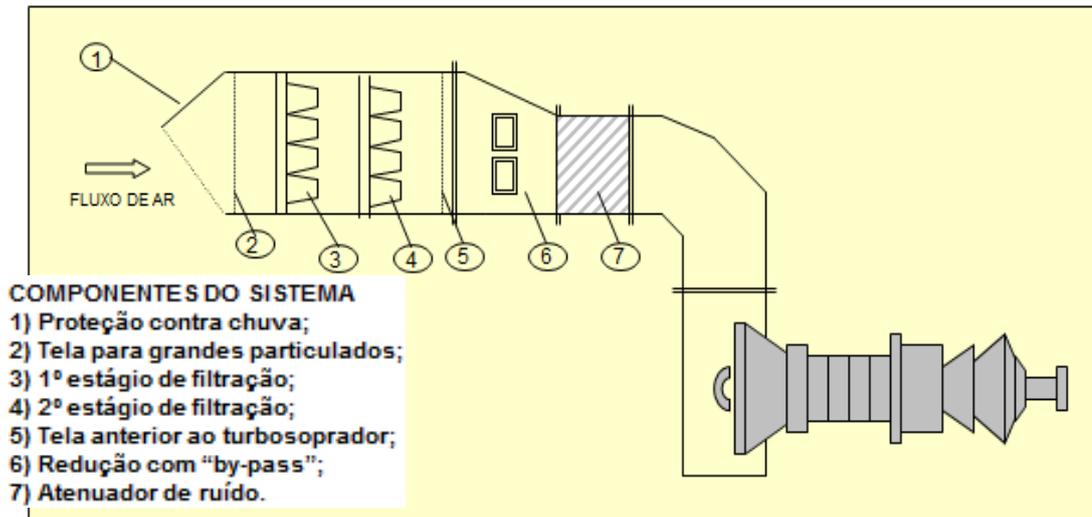


Figura 3 - Croqui de um sistema de filtragem tipo de Turbina a Gas para geração de energia.

O sistema de filtragem pode ser com elemento filtrante por profundidade ou por superfície.

- Filtragem por profundidade: Nas filtragem por profundidade as partículas são retidas gradativamente dentro do meio filtrante, pois nesse caso o meio filtrante tem diferente porosidade na sua espessura.
- Filtragem por superfície: As partículas são retidas na superfície do meio filtrante, o que possibilita autolimpeza com ar comprimido.

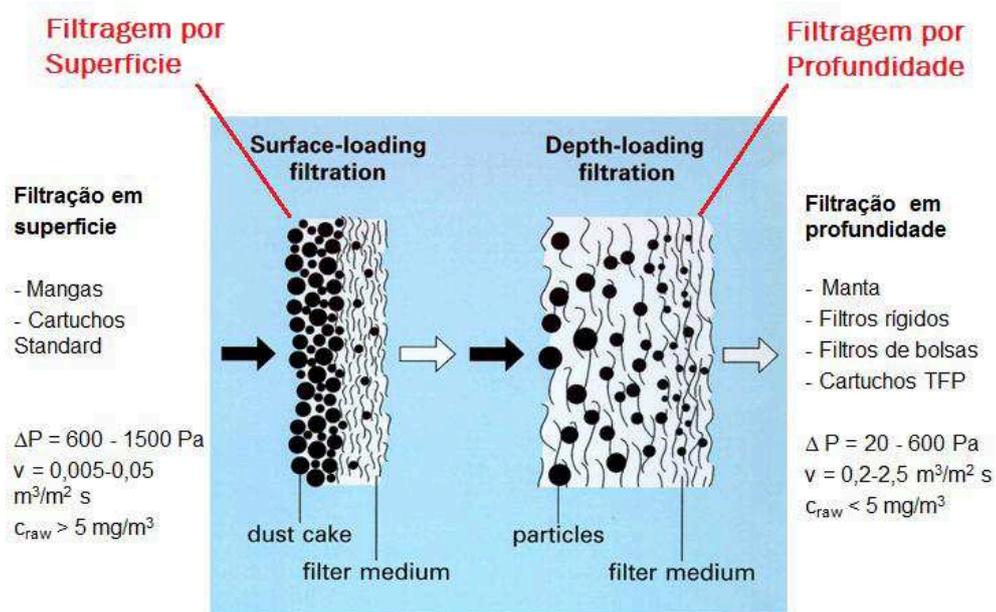


Figura 4 - Filtragem por superfície / Filtragem por profundidade.

### 1.3. Processo de Soldagem TIG

Na soldagem tipo TIG, um arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio (que não se funde) e a peça. O metal de adição, em forma de vareta, é colocado no arco elétrico e ao fundir-se, incorpora-se à poça de fusão do metal-base.

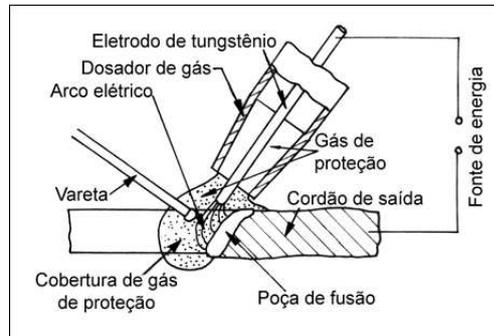


Figura 5 – Soldagem por processo TIG.

São partes importantes do sistema de soldagem TIG

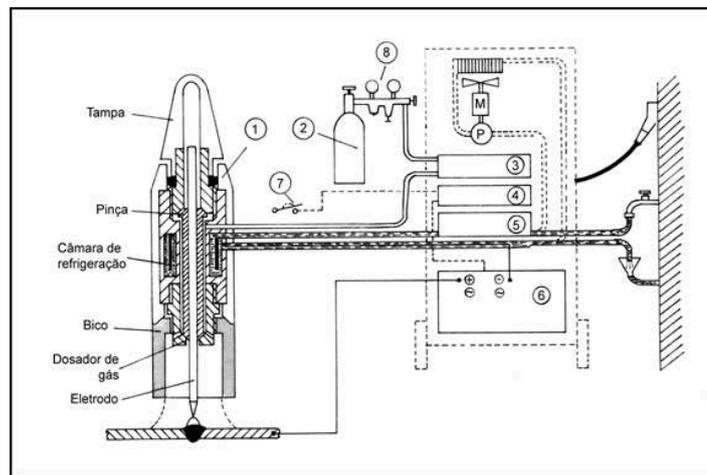


Figura 6 – Partes da soldagem por processo TIG.

- 1- Tocha;
- 2- Garrafa de gás de proteção;
- 3- Comando do gás de proteção;
- 4- Chave de comando;
- 5 - Controle de água de refrigeração;
- 6- Fonte de energia de soldagem ; gerador de impulsos de alta tensão;
- 7- Pedal de acionamento;
- 8- Válvulas de regulagem do gás de proteção.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada é baseada no projeto de fabricação da unidade de filtração. O projeto especifica que algumas partes do sistema de filtração tem que ser feito com o processo de soldagem TIG-GTAW de acordo com a norma ASME. Como o material de base é o aço inoxidável AISI 316L a norma utilizada deve ser a ASME IX.

### MAPA DE SOLDAGEM

Nos desenhos de fabricação as indicações de solda possuem uma numeração que pode ser relacionada com o mapa de soldagem.

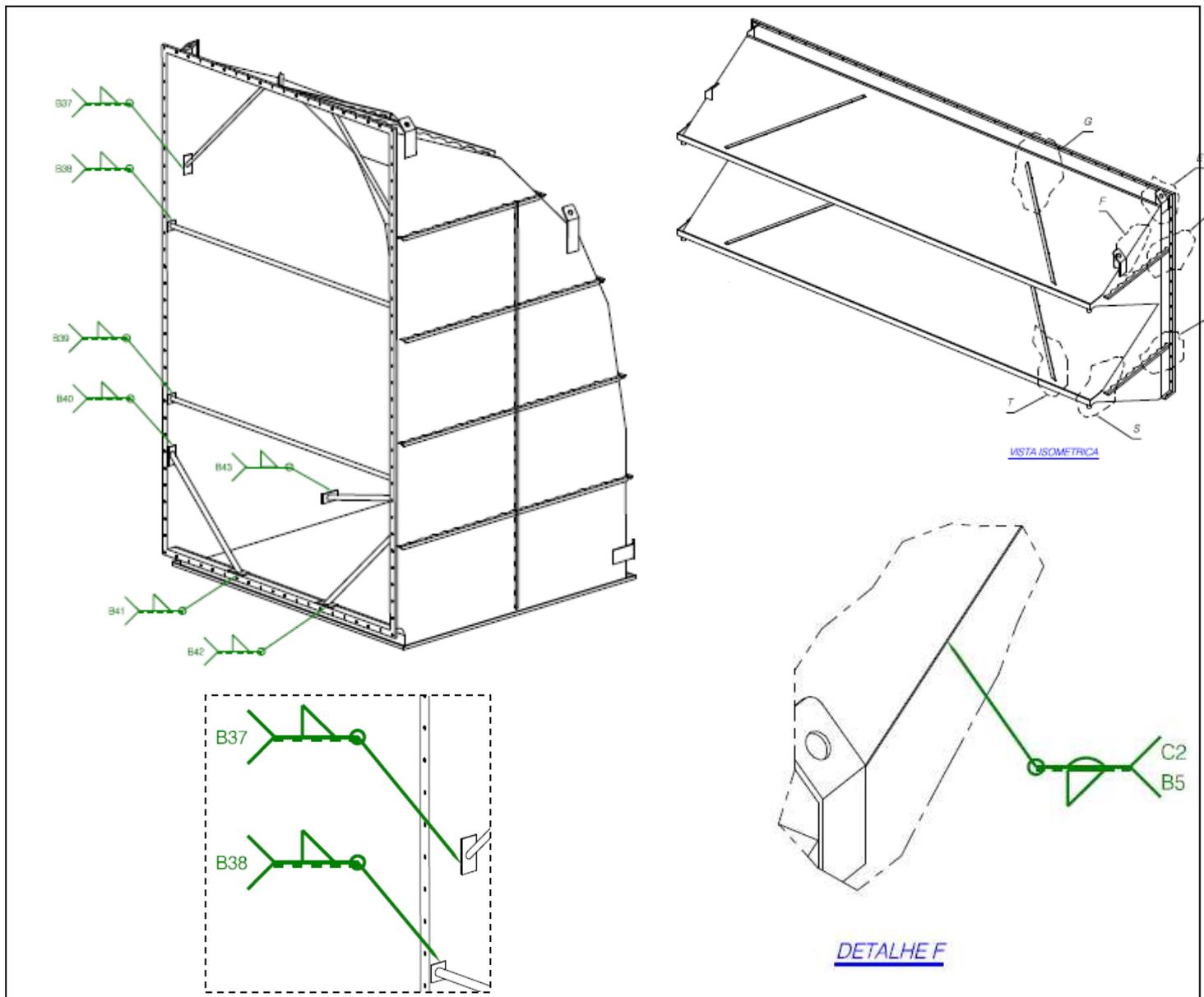


Figura 7 – Partes dos desenhos de fabricação com as indicações de solda.

O mapa de soldagem deve ter todas as especificações e iniciações de quais normas ou especificações são aplicáveis ao processo de soldagem e inspeção.

Tabela 1 – Tabela ilustrativa do mapa de solda aplicado ao projeto.

| Nº Desenho    | TAG da solda | Nº da EPS | Soldadores Qualificados | Material de Base | Processo de Soldagem | Inspeção Visual | END     |
|---------------|--------------|-----------|-------------------------|------------------|----------------------|-----------------|---------|
| OS-101-001-15 | C1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 100% |
| OS-102-001-15 | B1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 50%  |
| OS-102-001-15 | B2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-105-001-15 | C1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 100% |
| OS-106-001-15 | B1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-106-001-15 | B2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 50%  |
| OS-107-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 50%  |
| OS-107-001-15 | A2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 100% |
| OS-107-001-15 | A3           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 50%  |
| OS-107-001-15 | A4           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 50%  |
| OS-108-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-108-001-15 | A2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-108-001-15 | A3           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-108-001-15 | A4           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-109-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-109-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-110-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-110-001-15 | A2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-111-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-113-001-15 | A1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-114-001-15 | B1           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-114-001-15 | B2           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-114-001-15 | B3           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-114-001-15 | B4           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |
| OS-114-001-15 | B5           | Ti-1/2    | LSQ-M-001-15            | 316L             | GTAW                 | 100%            | LP 20%  |

## 2.1. EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem)

A especificação de procedimento de soldagem (EPS) é um documento preparado para fornecer aos soldadores e operadores de soldagem as diretrizes para a produção de soldas. Para atingir o seu objetivo, deve conter detalhadamente todos os parâmetros e condições da operação de soldagem. A Especificação de Procedimento de Soldagem é usada pelo inspetor de soldagem para o acompanhamento das qualificações e da soldagem de produção, com o objetivo de verificar se os parâmetros e condições estão sendo seguidos.



Na figura 11 estão os ensaios realizados

| ENSAIO DE TRAÇÃO<br>(TENSILE TEST)<br>LEGENDE (CODIFICATION):<br>1 - FRISMÁTICA 2 - CILINDRICA<br>3 - TUBULAR A - TRANSVERSAL B - LONGITUDINAL<br>MB - METAL BASE (BASE METAL) S - SOLDA<br>ZAT - ZONA AFETADA TERMICAMENTE (HAZ)<br>OBS: Conforme QW-462.1(a) |    | TIPO<br>(typ.) | CP Nº<br>Spec. nº | DIMENSÕES<br>Dimensions (mm) | AREA<br>(mm <sup>2</sup> ) | CARGA<br>Load (Kgf) | Resistencia<br>Streight (Mpa) | Local<br>Locatio   | RQPS: TI-1<br>(PQR) 11/22 |
|--|----|----------------|-------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|
|  | 2A | CP01           | 18,7 x 3,8        | 71,06                        | 4502                       | 621                 | S                             | Labor.: LTM        |                           |
|  | 2A | CP02           | 19,2 x 3,8        | 72,96                        | 4651                       | 625                 | S                             |                    |                           |
|  |    |                |                   |                              |                            |                     |                               | <b>CERTIFICADO</b> |                           |
|  |    |                |                   |                              |                            |                     |                               | Nº 00497/02        |                           |

| DOBRAMENTO<br>(BEND TEST)<br>LEGENDE (CODIFICATION):<br>1 - LATERAL 2 - FACE 3 - RAIZ (ROOT)<br>A - TRANSVERSAL B - LONGITUDINAL<br>A - APROVADO R - REPROVADO<br>Preparação C.P.<br>Conforme QW-462.3(a) |                   | LABORATÓRIO: S.Q.S.           |                                |                 |                                     | CERTIFICADO: Nº 020328 |                 |
|---|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|
| TIPO<br>(Typ)   | CP Nº<br>Spec. nº | CUTELO<br>Bend. Diam.<br>(mm) | ESPAÇAMENTO<br>SPACING<br>(mm) | ANGULO<br>ANGLE | DESCONTINUIDADES<br>DISCONTINUITIES |                        | LAUDO<br>RESULT |
| 2A  | 1                 | 4,0                           | 27,3                           | 180º            | ISENTO DE DESCONTINUIDADES          |                        | A               |
| 3A  | 2                 | 4,0                           | 27,3                           | 180º            | ISENTO DE DESCONTINUIDADES          |                        | A               |
| 2A  | 3                 | 4,0                           | 27,3                           | 180º            | ISENTO DE DESCONTINUIDADES          |                        | A               |
| 3A  | 4                 | 4,0                           | 27,3                           | 180º            | ISENTO DE DESCONTINUIDADES          |                        | A               |

Figuras 11 – Ensaios Utilizados para Qualificar a EPS.

### 2.3. RQS (Registro de Qualificação do Soldador)

O Registro de Qualificação do Soldador é o documento que valida o profissional a executar o processo de soldagem conforme “EPS” e parâmetro nela descritos.

| REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR<br>(WELDER QUALIFICATION RECORD)  |  | RQS: TI-1<br>(WQR)<br>Norma (Code)<br>ASME IX Ed.2001   |  |
|--|--|---|--|
| SOLDADOR (WELDER): Nome: _____<br>Chapa (clock nº): 00137 Sinete (stamp): B  |  | EPS utilizada<br>(WPS used): TI-1/2   |  |
| METAL BASE Especific. (specif.): ASTM A312 TP.316<br>(base metal): P nr: 8 Grau (grade) nr: I Espess. (thickness) mm: 5,5                              |  | PROCESSO: ER (smaw): <input type="checkbox"/> MIG/MAG: <input type="checkbox"/> TIG: <input checked="" type="checkbox"/><br>(process): Manual: <input checked="" type="checkbox"/> Automat.: <input type="checkbox"/> Semi-aut.: <input type="checkbox"/> |  |
| VARIAVEIS (Variables) para soldador (welder) QW350   |  | VALORES USADOS NA QUALIFICAÇÃO<br>(Actual Values used)  |  |
| COBRE JUNTA (backing) QW 402:  |  | SEM   | FAIXA QUALIFICADA<br>(Qualification Range):<br>COM <input checked="" type="checkbox"/> SEM <input checked="" type="checkbox"/> |
| F Nr.:   |  | 6   | 6 6  |
| Metal de adição (filler metal) Espec. e Class. QW404   |  | SFA 5.9 / ER 316L   | ---  |
| P Nr. QW 403   |  | 8 com in 8  | 1 a 11, 4X e 34  |
| Inserto consumível (consumable insert) TIG   |  | SEM   | COM e SEM  |
| Posição de soldagem (weld position) QW405  |  | 3G (especial)   | CHANFRO (groove) P, V ANGULO (fillet) P, V, H  |
| Progressão (weld progression)  |  | ASCENDENTE  | ASCENDENTE   |
| Transferência (transfer mode) MIG/MAG QW409  |  | NA  | NA   |
| Corrente e polaridade (current/polarity) TIG   |  | CCEN  | CCEN   |
| Gas de prot. da raiz (root gas) TIG/MIG/MAG QW408  |  | SEM   | COM e SEM  |
| Mat. usado (material used): chapa <input type="checkbox"/> tubo <input checked="" type="checkbox"/><br>Diametros qualificados (qualified diameters) mm |  | 89 (2 1/2")   | Chanfro (groove) Angulo (fillet)<br>≥ 73mm TODOS   |

Figura 12 – Alguns dados que constam no Registro de Qualificação do Profissional.

### 3. EXECUÇÃO DAS SOLDAS

Todas as soldas previstas no Mapa de solda foram feitas conforme dados e parâmetros indicados na “EPS” (Especificação de Procedimento de Soldagem)



Figura 13 – Foto da execução da solda no eliminador de gotas.



Figura 14 – Foto da execução da solda no módulo do silenciador.

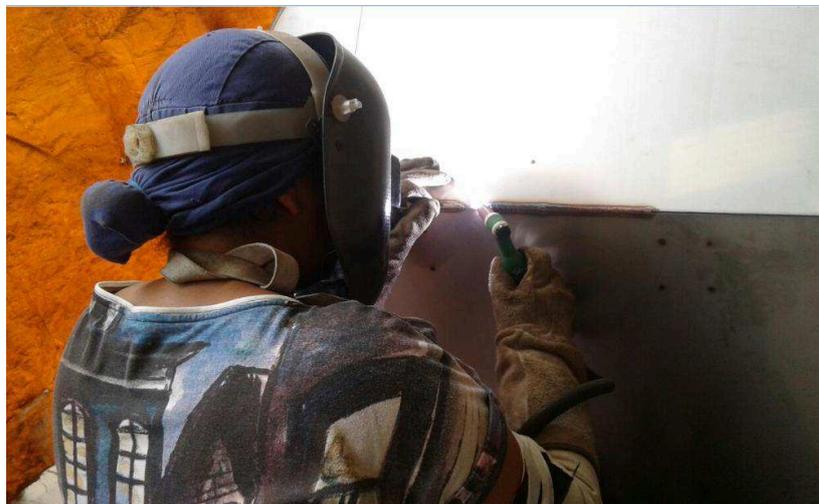


Figura 15 – Foto da execução da solda no módulo do silenciador.



Figura 16 – Foto da execução da solda na curva do Intake.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Todas as soldas foram feitas e inspecionadas, executando os testes previstos no mapa de solda que são EVS (Ensaio Visual e Dimensional de Solda) e LP (Líquido Penetrante). Todas as soldas foram aprovadas respeitando os dados e parâmetros previstos em projeto.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Turbina a gás / aeroderivada / para produção de eletricidade / para aplicações de acionamento mecânico <http://www.directindustry.com/pt/prod/rollsroyce/product-22649-664871.html>

ASME (*American Society of Mechanical Engineers*)

AWS (*American Welding Society*)

FBTS: [http://www.fbts.org.br/quantum/cursos/000071/downloads/M1\\_D2\\_T3\\_Terminologia%20Equipamentos%20processos%20e%20acessorios.pdf](http://www.fbts.org.br/quantum/cursos/000071/downloads/M1_D2_T3_Terminologia%20Equipamentos%20processos%20e%20acessorios.pdf)

#### 6. COMUNICADO DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo material pesquisado.

Abstract: This work has the objective of demonstrating the TIG Welding technique and procedure according to ASME IX Standard, applied in the manufacture of a gas turbine inlet air filtration system (aero derivative) used for power generation in thermoelectric plants.