

DESENVOLVIMENTO DE FUNDIDOS EM AÇO INOXIDÁVEL
PARA USINAS HIDRELÉTRICAS

Evandro Caetano de Lima
José das Graças de Oliveira
Luiz Tironi Junior
Rubens Alves Horta
Francisco Manoel Perez do Nascimento
Winston Gonçalves de Souza
Rogério Americano

A Fundição da ACESITA, até 1980, participava do mercado nacional de fundidos nas áreas de: Pelotização (Barras de Grelha e Placas de Revestimento); Mecânica (Base de Prensa e Martelo); Siderúrgica (Hoppers, Ventaneiras, Tubos Centrifugados, Linhas goteiras, Painéis de Escória e Cilindros); Hidrelétrica (Peças para Usina de Sá Carvalho).

Em 1980 iniciou a produção de Palhetas Diretrizes, em aço carbono, para as Turbinas de Itaipú. Com isto foi necessário um desenvolvimento dos métodos e processos de fabricação, visando atender as exigências de qualidade requeridas para tal produto.

Este desenvolvimento contribuiu de forma decisiva para melhorar a qualidade dos fundidos da linha normal de produção da Fundição, além de abrir alternativas no fornecimento de outras peças para hidrelétricas em aços inoxidáveis, como: Blindagem, Rotores Francis (Polibloco e Monobloco), Pá Kaplan, etc..

Evandro Caetano de Lima—Membro da ABM. Eng^o Metalurgista, Civil e de Minas; Gerente da Fundição da ACESITA; Timóteo, M.G.

José das Graças de Oliveira— Eng^o Metalurgista; Chefe Divisão de Produção da Fundição da ACESITA; Timóteo, M.G.

Luiz Tironi Junior— Eng^o Mecânico; Chefe Divisão Técnica da Fundição da ACESITA; Timóteo, M.G.

Rubens Alves Horta— Eng^o Mecânico; Chefe Divisão de Vendas da Fundição da ACESITA; Belo Horizonte, M.G.

Francisco Manoel Perez do Nascimento—Membro da ABM. Eng^o Metalurgista, M.Sc.; Pesquisador Senior da Divisão de Metalurgia da ACESITA; Timóteo; M.G.

Winston Gonçalves de Souza— Técnico Metalurgista e de Fundição; Técnico de Controle de Processo da Fundição da ACESITA; Timóteo, M.G.

Rogério Americano— Desenhista Mecânico; Desenhista Projetista da Fundição da ACESITA; Timóteo, M.G.

1. INTRODUÇÃO

A experiência da ACESITA, até 1980, na fabricação de componentes para hidrelétrica, resumia-se na produção de algumas peças para sua Usina de Sá Carvalho.

A partir daí inciou a produção de Palhetas Diretrizes de grande porte (~ 9,6t) para a Usina de Itaipú. O material especificado para estas peças era o aço carbono DIN GS 20 Mn5 Modificado (Figura 1).

Em 1981 foram fabricadas as Palhetas Diretrizes de Sá Carvalho em aço inoxidável ASTM A 743 Gr CA 6 NM, em substituição ao aço baixa liga (similar ao AISI 4032), dando início assim à fase de produção de peças para hidrelétrica em aços inoxidáveis.

2. FABRICAÇÃO DAS PEÇAS DA USINA DE SÁ CARVALHO EM AÇO INOXIDÁVEL

2.1. Palhetas Diretrizes

Visando melhorar o desempenho das Palhetas, foi proposta a fabricação das referidas peças em aço inoxidável ASTM A 743 Gr CA 6NM, em substituição ao aço baixa liga.

O aço inoxidável apresenta superioridade marcante sobre o aço baixa liga quanto às características mecânicas e propriedades, o que compensa plenamente o pequeno incremento no custo (Tabelas I e II) (1,2,3,4 e 5).

2.2. Blindagem e Rotores Francis

Estas peças eram produzidas em aço ASTM A 743 Gr CA15, material propenso a trincas durante a fase de acabamento e recuperação por solda. Objetivando reduzir a tendência a trincas durante o corte de montantes e canais, melhorar a soldabilidade do material, aumentar a tenacidade das peças e elevar a resistência a corrosão, foram produzidas duas blindagens em aço ASTM A 743 Gr CA 6NM e dois Rotores Francis Polibloco em aço inox 17 Cr 4Ni. (Tabelas I e II)

A produção dos dois Rotores foi no sistema polibloco (coroa, cinta e palhetas) e posteriormente montagem por solda (Figura 2). Neste processo a soldabilidade é uma característica fundamental para a obtenção de um produto final de alta qualidade.

Conforme mostra o Diagrama de Schaeffler (Figura 3), os aços ASTM A 743 Gr CA 6NM e Aço Inox 17 Cr 4Ni são similares ao ASTM A 743 Gr CA 15 em termos de microestrutura, no entanto, em função de seu baixo teor de carbono, apresentam melhor soldabilidade e tenacidade (Figura 4).

Por outro lado, para compensar o baixo teor de carbono, sem decrescer as características mecânicas, os aços ASTM A 743 Gr CA 6NM e Aço Inox 17 Cr 4Ni apresentam teor de Níquel mais elevado que o ASTM A 743 Gr CA 15.

3. FABRICAÇÃO

3.1. Rotor Francis Polibloco para Usina Hidrelétrica de Jaguari-CESP

Tendo em vista o excelente resultado apresentado pelos Rotores da Usina de Sá Carvalho, a ACESITA partiu para a fabricação de Rotores Polibloco para terceiros (Figura 2).

O primeiro Rotor produzido para o mercado nacional foi o da Usina de Jaguari/CESP, com 16 Palhetas, pesando cerca de 1,7 t o conjunto.

A usinagem e montagem das Pás foi feita pela USIMINAS MECÂNICA S/A.

3.2. Rotores Francis Monobloco

Após o domínio da tecnologia de fabricação de Rotores Polibloco, partiu-se para o desenvolvimento e produção de Rotores Monobloco, visando:

- Reduzir o custo de fabricação;
- Reduzir o prazo de fabricação;
- Reduzir o custo global, devido à eliminação da soldagem de junção das Pás na cinta e coroa (Figura 5).

A única desvantagem deste processo é a maior dificuldade na fabricação, principalmente nas fases de modelagem, moldagem e acabamento.

Tal processo exige elevada tecnologia, desde o projeto, modelagem, até o serviço final de ajustagem dos perfís hidráulicos (Tabela III).

3.2.1. Rotores Francis Monobloco-ALCAN

O início do desenvolvimento deste projeto se deu com a produção de 3 Rotores para a Usina da ALCAN DO BRASIL. O pedido constou de dois Rotores de corpo duplo e um de corpo simples.

As peças foram fabricadas com modelos do cliente e sofreram ajuste para atender às solicitações do projeto de fundição.

CARACTERÍSTICAS DOS ROTORES

Rotor corpo duplo Ø 750, peso 930 Kg acabado;

Rotor corpo duplo Ø 540, peso 660 Kg acabado;

Rotor corpo simples Ø 840, peso 850 Kg acabado;

Material - Aço Inox 17 Cr 4Ni.

NORMAS UTILIZADAS

Partículas Magnéticas - CCH MT 70.2 Nível 1 e 2;

Líquido Penetrante - CCH PT 70.2 Nível 2, 3 e 4;

Ultra som - CCH UT 70.2 Nível 3.

3.2.2. Rotor Francis da Usina Elevatória de Pedreira/Eletropaulo e Alto de Femeas/COELBA

No caso destes Rotores a ACESITA assumiu desenvolver também internamente a fabricação dos modelos construídos em madeira, resina poliéster e fibra de vidro.

Após a desmoldagem e acabamento das peças foi realizada a inspeção dimensional onde se constatou que os índices de contração adotados para as diversas regiões das peças estavam perfeitamente adequados às exigências do produto⁽⁶⁾.

As características destes Rotores são apresentadas na Tabela III.

3.3. PÁ KAPLAN - PORTO PRIMAVERA

Peças em fase inicial de fabricação. São peças de grande porte, com peso de vazamento de 39.946 Kg (Figura 6).

O aço utilizado para fabricação é o Aço Inox 17 Cr 4Ni.

A exemplo dos Rotores Monobloco, o modelo foi desenvolvido internamente na Fundição da ACESITA.

4. CONCLUSÃO

As peças utilizadas em Usinas Hidrelétricas requerem alto nível de qualidade.

A Fundição da ACESITA, com o propósito de atender as exigências desses produtos, implementou seu desenvolvimento tecnológico em 1980, a partir do início da produção das Palhetas Diretrizes de Itaipú.

O desenvolvimento tecnológico alcançado nesta área foi estendido às outras linhas de produtos da Fundição da ACESITA, o que possibilitou uma melhoria na qualidade de todos os fundidos.

4. BIBLIOGRAFIA

1. CRISTINA, V. & GYSEL, W. Une nouvelle nuance d'acier moulé a 13% de chrome a houtes caractéristiques et a meilleure soudabilité. Revue de métallurgie, 63 (7/8): 571-8, jui/août / 1966.
2. CRAWFORD, J.D. CA-6NM- an update. Greenwich, climax molybdenum company, 1974- 8p.
3. HIRAOKA, N. et alii. Manufacture of francis type hydraulic turbine and pump runners. JSW Technical Review (13): 23-9,1977.
4. BREZINA, P. Martensitic CrNi Steels with low carbon content , Escher Wyss News (1/2): 218-36, 1980.
5. NIINAKA, H. et alii. 13Cr-3.5Ni martensitic stainless steel castings for hydraulic turbine runners. Kawasaki Steel Technical Report (14): 141-52, mar. 1986.
6. RODRIGUES, Valentim Albino; CABRAL, Marcelo Cavallare; HORTA, Rubens. Desenvolvimento tecnológico na fabricação de fundidos para usinas hidrelétricas; IF- 252/87, Timóteo, Acesita, 1987. 14p.

TABELA I - CARACTERÍSTICAS DOS AÇOS EMPREGADOS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PARA USINA HIDRELÉTRICA (1,2,3,4 e 5)

| AÇOS | SIMILAR AO AISI 4032 | ASTM-A 743 Gr. CA-15 | ASTM-A 743 Gr. CA6NM | AÇO INOX 17Cr 4Ni |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| R.T. (Kg/mm ²) | 40/49 | 63 (min.) | 77 (min.) | 80 (min.) |
| L.E. (Kg/mm ²) | 30 (min.) | 46 (min.) | 56 (min.) | 59 (min.) |
| ESTR. (%) | - | 30 (min.) | 35 (min.) | - |
| ALONG. (%) | 9 (min.) | 18 (min.) | 15 (min.) | 13 (min.) |
| IMPACTO (Kg/cm ²) | 3 (min.) | - | - | 4 (min.) |
| DUREZA (HB) | - | 241 (max.) | 285 (max.) | - |
| TENDENCIA A TRINCAS (1) | BAIXA | ALTA | BAIXA | BAIXA |
| SOLDABIL. | BOA | RUIM | BOA | BOA |
| RESISTENCIA EROSAO/ABRAS | REGULAR | BOA | EXCELENTE | EXCELENTE |
| RESISTENCIA A CAVITACAO | REGULAR | BOA | EXCELENTE | EXCELENTE |
| CUSTO RELATIVO | IX | 1,21 X | 1,33 X | 1,36 X |
| DESEMPENHO RELATIVO | IY | — | 1,8Y | 2,0Y |

(1) DURANTE CORTE DOS MASSALOTES

TABELA II - ANÁLISE QUÍMICA DOS AÇOS EMPREGADOS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PARA USINA HIDRELÉTRICA

| AÇOS | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | V |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|------|
| SIMILAR AO AISI 4032 | 0,30 0,35 | 0,70 0,90 | 0,20 0,35 | 0,040 max. | 0,040 max. | AUS. | AUS. | 0,20 0,30 | AUS. |
| ASTM - A 743 Gr. CA-15 | 0,15 max. | 1,00 max. | 1,50 max. | 0,040 max. | 0,040 max. | 11,50 14,00 | 1,00 max. | 0,50 max. | AUS. |
| ASTM - A 743 Gr. CA6NM | 0,06 max. | 1,00 max. | 1,00 max. | 0,040 max. | 0,030 max. | 11,50 14,00 | 3,50 4,50 | 0,40 1,00 | AUS. |
| AÇO INOX 17Cr 4Ni | 0,06 max. | 1,00 max. | 1,00 max. | 0,035 max. | 0,025 max. | ~17 | ~4 | AUS. | AUS. |

**TABELA III - CARACTERÍSTICAS DOS ROTORES MONOBLOCOS
PRODUZIDOS PELA ACESITA**

| ROTOR/USINA | MATERIAL | DIAMETRO (mm) | Nº PALHETAS | PESO PEÇA (Kg) | PESO VAZAMENTO (Kg) |
|--------------------------|-------------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| FEMEAS | AÇO INOX 17Cr 4 Ni | ∅ 1115 | 12 | 2.100 | 4.160 |
| PEDREIRA MÁQUINA 4 | ASTM A 743 Gr. CA6NM | ∅ 2400 | 11 | 14.680 | 22.200 |
| PEDREIRA MÁQUINA 7 | ASTM A 743 Gr. CA6NM | ∅ 3800 | 5 | 33.500 | 57.000 |
| USINA DO CABOCL ALCAN | AÇO INOX 17Cr 4 Ni | ∅ 597 | 14 | 640 | 1.035 |
| USINA DO FUNIL ALCAN | AÇO INOX 17Cr 4 Ni | ∅ 736 | 14 | 930 | 1.590 |
| USINA DO SALTO | AÇO INOX 17Cr 4 Ni | ∅ 890 | 15 | 850 | 1.240 |

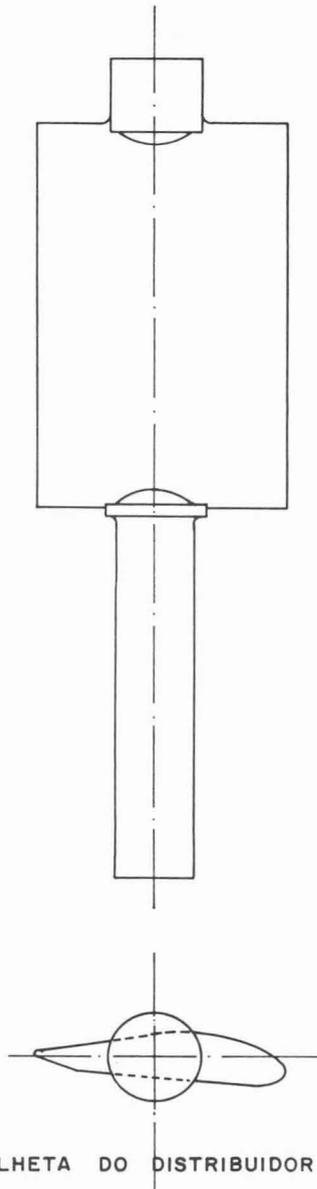
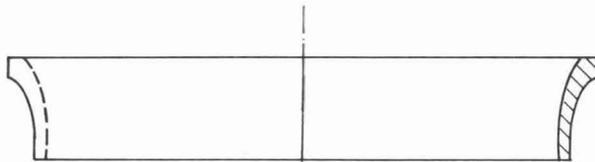


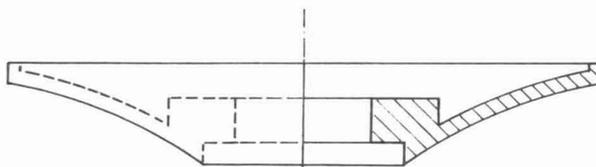
Fig.1 - PALHETA DO DISTRIBUIDOR



PA'



CINTA



COROA

Fig. 2 - ROTOR FRANCIS POLIBLOCO

- ASTM - A 743 Gr. CA-15
- + ASTM - A 743 Gr. CA6NM
- AÇO INOX 17Cr 4Ni

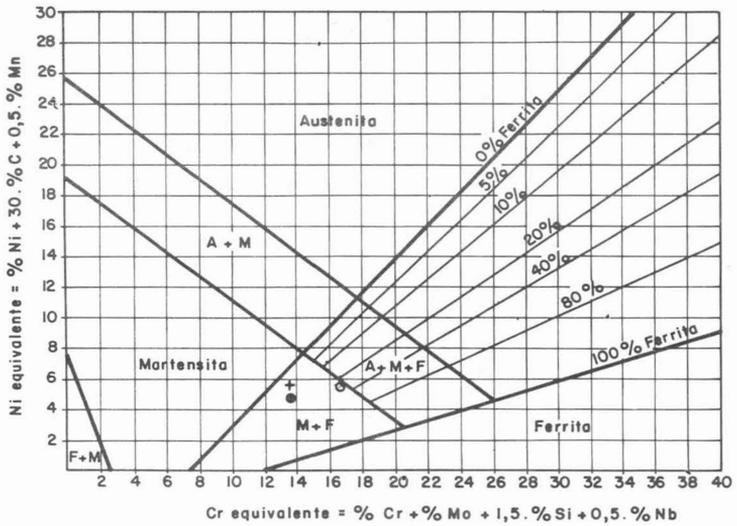
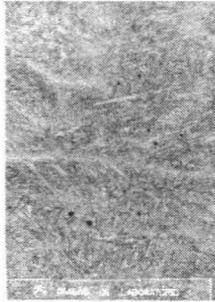


Fig. 3 - DIAGRAMA DE SCHAEFFLER



ASTM A 743 Gr CA 6NM.

Matriz: Martensita revenida.

Observa-se uma pequena porcentagem de ferrita delta.



Aço Inox 17 Gr 4Ni.

Matriz: Martensita revenida.

Observa-se uma pequena porcentagem de ferrita delta.

Figura 4 - Microestrutura típicas dos aços ASTM A 743 CA 6NM e Aço Inox 17 Cr 4 Ni, após t \hat{e} mpera ao ar e revenimento.

Ataque: Villela. Aumento: 100X.

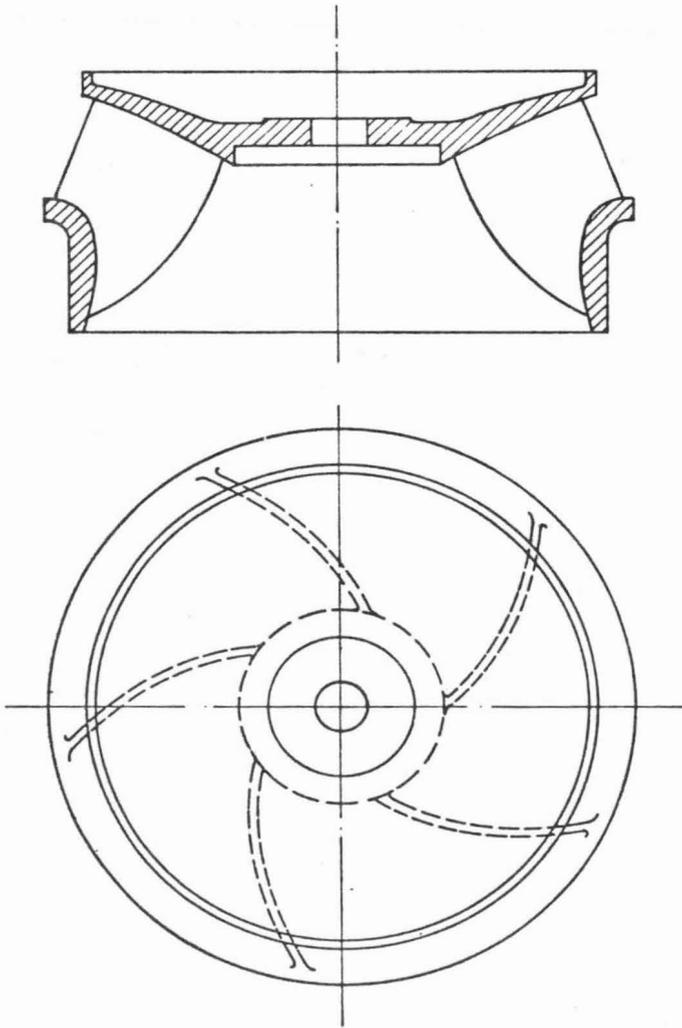


Fig. 5 - ROTOR FRANCIS MONOBLOCO

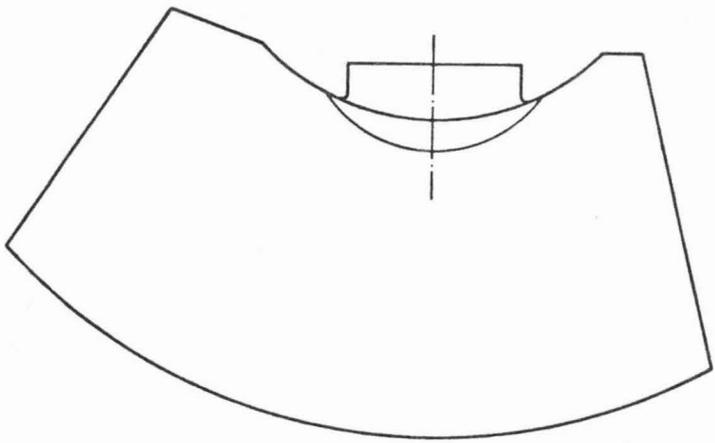


Fig.6 - PÁ KAPLAN