

**Desenvolvimento de Equipamento e Procedimentos e Aplicação de uma Liga  
Experimental para Soldagem PTA-P Sobre-Cabeça**

*<sup>1</sup>Jônathas Alexandre Alves, <sup>1</sup>Jair Carlos Dutra, <sup>1</sup>Régis Henrique Gonçalves e Silva  
<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica,  
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

*[jonathas@labsolda.ufsc.br](mailto:jonathas@labsolda.ufsc.br)*

**Resumo**

Acometidas pelo fenômeno da cavitação, pás das turbinas hidráulicas de usinas hidrelétricas exigem operações de reparo ainda passíveis do desenvolvimento de tecnologia no campo da Soldagem. Neste contexto, o laboratório de soldagem da UFSC – LABSOLDA propõe conferir flexibilidade e robustez ao processo PTA-P buscando a aplicabilidade deste em qualquer posição de soldagem e para diferentes pós. A utilização do material consumível na forma de pó pelo referido processo permite a elaboração de misturas, viabilizando experiências que visam a concepção de uma liga de propriedades especiais para aplicação na recuperação dos geradores. Para isso, foi necessário o desenvolvimento do ADP VR-F, um alimentador de pó capaz de garantir a adição regular do consumível para soldas em posições forçadas, sem depender de altas vazões de gás, da morfologia e da faixa de granulometria dos materiais aportados. Este trabalho explana a essência do projeto mecânico e a estrutura eletroeletrônica básica para seu funcionamento e controle. O desempenho do ADP VR-F foi avaliado submetendo-o a testes estatísticos, que mostraram repetitividade e linearidade no aporte de materiais triturados e atomizados de diversas faixas de granulometria. Também permitiu a soldagem PTA-P na posição sobre-cabeça, enviando o material de aporte de forma constante e eficiente, com vazões de gás compatíveis com níveis normais. Os testes envolveram a deposição de uma mistura de duas ligas, cujos resultados, quando submetida a ensaio de cavitação acelerada, mostraram uma melhoria de desempenho em relação a um material comumente utilizado nesta aplicação, mas ainda aquém de outra liga comercial dedicada.

**Palavras-chave:** turbinas hidráulicas; cavitação; PTA; alimentador de pó; mistura experimental.

**Abstract:** Damaged by the cavitation phenomenon, hydraulic turbine blades of hydroelectric plants require repair operations, which still have potential for technology development in the welding field. In this context, the welding laboratory of UFSC – LABSOLDA proposes to provide flexibility and robustness to the PTA process searching its applicability in any welding position and for different powders. The utilization of filler material in powder form by that process permits preparation of mixtures, enabling experiments aimed at designing an special properties alloy for application in generators recovery. For this, the development of ADP VR-F was necessary, consisting in a powder feeder able to assure regular consumable feed for forced position welds, without depending on high gas flows, morphology and range of particles sizes. This paper depicts the essence of mechanical design and basic electronic structure for its operation and control. The ADP VR-F performance was evaluated by subjecting it to statistical tests that showed repeatability and linearity for feeding various particles size ranges of crushed and atomized materials. It also allowed PTA welding on the overhead position, carrying the powder material consistently and efficiently, with gas flow rates consistent with normal levels. The tests involved the deposition of a two alloys mixture, whose results, when subjected to accelerated cavitations test showed an improved performance in relation to a material commonly used in this application, but still lower than other dedicated commercial alloy.

**Keywords:** hydraulic turbines; cavitation; PTA; powder feeder; experimental mixture.

**1. INTRODUÇÃO**

Por possuir um imenso potencial hídrico, o Brasil tornou-se altamente dependente de usinas hidrelétricas para o suprimento da demanda energética, imposta pelas atividades sociais [1]. Todavia, grande parte usinas

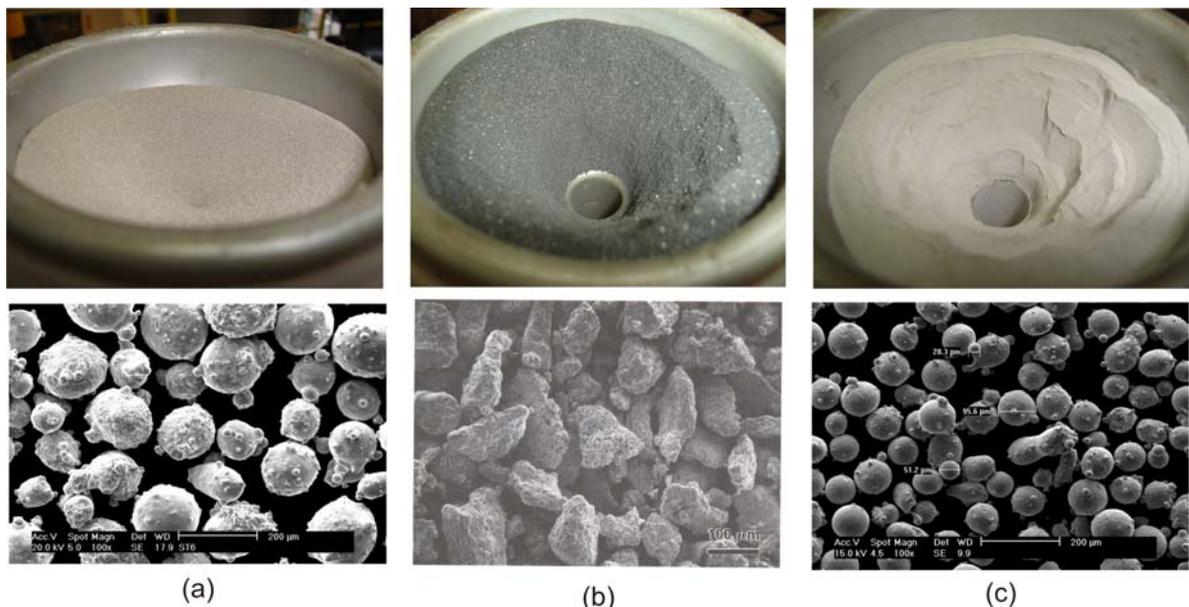
tem sofrido com a cavitação das pás de suas turbinas, um mecanismo de desgaste erosivo, provocado pelo colapso de micro-bolhas de ar rentes à superfície das pás [2]. A erosão modifica o seu formato original, reduzindo o rendimento dos geradores.

A reconstrução das pás é efetuada por reposição de material via soldagem. Atualmente, o processo MIG/MAG Pulsado com Pulsção Térmica é utilizado com resultados satisfatórios em algumas usinas nacionais. Este processo foi desenvolvido pelo LABSOLDA para aplicação de uma liga especial comercial, de alta resistência à cavitação (CAVITEC) [3].

Devido a suas características processuais, o PTA-P pode atingir menores níveis de diluição, melhor acabamento superficial [4,5] e melhor controlabilidade da poça, que é mais calma. Assim, se pode reduzir o número de passes para obtenção da composição química desejada na superfície e quantidade de remoção de material em retrabalho.

A utilização do material de adição na forma de pó também pode auxiliar a concepção de ligas experimentais a partir de misturas de pós metálicos [6], o que permite propor a formulação de uma liga com propriedades especiais para ser aplicada às turbinas.

Estas atividades dependem de um alimentador de pó, ou ADP, que possibilite o controle eficiente da taxa de alimentação em malha aberta e o transporte pneumático de materiais para depósitos PTA-P em qualquer posição de soldagem. Além disso, é desejável, para expansão das possibilidades, que o equipamento permita operação com pós de diferentes características morfológicas e granulométricas (e, conseqüentemente, diferentes escoabilidades), pois determinados materiais a serem misturados podem ter sido obtidos por diferentes métodos de fabricação. Como exemplos, a Figura 1 mostra pós produzidos por trituração e por atomização. Portabilidade que permita seu transporte e instalação entre as turbinas das pás, juntamente com os soldadores, também é uma premissa.



**Figura 1. Aspectos morfológicos, granulométricos e de escoamento de alguns pós. a) pó tradicional PTA-P com +53-200 µm; b) pó triturado com +30-200 µm; c) pó atomizado com +50-100 µm.**

Neste contexto, a primeira concepção avaliada, apresentada na Figura 2 é o chamado alimentador do tipo Fuso. Apesar de ter sido utilizado durante a condução de um trabalho de doutorado [7], este conceito apresentou problemas de regularidade e repetitividade ao ser submetido a diferentes materiais e condições de alimentação (em [8]), daqueles utilizados na referida tese.

Já a análise de um alimentador comercial do tipo válvula rotativa, também mostrado na Figura 2, obteve resultados mais promissores. Apesar da necessidade de se aumentar a vazão de gás de arraste (o que pode trazer interferências indesejáveis ao processo) para alimentação em posições de soldagem forçadas, houve melhor desempenho na alimentação. Todavia, se mostrou incapaz de alimentar pós fora dos padrões morfológicos e granulométricos ideais [9] e apresentou dosagem fortemente influenciada pela granulometria, exigindo pré-calibração para cada material a ser utilizado.

Considerando as necessidades identificadas, este trabalho propõe o desenvolvimento de um alimentador de pó para o processo PTA-P, aplicando aprimoramentos tecnológicos ao conceito de válvula rotativa. O resultado deve permitir alimentação adequada para soldas em posições forçadas, assim como de materiais de

diferentes características morfológicas. Como uma das metas de validação, se visa aplicar uma mistura de duas ligas em posição sobre-cabeça, a ser analisada e caracterizada.

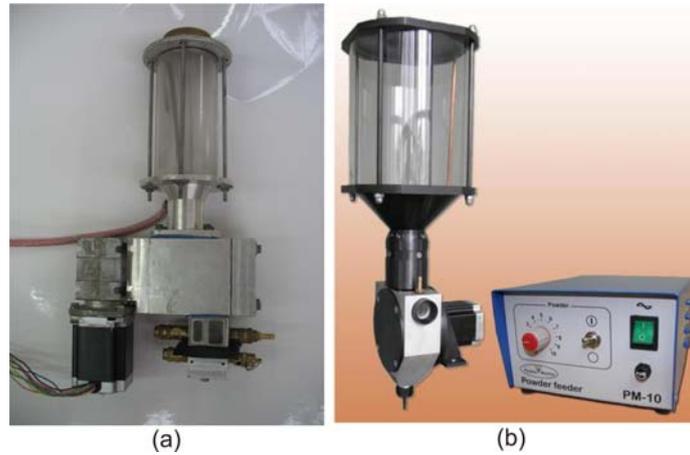


Figura 2. Alimentadores de pó avaliados em testes de soldagem PTA-P: a) tipo fuso; b) tipo válvula rotativa.

## 2. PROCESSO PTA-P

O PTA-P consiste em uma modalidade do processo de soldagem Plasma ou PAW (do inglês *Plasma Arc Welding*). Neste processo, o eletrodo de tungstênio (na tocha) foi confinado em uma câmara metálica refrigerada à água chamada bico constritor. O objetivo é gerar um arco com alta concentração de energia, expelido em forma de feixe por um orifício no centro do bico constritor. A Figura 3 esquematiza o processo PTA-P, relacionando a tecnologia da tocha com os principais componentes da bancada.

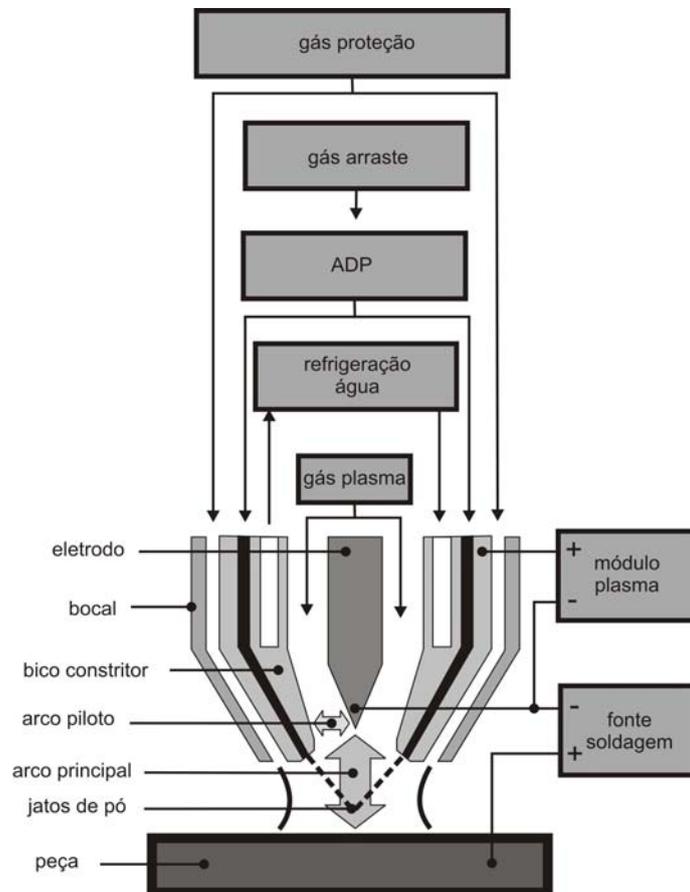


Figura 3. Equipamento universal para a soldagem PTA-P.

O confinamento do eletrodo exige um meio para a abertura do arco. Neste processo, o arco de soldagem é estabelecido com a ajuda de um arco auxiliar, ou arco piloto. Para obtê-lo, é utilizado o módulo plasma, uma fonte de energia alternativa (fonte de corrente) conectada ao eletrodo e ao bico constritor. Esta fonte possui um ignitor de alta frequência que, ao atuar, aquece uma determinada região de um fluxo de gás (geralmente argônio por apresentar fácil ionização), produzindo um arco capaz de fechar o circuito para a atuação da fonte de corrente.

Além destas características, a tocha de soldagem PTA-P possui um bocal que envolve o bico constritor. Entre estes dois componentes flui o gás de proteção (normalmente argônio) que expurga o ar atmosférico na região da solda. A tocha também apresenta canais de alimentação de pó. Nestas vias, as partículas passam carregadas pelo gás de arraste (geralmente é utilizado argônio), transportadas pneumaticamente a partido do ADP, onde o gás é inserido. Os jatos de pó se interceptam dentro do arco, onde as partículas são fundidas.

O fluxo de gás plasma, ionizado ao atravessar o arco piloto, transforma-se em uma espécie de condutor gasoso, gerando um caminho preferencial para a abertura do arco de soldagem. Ao estabelecer a diferença de potencial da fonte de soldagem, o arco é transferido para a peça, fundindo-a juntamente com o pó metálico.

### 3. ADP VR-F

A concepção de um novo modelo de alimentador de pó para o processo PTA-P, chamado de ADP VR-F, foi realizada com vistas à aplicação vislumbrada, ou seja, soldagem fora de posição. Devia também ser compacto, para permitir transporte e instalação em ambientes restritos, assim como ser robusto a morfologias não ideais de partículas. A Figura 4 apresenta o ADP VR-F, primeiramente modelado em ambiente CAD e o protótipo construído.

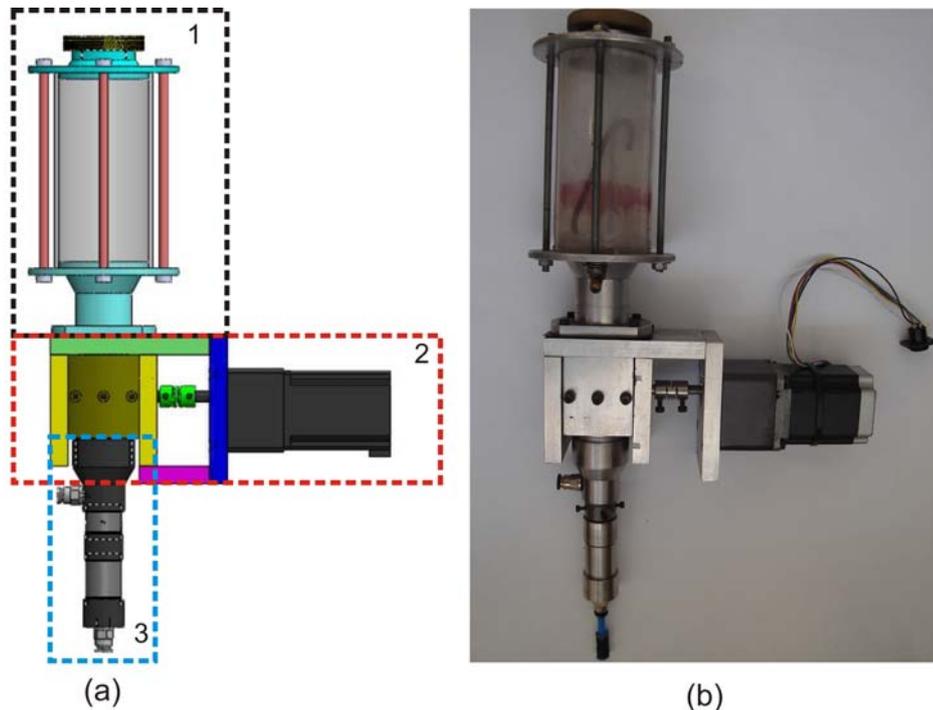


Figura 4. Noção geral do ADP VR-F: a) o ADP VR-F constituído por um silo (1), a válvula rotativa de dosagem volumétrica (2) e o fluidizador (3); b) o protótipo fabricado.

#### 3.1. Componentes Mecânicos do ADP VR-F

A válvula rotativa é constituída basicamente pelos elementos destacados na Figura 5. Sua construção visa dosagem contínua de volume fixo, simplificar o controle e dispensar pré-calibração.

O cilindro de dosagem possui cavidades defasadas e gira com interferência dentro de um alojamento envolto por uma manta polimérica (vedação), resistente ao desgaste e ao rasgamento. Quando as cavidades alcançam a base do silo, são preenchidas com partículas de pó. No canal de queda é acoplado o normalizador de dosagem, para que a dispensa de partículas se dê somente após determinado nível de subida. Assim, a

quantidade de material liberado corresponde somente à porção da cavidade que passa deste limite. O cilindro foi projetado para dispensar 1,02 cm<sup>3</sup> por volta completa.

As partículas metálicas são dispensadas pela válvula rotativa e caem na base do fluidizador, também detalhado na Figura 5. Foi projetado para ejetar partículas contra a gravidade, fazendo com que o transporte pneumático independa das características granulométricas e morfológicas dos pós.

As partículas se acumulam em forma de leito, expandido por um jato de gás (de arraste) que passa por um orifício retrátil no colchão de borracha. Os grãos atingidos são arremessados para cima em alta velocidade e encaminhados pelo anel direcionador ao captador de pó, componente que os guia até a conexão de saída e, através da linha de transporte pneumático, para a tocha.

A formação do leito deve amortecer eventuais perturbações na dosagem que possam vir a comprometer a continuidade dos jatos de partículas. A alta velocidade do jato de gás deve permitir o transporte das partículas com vazões de gás semelhantes aos valores tradicionais, isto é, cerca de 2 l/min.

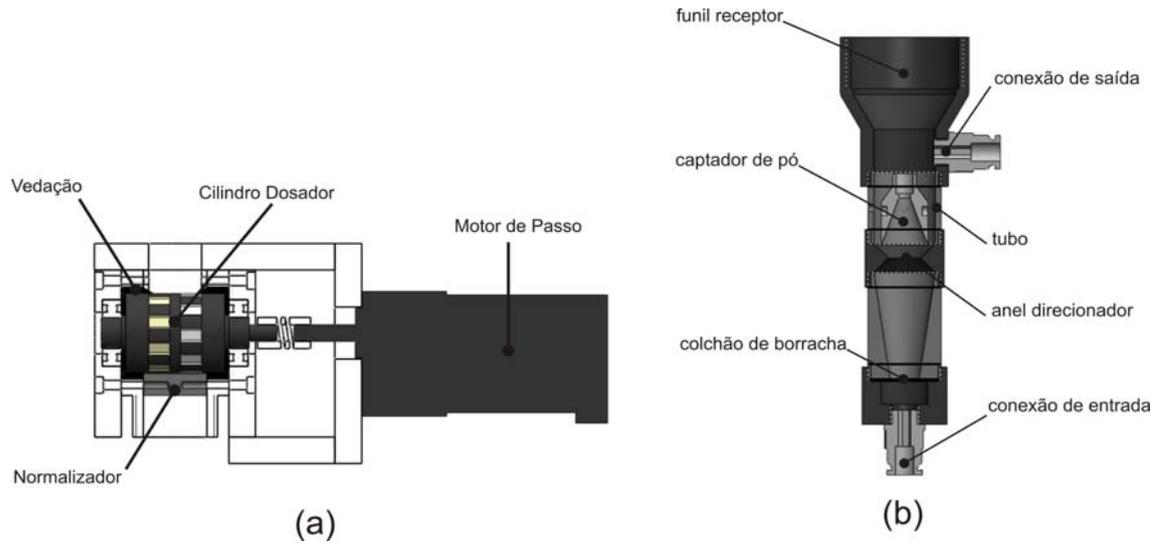


Figura 5. Principais componentes mecânicos do ADP VR-F: a) Válvula rotativa de dosagem volumétrica; b) Fluidizador.

### 3.2. Acionamento e Lógica de Controle

A carência de um transdutor capaz de medir o fluxo de pó no transporte pneumático restringe o desenvolvimento de um sistema de alimentação ao controle em malha aberta. A utilização de um motor de passo (com redução de 20/1 para acionar a alta carga oferecida pelo atrito da válvula) permite com simplicidade esta forma de controle, de acordo com o esquema da Figura 6. O ajuste da taxa de alimentação pode ser feito pela variação da velocidade ( $\omega$ ) do motor. Como a válvula rotativa fixa o volume ( $Vg$ ), a velocidade depende da taxa mássica ( $txm$ ) desejada e da densidade aparente ( $\rho$ ) do pó, podendo ser determinada pela equação (1).

$$\omega = \frac{txm}{\rho \cdot Vg} \quad (1)$$

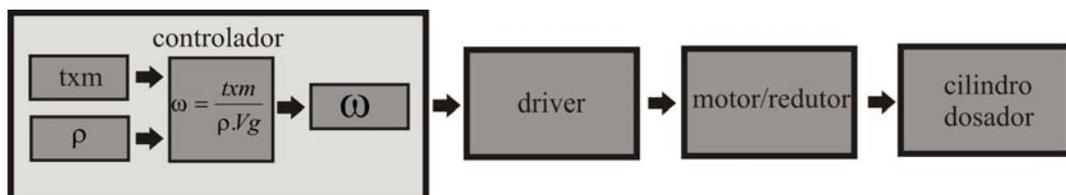


Figura 6. Esquema de acionamento e lógica básica de controle do ADP VR-F.

## 4. LIGA EXPERIMENTAL

As ligas foram mescladas de maneira que a mistura apresentou 12% de Co (elemento contributivo na resistência à cavitação). Nesta primeira tentativa, não se levou em conta a perda de elementos, fator a ser

estudado em etapas posteriores. Este teor é aproximado ao apresentado por uma liga comercial anti-cavitação. Apresenta resistência à cavitação semelhante ao Stellite 6 que, por sua vez, possui 70% Co em sua composição e confere o melhor desempenho de resistência à cavitação dentre as já investigadas no Labsolda.

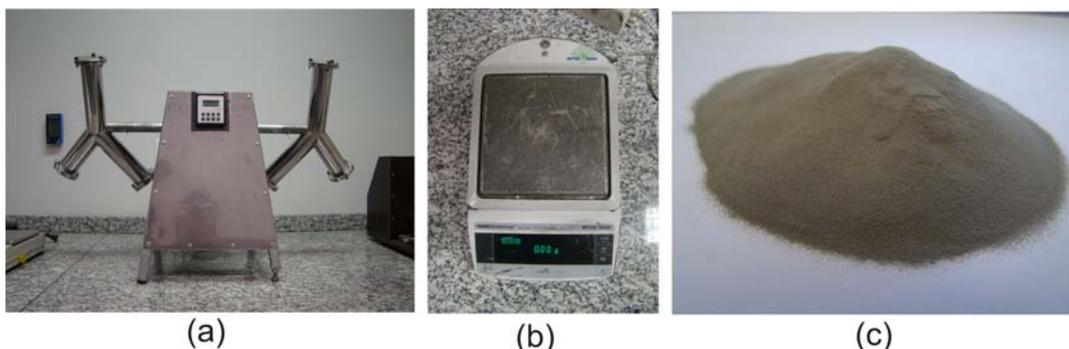
Em contrapartida, o Stellite 6 apresenta alta susceptibilidade a trincas, por apresentar elevada dureza. Este fator, aliado ao seu alto custo (relacionado à quantidade de Co), tem impedido sua aplicação no reparo das turbinas.

Já o Inox 316L, não possui Co em sua constituição e apresenta um baixo desempenho contra a cavitação. Por outro lado, é um material de boa soldabilidade, geralmente não forma trincas e é mais barato que o Stellite 6. A Tabela 1 revela a composição nominal das ligas envolvidas e da mistura resultante, a qual foi denominada STENOX 1783. Os valores nominais da constituição do Stenox 1783 foram encontrados via cálculos percentuais, resultando da proporção de 17% de Stellite 6 e 83% de Inox 316L.

**Tabela 1. Composição nominal das ligas e da mistura.**

LIGAS	ELEMENTOS								
	Fe	Cr	Ni	Co	Mo	Mn	Si	C	N
<b>Stellite 6</b>	-	28	-	70,1	-	0,5	0,3	1,1	-
<b>Inox 316</b>	68,5	16,2	11,2	-	2,5	0,9	0,7	0,05	-
<b>Anti-Cavitação</b>	60,6	17,0	-	9,0	-	10,0	-	0,2	0,2
<b>Stenox 1783</b>	56,8	18,2	9,3	12,0	2,1	0,8	0,6	0,2	0,04

A mistura dos materiais foi realizada inserindo-se as proporções mássicas correspondentes a cada liga (medidas com uma balança de precisão) em um misturador Y. Para garantir homogeneidade, a máquina misturou os pós a uma velocidade de 20 rpm durante 2 horas. A Figura 7 apresenta os materiais envolvidos na mistura dos pós.



**Figura 7. Mistura dos materiais: a) misturador de pó; b) balança de precisão; c) pó Stenox 1783.**

## 5. ATIVIDADES DE VALIDAÇÃO DO ADP VR-F

Os aspectos de portabilidade do protótipo foram conferidos medindo a sua massa em uma operação simples de pesagem e conferindo as medidas reais com os valores extraídos do projeto em CAD.

A validação do ADP VR-F foi efetuada por meio da realização de testes estatísticos, com a finalidade de avaliar a dosagem volumétrica da válvula rotacional. A capacidade de fluidização e transporte pneumático do equipamento foi testada em uma operação de soldagem sobre-cabeça. A Figura 8 apresenta as bancadas utilizadas para os testes.

As experiências estatísticas foram realizadas conectando-se o ADP VR-F a um cilindro de argônio (com vazão controlada por uma válvula realimentada) e à tocha de soldagem, por meio da mangueira de transporte pneumático. De acordo com a rotação e número de voltas inseridos na unidade de controle, o material era dispensado pela tocha no recipiente. Ao fim da tarefa, coletava-se o dado indicado pela balança. As experiências foram realizadas com os materiais relacionados na Tabela 2.

**Tabela 2. Pós metálicos submetidos à dosagem e transporte pelo ADP VR-F.**

Material	Morfologia	Faixa Granulometria	Densidade Aparente
Cogne 150	Atomizado	+50-150 $\mu\text{m}$	4,48 g/cm <sup>3</sup>
Cogne 200	Atomizado	+53-200 $\mu\text{m}$	4,60 g/cm <sup>3</sup>
Mogul	Atomizado	+53-150 $\mu\text{m}$	4,48 g/cm <sup>3</sup>
FeNi	Triturado	+30-200 $\mu\text{m}$	2,58 g/cm <sup>3</sup>

Nota: Valores de densidade aparente fornecido pelos fabricantes dos pós.

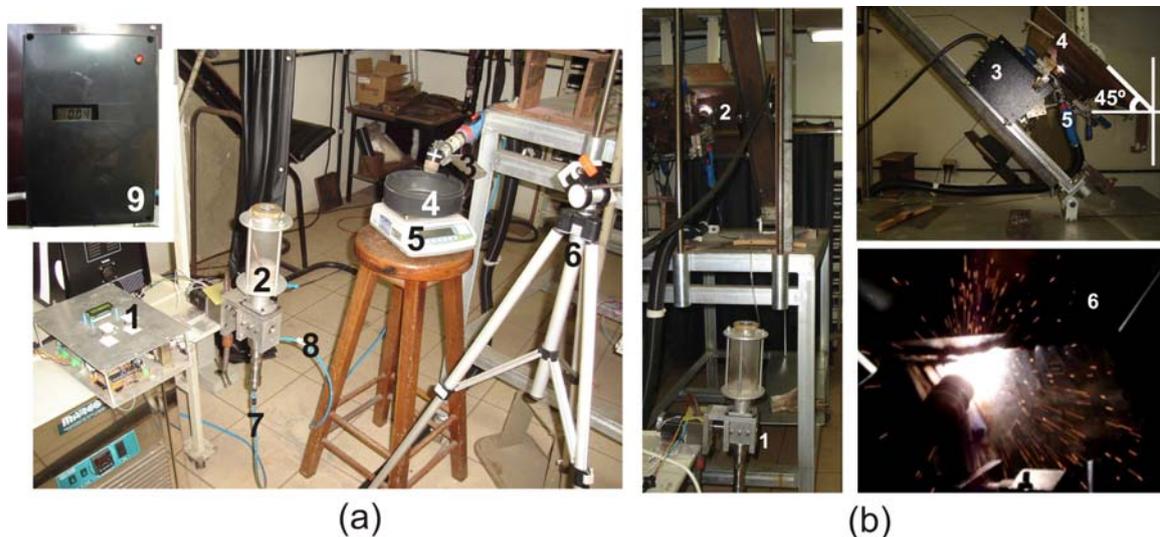
Para a análise da repetitividade foi realizada uma série de medidas de massa dispensada por uma volta completa do cilindro, operando com o pó Cogne 150 (de densidade aparente conhecida). Esta atividade permite comparar o volume teórico projetado para cada volta com o valor realmente dosado. Tomando este valor como referência, a mesma experiência foi realizada para os outros pós, e os resultados de dosagem volumétrica comparados.

As experiências com o objetivo de avaliar a linearidade da dosagem volumétrica consistiram em medir a massa de pó dispensada em função da rotação do cilindro. O ADP VR-F foi programado para executar o número de voltas desejadas dentro de 1 minuto.

A operação de soldagem envolveu uma chapa de aço ABNT 1020, recoberta por uma camada de amanteigamento com aço Inox 309 e produzida por meio do processo de soldagem MIG/MAG Pulsado Sinérgico. A região do amanteigamento foi revestida, em parte, por duas camadas de depósitos de Stenox 1783 produzidos com o processo PTA-P na posição sobre-cabeça a 45°, valendo-se dos parâmetros relacionados na Tabela 3.

**Tabela 3. Variáveis e parâmetros adotados para a soldagem PTA-P.**

Parâmetros e Variáveis	Valores	Unidades
Corrente de Soldagem	140	A
Amplitude	15	mm
Frequência	0,7	Hz
Velocidade de Soldagem	8	cm/min
Vazão de Gás Plasma	2	l/min
Vazão de Gás de Proteção	19,0	l/min
Vazão de Gás de Arraste	2,5	l/min
Distância Bico-Peça	10	mm
Recuo do Eletrodo	3,5	mm
Orifício Constritor	4	mm
Diâmetro do Eletrodo	4	mm
Ângulo de Alimentação	75	grau
Taxa de Alimentação	1,5	kg/h



**Figura 8. a) bancada de ensaios para testes estatísticos: 1- unidade de controle; 2- ADP VR-F; 3- tocha; 4- recipiente; 5- balança; 6- suporte de máquina fotográfica; 7- mangueira de gás de arraste; 8- mangueira de transporte pneumático; 9- válvula controladora de vazão. b) bancada para soldagem sobre-cabeça: 1- ADP VR-F; 2- região de soldagem; 3- sistema de deslocamento de tocha, 4- mesa de soldagem; 5- tocha; 6- soldagem.**

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os aspectos de portabilidade do protótipo podem ser conferidos na Tabela 4. As características operacionais, também especificadas nesta tabela, se baseiam apenas nas experiências realizadas, sendo classificados como preliminares.

**Tabela 4. Dados Técnicos do Protótipo ADP VR-F.**

Dados	Especificações
Massa	4,3 kg
Dimensões (altura x largura x espessura)	42,7 x 24,2 x 10,3 cm
Faixa Granulométrica	30 a 200
Morfologia das Partículas	Esféricas ou Irregulares
Taxa Máxima de Dosagem Volumétrica	11,7 cm <sup>3</sup> /min
Máxima Taxa Mássica ( $\rho=4,5$ g/cm <sup>3</sup> )	3,15 kg/h

Os valores que revelam o comportamento de refeitividade volumétrica do ADP VR-F para cada material testado estão relacionados na Tabela 5. Foram obtidos pela relação entre os valores de massa indicados pela balança e a densidade aparente de cada material.

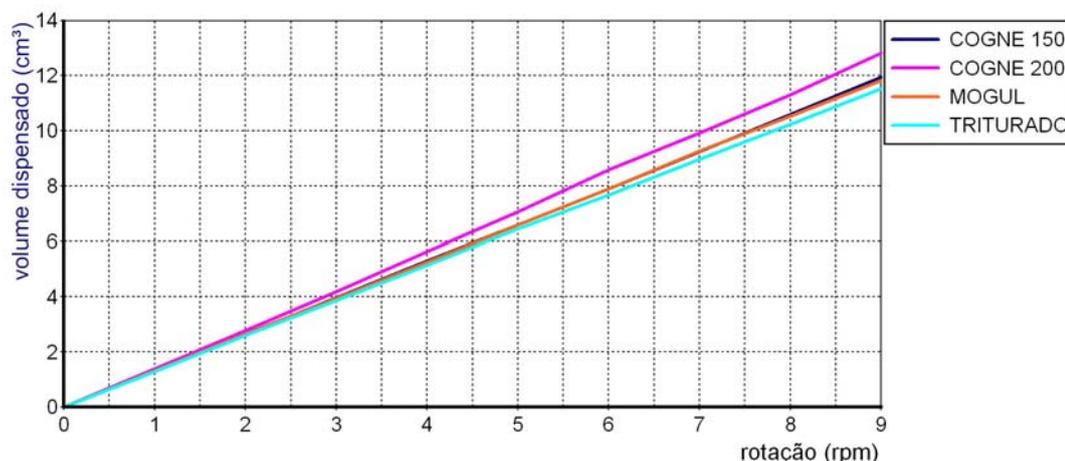
**Tabela 5. Valores de dosagem volumétrica em cm<sup>3</sup> para os materiais envolvidos.**

Material	Cogne 150	Cogne 200	Mogul	Triturado
Média	1,312	1,389	1,328	1,298
Desvio Padrão	0,005	0,005	0,014	0,031
Máximo	1,317	1,391	1,339	1,337
Mínimo	1,306	1,380	1,306	1,260

Adotando o volume médio do pó Cogne 150 como o valor real de dosagem, o ADP VR-F apresentou um erro sistemático de aproximadamente 22% em relação ao projetado. Em contrapartida, o desvio-padrão acusa um comportamento repetitivo, pois representa apenas 0,4% do valor médio.

A média volumétrica do pó Cogne 200 foi superior à referência em cerca de 6%, enquanto o desvio se igualou. O volume para o pó Mogul foi maior em 1,2%. O pó FeNi apresentou dosagem volumétrica 1,7% inferior à referência e um desvio-padrão equivalente a 2,4% do volume real.

Observando o gráfico da Figura 9 pode-se notar a regularidade nas curvas de todos os materiais manipulados pelo ADP VR-F, apresentando características lineares na dosagem volumétrica. A curva do pó Cogne 200 apresentou maior inclinação.

**Figura 9. Linearidade volumétrica apresentada pelo ADP VR-F na alimentação dos materiais.**

Em respeito à soldagem como a mistura Stenox 1783, um teste de análise química permitiu conhecer a composição da liga resultante após soldada. A Tabela 6 relaciona a percentagem de cada elemento presente na liga, na área polida e na região cavitada.

**Tabela 6. Composição resultante da mistura Stenox 1783.**

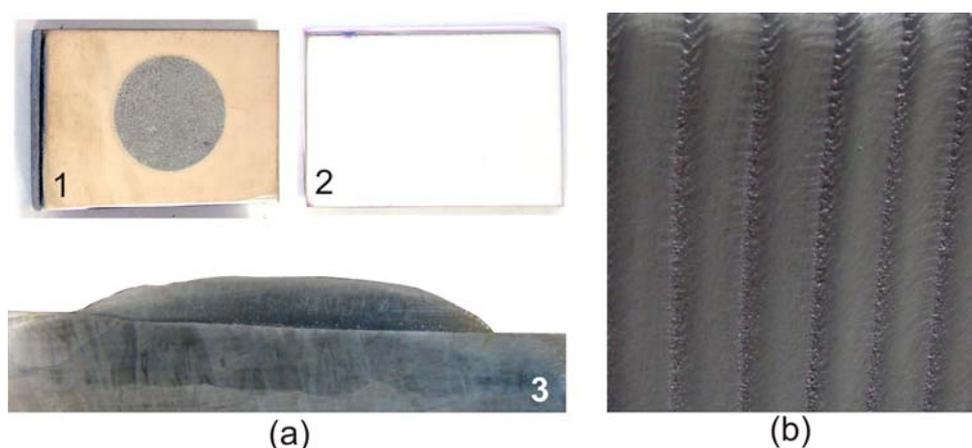
Elementos	Fe	Cr	Ni	Co	Mo	Mn	Si	C	N
Polida	52,8	18,5	12,3	11,8	1,7	1,9	0,9	-	-
Cavitada	52,4	19,5	11,4	12,3	1,3	2,4	0,6	-	-

Ao avaliar a composição da região cavitada e da não cavitada, pode-se observar que a perda de massa foi promovida, principalmente, pelo elemento Níquel, responsável por mais de 8% das perdas. Percentualmente,

o Molibdênio e o Silício foram os mais afetados pela cavitação, apresentando perdas de 20,7 e 26,4 % respectivamente, Porém, não conferem grande influência já que estão presentes em menores proporções.

Elementos como o cobalto, o cromo e o manganês mostraram-se mais resistentes. O acréscimo dos seus percentuais na região cavitada da liga, significam que estes materiais não apresentaram perdas significantes frente ao fenômeno da cavitação.

As características do corpo de prova antes e após o ensaio de cavitação, bem como a macrografia de um dos cordões (que apresentou 5,37% de diluição) e um detalhe da superfície do revestimento são ilustradas pela Figura 10. De acordo com um ensaio de líquidos penetrantes, o procedimento produziu depósitos isentos de defeitos. A regularidade da superfície e do formato dos cordões reflete qualidade na dosagem e transporte de material de adição durante todo o processo.



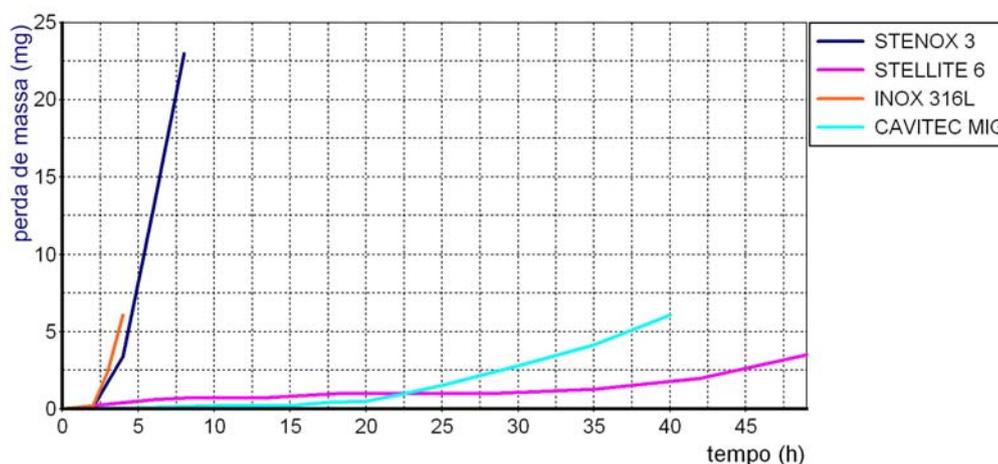
**Figura 10. a) Ensaios: 1- cavitação acelerada; 2- líquidos penetrantes; 3- macrografia. b) aspecto superficial do revestimento.**

Os testes realizados no corpo de prova permitiram conhecer a dureza da liga resultante, expostos na Tabela 7 juntamente com os valores de dureza das ligas que integram a mistura.

**Tabela 7. Valores de dureza Vickers das ligas envolvidas.**

Liga	Inox 316L	Stellite 6	Stenox 1783
Dureza Média	345,2	609,3	221,6
Desvio Padrão	10,2	31,5	12,8
Amplitude	27	55	48
Máximo	358	628	239
Mínimo	331	573	191

O gráfico da Figura 11 apresenta a curva de desempenho de resistência à cavitação da liga Stenox 1783. As curvas do Stellite 6, do Inox 316L e da liga comercial anti-cavitação também são apresentadas, esta última depositada pelo processo MIG Pulsado com Pulsação Térmica.



**Figura 11. Curvas de desempenho na resistência à cavitação dos materiais envolvidos.**

Analisando as características do Stenox 1783 relacionadas aos requisitos necessários a restauração das turbinas, pode-se concluir que, mesmo apresentando um melhoramento, a mistura não conferiu desempenho relevante contra a cavitação. Entretanto a melhoria da resistência a este fenômeno foi acompanhada por uma tímida redução da dureza, o que é interessante a um material para a aplicação almejada.

## 7. CONCLUSÕES

O ADP VR-F atendeu aos requisitos do projeto de maneira satisfatória. Foi concebido dentro de características de peso e dimensões que asseguram sua portabilidade e permitiu o controle em malha aberta da dosagem volumétrica tanto do pó triturado como dos materiais atomizados usados nos testes.

A diferença entre o volume teórico e o real, pode ser atribuída a uma possível redução do ajuste de interferência entre o cilindro e a vedação, o que pode aumentar a amplitude de deformação elástica da manta e, com isso, expandir a capacidade de dosagem.

A soldagem PTA-P na posição sobre-cabeça foi possibilitada pelo ADP VR-F, que conferiu ao processo eficiência e robustez na dosagem e transporte de material, utilizando vazões ligeiramente maiores que as tradicionais. A uniformidade, regularidade e semelhança superficial entre os cordões que compuseram o revestimento são indicativos de bom desempenho na dosagem e transporte da mistura metálica. A isenção de poros e o baixo grau de diluição validam o procedimento adotado e a operacionalidade do processo PTA-P na posição em que foi aplicado.

O estudo das propriedades do Stenox 1783 indica plenas possibilidades ao desenvolvimento, via PTA-P, de uma liga com propriedades otimizadas ao reparo das turbinas, uma vez havendo conciliação das propriedades mecânicas de interesse na liga obtida. A aplicação do ADP VR-F nesta tarefa permite a obtenção de ligas a partir da mistura de materiais triturados ou atomizados, o que dinamiza as atividades de mistura, empregando pós de fácil acesso no mercado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Matriz Energética Brasileira. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=45&idPerfil=2>. Acesso em 12 de maio de 2010.
- [2] RIBEIRO, H.O. Desenvolvimento de Ligas Para Revestimentos por PTA Resistentes à Cavitação: 2007. 4p. Tese de Doutorado – Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.
- [3] DUTRA, J.C.; SILVA, R.H.G. Thermal-Pulsed MIG/MAG Welding Applied To The Repair of Cavitation Erosion on Large-Scale Hydraulic Turbines: Welding and Cutting, Düsseldorf, Germany, v. 8, n. 1, p. 27-30, 2009.
- [4] RAGU, D.; WEBBER, R. PTA Proves its Worth in High Volume Hardfacing Job. Welding Journal, v. 75, n. 2, p. 34-40. Miami, fev. 1996.
- [5] Arcraft Plasma Website. Disponível em: [WWW.arcrafterplasma.com](http://WWW.arcrafterplasma.com). Acesso em 25 de março de 2009.
- [6] MENON, R.; MOSIER, W.C. Stainless Steel With Improved Weldability and Cavitation Resistance. Article – Stoodly Company, Bowling Green, USA.
- [7] DÍAZ, V.M.V. Inovação do Equipamento e Avaliação do Processo Plasma de Arco Transferido Alimentado Com Pó (PTAP) Para Soldagem Fora de Posição: 2005. Tese de Doutorado - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.
- [8] NIÑO, C.E. Avaliação de ADP Tipo Fuso Para Soldagem PTA-P Sobre-Cabeça: 2008. Relatório Interno Labsolda – Depto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.
- [9] ALVES, J.A. Avaliação de ADP Tipo Válvula Rotativa Para Soldagem PTA-P Sobre-Cabeça: 2009. Relatório Interno Labsolda – Depto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.