



Metodologia e Planejamento Experimental.

1 Procedimentos de planejamento experimental.

Cada vez menos sustenta-se a tese de que o modo científico adequado para conduzir um experimento seja o de variar um fator ou variável por vez, permanecendo fixos os remanescentes. Isto porque esta metodologia requer a realização de muitos experimentos, e não possibilita identificar se o efeito pode ser atribuído a uma ou outra variável que foi mudada ou a uma combinação particular dos conjuntos das variáveis consideradas constantes. Conseqüentemente, para ter confiança nos resultados obtidos, adicionam-se mais experimentos. Esta metodologia, portanto, não pode ser utilizada nesta pesquisa que necessita avaliar o efeito de muitos parâmetros e variáveis, o que demandaria uma quantidade muito elevada de experimentos.

Além desse tipo de experimentos, são muito utilizados também os chamados planejamentos de experimentos completos ou saturados em que todas as combinações possíveis de observações entre fatores e níveis são consideradas. Neste caso, em que pese a precisão dos resultados, tem-se, mesmo para pequeno número de fatores e níveis, uma quantidade muito grande de ensaios. Esta característica onera muito a realização prática do experimento tanto em termos financeiros, de recursos humanos e de material, quanto em termos de tempo exigido.

Uma forma mais econômica para pesquisar problemas de vários fatores é a utilização de experimentos fatoriais fracionados (frações de experimentos completos), arranjando os fatores e observações de acordo com um plano em que todos os fatores variam simultaneamente. Fazendo a escolha adequada, é então possível determinar, não somente o efeito de cada fator, mas também o

modo que cada um deles interage com os demais. Isto proporciona um experimento mais eficiente tanto com relação ao que seria obtido variando cada fator de uma vez quanto com relação ao que seria obtido utilizando o planejamento experimental completo ou saturado. Neste caso, maior eficiência se traduz pela obtenção de maior conhecimento e um bom grau de precisão nas estimativas dos efeitos com o mesmo número de repetições e um número bem menor de observações ou ensaios.

Os experimentos fatoriais possuem esta característica. Tais experimentos vêm sendo usados há muitos anos em pesquisas nas áreas agrícola e biológica. Nestas, normalmente os experimentos são demorados, e em alguns casos podem levar anos para a obtenção das respostas. Assim, geralmente, estes planos são complexos, **com muitas repetições** e devem, sobretudo, ser muito bem elaborados, pois não se pode correr o risco de desperdiçar tamanho esforço. Todavia, também em experimentos tecnológicos, o custo e o tempo são pontos essenciais. Logo, não é viável empregar muitas repetições e os resultados precisam estar prontamente disponíveis. Com base nesta constatação inicial, nesta pesquisa focaliza-se atenção especial ao planejamento que utiliza a metodologia de **fatoriais fracionados**, que permitem a redução de observações do experimento e ainda assim, obtêm informações relevantes e confiáveis [1, 2].

À medida que o número de fatores a ser analisado aumenta, o número de experimentos necessários para a realização de um fatorial completo cresce geometricamente. Isto torna alto o custo da realização de tal plano. Para amenizar este problema, utiliza-se o **fatorial fracionado**, que é uma fração do completo, como o próprio nome sugere. No caso dos fatoriais fracionados a partir do 2^n , o número de experimentos restante continua sendo uma potência de dois. A notação utilizada para representar os fatoriais fracionados é a seguinte 2^{n-p} , onde $p < n$, onde n representa o número total de fatores, e $1/2^p$, a fração do fatorial 2^n desejada. O resultado 2^{n-p} indica o número de observações a serem realizadas [3].

Nos métodos de fatorial completo e fracionado, foram ressaltados os experimentos com fatores em vários níveis diferentes. A utilização de dois níveis é especialmente adequada para os

primeiros estágios de uma pesquisa, onde se estuda um grande número de fatores. Quando se suspeita que o efeito de algum fator não é linear, a utilização de apenas dois níveis não é adequada, pois não se consegue detectar a existência de curvatura. Em contrapartida, a utilização de mais níveis apresentam algumas desvantagens como: requer muitos experimentos, o que acarreta em um custo alto; quando se utilizam os fatoriais fracionados 3^{n-p} , as relações de confundimento não são triviais como nos fatoriais 2^{n-p} ; e a interpretação das interações torna-se mais complicada.

Em alguns casos, é preciso realizar o experimento em blocos e, nem sempre, o tamanho do bloco é suficiente para acomodar todos os tratamentos. No caso tratado no presente trabalho, pelas características dos fatores uma possível escolha para o arranjo dos tratamentos nos blocos implica, por exemplo, que o efeito da temperatura do preaquecimento e a temperatura ambiente do substrato poderia ficar confundido com a diferença entre blocos. Caso esta diferença fosse desprezível, poder-se-ia considerar que tal estimativa representa o efeito da temperatura ambiente. No entanto, isso contraria o princípio básico da utilização de blocos. O seu uso é indicado quando se suspeita que exista diferença entre eles. Conclui-se, então, que esta não é uma boa escolha.

Portanto, a análise de muitos parâmetros e variáveis poderia ser realizada em forma otimizada e simultânea utilizando a metodologia de fatoriais, incluindo ademais, caso necessário, vários níveis de experimentação dos fatores.

Esta classe de experimentos foi desenvolvida por Fisher nas décadas de 20 e 30, e posteriormente Taguchi utilizou os modelos fatoriais fracionados e arranjos ortogonais, propondo a conhecida metodologia de Taguchi ou planejamento robusto [4,5].

Algumas publicações [6-16] mostram a eficiência e a eficácia desta metodologia que tem a seguinte estrutura teórica básica [17]:

- Um arranjo ortogonal de s níveis, simbolizado por $OA_N (s^m)$, é uma matriz $N \times m$ cujas colunas tem a seguinte propriedade: cada par de colunas possui todas as combinações possíveis entre os níveis, aparecendo um número fixo de vezes dentro do arranjo ortogonal. Como exemplo, a tabela 4, a seguir, mostra o arranjo $OA_8(2^7)$, em que aparecem as combinações (0,0), (0,1), (1,0) e (1,1) duas vezes.

Tabela 4. Arranjo ortogonal $OA_8(2^7)$

Exp. No.	COLUNAS DE FATORES						
	A	B	C	D	E	F	G
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1

Taguchi usa os símbolos (0,1,2,3...,s) para identificar os níveis de um arranjo ortogonal. Os arranjos ortogonais podem ser vistos como planos de experimentos de múltiplos fatores, onde as colunas correspondem aos níveis de ensaio dos fatores, e as linhas correspondem aos experimentos (ensaios ou observações).

Uma das características da forma dos arranjos ortogonais de Taguchi é a de que os registros das colunas mais à esquerda mudam menos freqüentemente do que os das colunas mais à direita, ignorando o caráter aleatório. Quando esses arranjos são usados para planejar experimentos múltiplos fatoriais, o custo dos ensaios pode às vezes ser reduzido, associando-se as colunas mais à esquerda com os fatores de maior custo ou mais difíceis de variar.

De acordo com a metodologia do planejamento robusto, as variáveis que afetam as características de qualidade de um produto podem ser classificadas em três categorias: fatores de controle, fatores de ruído e fatores de sinal.

Os fatores de controle são variáveis cujos níveis podem ser especificados pelo projetista do produto. Exemplos deste tipo de fator são: pressão, tempo de exposição, etc. Estes fatores podem

ser classificados em quatro grupos com relação ao efeito produzido na distribuição de uma característica de qualidade:

- a) afetam tanto a média como a variância;
- b) afetam apenas a média (os chamados fatores de ajuste);
- c) afetam apenas a variância;
- d) não afetam nem a média nem a variância.

Normalmente, é mais fácil controlar a média do que a variância. Esta idéia é razoável, uma vez que é mais fácil trabalhar com fatores que deslocam a distribuição de uma característica de qualidade do que com aqueles que alteram a sua forma.

Os fatores de ruído representam as principais causas da variação de desempenho de um produto. Estes fatores não podem ser controlados durante o processo devido ao seu custo elevado ou às impossibilidades físicas (ex. condições climáticas). Os fatores de sinal são aquelas variáveis cujos níveis são determinados pelo usuário do produto.

A metodologia incentiva o uso da estatística para avaliar o desempenho dos produtos através da análise de variância ANOVA e, permite a representação gráfica (linear) dos graus de influência dos fatores com relação à propriedade que está sendo avaliada. A partir do conjunto de dados, executa-se a Análise de variância ANOVA sobre os arranjos ortogonais, das estatísticas de desempenho, de forma a obter os valores dos fatores de controle que otimizam as mesmas. A ANOVA consiste de uma técnica estatística que decompõe origens que justificam a variação total; na metodologia utilizada se reduz a variação total dos valores observados individuais em torno da média.

Após a obtenção da combinação “ótima” com base nos resultados do experimento, Taguchi sugere a realização de algumas provas sob esta combinação, que formam o chamado experimento de confirmação. O propósito deste experimento é comprovar a reprodução dos mesmos resultados, mantidas as condições ótimas obtidas durante o experimento.

A justificativa da utilização do Método de Taguchi para a realização das atividades experimentais em que se observam as características de qualidade (aderência e porosidade) estudadas, repousa sobre quatro diferenças básicas de direcionamento da metodologia e análise que existem entre Planejamento de Experimentos Clássicos e o aqui adotado [18].

Redução da variância

A idéia fundamental do planejamento de Taguchi se concentra em reduzir a variância de uma função qualidade de um produto tanto no laboratório quanto mais tarde em campo. O mesmo não acontece na teoria clássica de planejamento de experimentos. Nesta, supõe-se que a variância da característica de qualidade se mantém constante para todos os níveis dos fatores do modelo. Desta forma, ignora-se o problema da redução da variabilidade que é um problema crítico quando se trata do aperfeiçoamento da qualidade. O planejamento, utilizado neste trabalho, em lugar de assumir que a variância da resposta se mantém constante, acredita em sua mudança e procura por oportunidade de redução da mesma, mudando os níveis dos fatores de controle ou fatores principais.

Amostragem sistemática do ruído

Outra idéia chave do planejamento de Taguchi é a minimização da sensibilidade da característica de qualidade aos fatores de ruído (fatores que não podem ser controladas durante a produção ou uso do produto, que são difíceis de controlar, ou cujo controle é muito caro). Assim, nos experimentos realizados, as características de qualidade foram medidas em pontos específicos dos cps. Isto garante que o efeito dos fatores de ruído fica igualmente distribuído em todas as observações do experimento.

Diferenças na realização do experimento.

Quando se permite a colocação dos fatores, designando-os cada um a uma coluna da matriz de experimentos, tem-se o chamado “experimento saturado”, em que as interações duplas estão

confundidas com efeitos principais. Os experimentos saturados são, no entanto muito económicos, devido ao pequeno número de observações necessárias para a realização dos mesmos. Tais recursos foram de extrema valia na realização do presente trabalho, pois representaram uma grande economia de tempo e dinheiro. Embora existam experimentos com melhor resolução, utiliza-se nesta pesquisa os saturados, uma vez que o objetivo precípua é o de minimizar a variabilidade da função produto e não apenas modelar a média das características de qualidade ora estudadas. Se fosse o caso, recomendar-se-iam experimentos com melhor nível de resolução, largamente utilizados no planejamento de experimentos convencional.

Testes de significância

No planejamento clássico, os testes de significância, tais como o teste **F**, tem um papel bastante importante na análise dos resultados do experimento. São usados para determinar se um fator deve ser incluído no modelo. Neste trabalho, a exemplo de Taguchi, as razões **F** são calculadas para determinar a importância dos vários fatores de controle em relação à variação do erro. Os testes de significância não são utilizados, uma vez que um nível precisa ser escolhido para cada fator de controle, independentemente de ser o efeito do fator significativo ou não.

2. Planejamento experimental de acordo com a metodologia de Taguchi dos processos de AT.

Nesta pesquisa são utilizados três processos de AT, nos quais serão estudados os efeitos das variáveis de processo e de preparação da superfície, para a deposição de revestimentos de Al, sobre as propriedades: **aderência ao substrato, porosidade da camada e resistência à corrosão.**

Portanto, para avaliar a influência destas variáveis dos processos de AT FS, ASP e HVOF, torna-se necessário realizar, cuidadosamente, um planejamento experimental, que garanta, de forma

ampla e eficiente, a comparação entre as variáveis de maior influência sobre as propriedades dos revestimentos.

Para cada processos de AT foram selecionadas as variáveis que participam da qualidade das camadas depositadas. A distribuição destas variáveis por tipo de processo de AT é dada a seguir:

Processo de deposição a chama oxiacetilênica FS:

- Pressão e fluxo do ar comprimido utilizado para transferir as partículas até o substrato.
- Fluxo de oxigênio e acetileno utilizado para a formação da chama.
- Efeito da utilização do alumínio em pó ou em forma de arame.

Processo de deposição a arco elétrico ASP:

- Pressão de ar comprimido primário, utilizado para projetar as partículas até o substrato.
- Pressão de ar comprimido secundário, utilizado para proteger a zona de transferência das partículas até o substrato.
- Corrente elétrica (CC) utilizada para a formação do arco voltaico.
- Tensão (V) de trabalho utilizada na formação do arco voltaico.
- Grau de limpeza do substrato (Sa2,5 e Sa3).

Processo de deposição a chama de alta velocidade HVOF:

- Pressão e fluxo do oxigênio utilizado para a formação da chama.
- Pressão e fluxo do propano utilizado para a formação da chama.
- Fluxo de nitrogênio utilizado para transferir as partículas através da chama até o substrato.

Além destas variáveis serão estudados, nos três processos de AT, o efeito do preaquecimento da superfície e da distância de projeção de partículas da pistola ao substrato.

A seguir, discute-se a metodologia estatístico-experimental que viabiliza a realização de um planejamento que permita observar o efeito das variáveis de aspensão e avaliar o desempenho de

camadas de alumínio depositadas pelos processos de AT FS, ASP e HVOF. Em cada processo são levadas em consideração sete (7) variáveis (fatores), cujos efeitos entram na composição das características de qualidade das camadas depositadas.

No planejamento experimental serão consideradas as atividades variáveis (fatores) e atividades fixas comuns nos três processos de AT. Além disso, a metodologia requer a identificação das respostas, fatores de controle e fatores de ruído:

- **Resposta** : Tensão de aderência e porosidade. A avaliação da resistência à corrosão será analisada após encontrar as melhores condições de aluminização.
- **Fatores de controle** : foram selecionados aqueles que constam nas tabela 5.
- **Fatores de ruído** : as próprias tolerâncias dos fatores de controle constituem fatores de ruído.

Tabela 5. Fatores de controle.

FATORES	PROCESSOS DE ASPERSÃO		
	FS	HVOF	ASP
A	consumível- arame - pó	pressão de oxigênio	distância pistola-substrato
B	temp. preaquecimento	fluxo oxigênio	pressão de ar primário
C	distância pistola-substrato	fluxo nitrogênio	pressão ar secundário
D	fluxo oxigênio	pressão propano	voltagem
E	fluxo acetileno	fluxo propano	Corrente
F	pressão ar comprimido	distância pistola-substrato	grau limpeza substrato
G	fluxo ar comprimido	temp. preaquecimento	temp. preaquecimento

Foram definidos os seguintes parâmetros fixos (tabela 6) para a realização das atividades experimentais de cada processo de AT.

Tabela 6. Parâmetros fixos.

FS	HVOF	ASP
Rugosidade substrato	Rugosidade substrato	Rugosidade substrato
Limpeza - Sa3	Limpeza - Sa3	---
Abrasivo	Abrasivo	Abrasivo
Consumível (pó/arame de Al)	Consumível (pó de Al)	Consumível (arame de Al)
Espessura da camada	Espessura da camada	Espessura da camada

- A rugosidade estabelecida corresponde na faixa de 60 a 80 μm [19].

- A espessura da camada a ser depositada deve de ser no mínimo de 250 μm , espessura que, de acordo com experimentação prévia, não apresenta porosidade passante [20].

Definidos os fatores de controle, o passo seguinte consiste da construção da matriz de experimentos para os fatores de controle e ruído, que é selecionada adequadamente entre os arranjos ortogonais padrão de Taguchi constantes da tabela 7.

Tabela 7. Arranjos ortogonais padrão 5.

Arranjo ortogonal	Número de experimentos	Máximo N ^o . fatores	Máximo número de colunas na matriz			
			2 níveis	3 níveis	4 níveis	5 níveis
L ₄	4	3	3	—	—	—
L ₈	8	7	7	—	—	—
L ₉	9	4	—	4	—	—
L ₁₂	12	11	11	—	—	—
L ₁₆	16	15	15	—	—	—
L' ₁₆	16	5	—	—	5	—
L ₁₈	18	8	1	7	—	—
L ₂₅	25	6	—	—	—	6
L ₂₇	27	13	—	13	—	—
L ₃₂	32	31	31	—	—	—
L' ₃₂	32	10	1	—	9	—
L ₃₆	36	23	11	12	—	—
L' ₃₆	36	16	3	13	—	—
L ₅₀	50	12	1	—	—	11
L ₅₄	54	26	1	25	—	—
L ₆₄	64	63	63	—	—	—
L' ₆₄	64	21	—	—	2	—
L ₈₁	81	40	—	40	—	—

Tem-se sete fatores a serem estudados nos três processos de AT. Opta-se, então por selecionar um arranjo ortogonal padrão L8, que permite a realização de oito experimentos com dois níveis cada um. Os níveis que serão utilizados, são designados dentro dos limites dados pelo processo de AT específico, correspondendo a valores afastados entre si. Sendo um deles os fornecidos pelos catálogos técnicos dos fabricantes dos equipamentos utilizados e o outro determinado após testes preliminares realizados no contexto desta pesquisa.

Os fatores de controle e os níveis a serem testados são indicados nas tabelas apresentadas a seguir.

Tabela 8. Aluminização pelo processo a chama oxiacetilênica - FS.

Fator	Nível 1	Nível 2
Matéria prima	arame	pó
Preaquecimento	Temperatura ambiente	120 °C
Distância pistola-substrato	100 mm	300 mm
Fluxo oxigênio	40 [*1]	50 [*1]
Fluxo acetileno	35 [*2]	45 [*2]
Pressão ar comprimido	80 psi	100 psi
Fluxo ar comprimido	50 [*1]	70 [*1]

[*1] 40 = 77,7 pés³/h / 50 = 93,4 pés³/h # [*2] 35 = 36,4 pés³/h / 45 = 47,3 pés³/h

Tabela 9. Aluminização pelo processo a arco elétrico - ASP.

Fator	Nível 1	Nível 2
Distância pistola-substrato	100 mm	300 mm
Pressão ar primário	70 psi	80 psi
Pressão ar secundário	50 psi	60 psi
Voltagem	32 v	40 v
Corrente	120 A	160 A
Grau de limpeza	Sa 2,5	Sa3
preaquecimento	Temperatura ambiente	120 °C

Tabela 10. Aluminização pelo processo a chama de alta velocidade - HVOF.

Fator	Nível 1	Nível 2
Preaquecimento	Temperatura ambiente	120 °C
Distância pistola-substrato	150 mm	300 mm
Fluxo nitrogênio	70 [*]	80 [*]
Pressão oxigênio	150 psi	180 psi
Fluxo oxigênio	42 [FMR]	50 [FMR]
Pressão propano	100 psi	120 psi
Fluxo propano	40 [FMR]	48 [FMR]

[1 FMR Oxigênio]=6,3 SLPM / [1 FMR Propano]=1,7 SLPM (SLPM = Standard liter per minute)

[*] = unidade do fluxo de nitrogênio especificado no manual da pistola DJ 2004 a 125 psi de pressão.

A etapa seguinte da metodologia prevê a realização dos experimentos, ou seja, a aluminização pelos processos de AT FS, ASP e HVOF. Após a execução dessa etapa são realizadas as medições de aderência, porosidade, espessura, dureza, em cada observação (cp) considerado na matriz L8.

Sobre o conjunto de dados resultante, aplica-se a ANOVA para determinar o nível de influência de cada um dos fatores em relação à variação das respostas e os respectivos níveis ótimos para a obtenção do melhor desempenho das características de qualidade estudadas. Para este fim, utiliza-se o programa computacional SADIE [21,22], cujo relatório final aponta as melhores condições dentre todas as combinações possíveis de fatores e níveis considerados no experimento, inclusive aquelas estabelecidas na matriz correspondente ao arranjo ortogonal selecionado. O programa apresenta além disso, a representação gráfica do grau de influência de cada fator considerado em cada processo de AT.

3. Procedimentos de Aspersão Térmica com Alumínio.

As atividades de AT foram realizadas nas empresas de metalização REVESTEEL (chama FS e chama HVOF) e na empresa NICROM (arco ASP), ambas de Curitiba/PR.

3.1. Materiais, pistolas de aspersão térmica e preparação da superfície.

Materiais :

- Aço = tarugo de aço carbono 1020, chapas ASTM 283 C
- Abrasivo oxido de alumínio branco = granulometria 30 Alundum 38 A .
- Jateamento por pressão = pressão 100 psi, distância 100 mm.
- Consumível para aluminização = arame de Al Øs 2,5 e 3,2 mm METCO MAL-12.
pó de Al granulometria -90+45 microns METCO 54-NS.
pó de Al granulometria -75+45 microns METCO 54-NS1.
- Consumíveis para camadas de ligação = arame aço inox martensítico Ø 3,2 mm METCOLOY #2.
arames NiAl Ø 3,2 mm METCO 405.

Os parâmetros de aspersão térmica para a deposição das camadas de ligação foram os recomendados pelos boletins técnicos METCO.

Pistolas de Aspersão Térmica :

- Processo a chama oxiacetilênica - FS : Pistola METCO 12E.
- Processo a chama de alta velocidade - HVOF : DIAMOND JET - DJ 2004.
- Processo a arco elétrico : METCO 4RG.

Preparação da Superfície

- Para a realização das atividades de limpeza e obtenção da rugosidade superficial foi selecionado o jateamento abrasivo com óxido de Al branco.
- O grau de limpeza Sa3 (exceto no processo ASP), foi obtido por comparação com os padrões de qualidade superficial publicados pela norma NACE RM 01 70.
- Quanto temperatura de preaquecimento foi considerada a norma AWS C2.18/93 e faz parte dos fatores a serem avaliados na fase experimental.
- As condições ambientais e especificação da qualidade do ar comprimido utilizadas durante o jateamento e AT foram avaliadas segundo norma da Petrobrás - N-2568.

3.2. Matriz das condições de aluminização segundo procedimento experimental.

Através das condições de AT com Al indicadas nas tabelas 11, 12 e 13 serão aluminizados 10 cps normalizados segundo a norma ASTM C633/79, dos quais em cinco deles será medida sua resistência a tração para conhecer a tensão de aderência das camadas de Al ao substrato. Os outros cps serão preparados para análise metalográfico, medição da porosidade, dureza e teor de óxidos.

Tabela 11. Matriz das condições experimentais para AT do Al pelo processo a chama - FS.

Condição de AT/FS	Fatores de controle						
	Material	Preaque. [°C]	Distância [mm]	Fluxo Oxig. [* 1]	Fluxo acetileno [*2]	Pressão Ar [psi]	Fluxo Ar [*1]
F1	arame	T.A.	100	40	35	80	45
F2	arame	T.A.	100	50	45	100	55
F3	arame	120	300	40	35	100	55
F4	arame	120	300	50	45	80	45
F5	pó	T.A.	300	40	45	80	55
F6	pó	T.A.	300	50	35	100	45
F7	pó	120	100	40	45	100	45
F8	pó	120	100	50	35	80	55

[*1] 40 = 77,7 pés³/h / 50 = 93,4 pés³/h # [*2] 35 = 36,4 pés³/h / 45 = 47,3 pés³/h

Tabela 12. Matriz das condições experimentais para AT do Al pelo processo a arco ASP.

Condição de AT/ASP	Fatores de controles						
	Distância [mm]	Press. Ar Pri. [psi]	Press. Ar Sec. [psi]	Voltagem [V]	Corrente [A]	Limpeza [grau]	Preaque. [°C]
A1	100	70	50	26	120	Sa2,5	T.A.
A2	100	70	50	32	160	Sa3	120
A3	100	80	60	26	120	Sa3	120
A4	100	80	60	32	160	Sa2,5	T.A.
A5	300	70	60	26	160	Sa2,5	120
A6	300	70	60	32	120	Sa3	T.A.
A7	300	80	50	26	160	Sa3	T.A.
A8	300	80	50	32	120	Sa2,5	120

Tabela13. Matriz das condições experimentais para AT do Al pelo processo - HVOF

Condição de AT	Fatores de controle						
	PresOxi. [psi]	FluxOxi. [FMR]	FluxNitro. [*]	PresPro. [psi]	FluxPro. [FMR]	Distância [mm]	Preaque. [°C]
H1	150	42	70	100	40	150	T.A.
H2	150	42	70	120	48	300	120
H3	150	50	80	100	40	300	120
H4	150	50	80	120	48	150	T.A.
H5	180	42	80	100	48	150	120
H6	180	42	80	120	40	300	T.A.
H7	180	50	70	100	48	300	T.A.
H8	180	50	70	120	40	150	120

[1 FMR Oxigênio] = 6,3 SLPM / [1 FMR Propano]=1,7 SLPM (SLPM = Standard liter per minute)

[*] = unidade do fluxo de nitrogênio especificado no manual da pistola DJ 2004 a 125 psi de pressão.

4. Referências Bibliográficas

- 1 BOX, G.E.P., HUNTER, W.G. and HUNTER, J.S. Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, data Analysis and Model Building. John Wiley & Sons, Inc. 1978.
- 2 KEMPTHONE, O. The Design and Analysis of Experiments. Robert E. Krieger publishing Company. 1983.
- 3 LIN, P.K.H., SULLIVAN, L.P. and TAGUCHI, G. Using Taguchi Methods in Quality Engineering, Quality Progress, p. 55-59. 1990.
- 4 TAGUCHI, G. System of Experimental Design. Vol 1. American supplier Institute, Inc. Dearborn, Michigan 1991.
- 5 PHADKE, S. Quality Engineering Using Robust Design. AT&T. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, chapter 3 p. 41-66. 1989.
- 6 FISHER, R.A. The Design of Experiments. Hafner Press, A Division of Macmillan Publishing Co. Inc. New York 1971.
- 7 LEISK and SAIGAL, A. Taguchi Analysis of Heat treatment Variables on the Mechanical Behavior of Alumina/Aluminum Metal matrix Composites. Composites Engineering, vol. 5, No. 2, p. 129-142. 1995.
- 8 CORTÉS, R.S., NIÑO, C.E. Métodos Taguchi: Uma revisão sobre aplicações em projetos de aspersão térmica. XXI Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem. Anais, p.417-430. Caxias do Sul, Junho 1995
- 9 TAGUCHI, G. Systems of Experimental design. American Supplier Institute, Inc. Dearborn, Michigan. 1991.
- 10 STANGE, P., TURNES, O. Tópicos especiais em gestão da qualidade 1: TÉCNICAS TAGUCHI/ CPGEP-UFSC, 74p. 1994.
- 11 CRAWMER, D.C., and KREBSBACH, J.D. Coating development for HVOF Process Using Design of Experiments. Proceedings of the International thermal spray conference & Exposition, Orlando, Florida, USA, p. 127-136. 1992.
- 12 PHILLIP, J.R. Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade. MAKRON Books. Ed. McGraw Hill Cap. 3, 74p. 1991.
- 13 BISGAARD, S. "Optimizing thermal spray processes going beyond Taguchi methods". Proceedings of the 3rd National Thermal Spray Conference, Long Beach- USA/ p. 661-670, May 20-25. 1990.
- 14 CHON, T., ALY, A., KUSHNER, B. et al. Taguchi Analysis of High Velocity Oxi-Fuel sprayed Abradable Coatings. Proceedings of the 3rd National Thermal Spray Conference, Long Beach- USA/ p. 681-693. May 20-25, 1990.
- 15 RIGGS, II W.L. et al. Taguchi experimental design Study of Plasma and HVOF Chrome Carbide/Nickel Chromium. Proceedings of the 3rd National Thermal Spray Conference, Long Beach- USA/ p. 711-728. May 20-25, 1990.
- 16 NERZ, J.E. et al. Taguchi Analysis of Thick Thermal Barrier Coatings. Proceedings of the 3rd National Thermal Spray Conference, Long Beach- USA/ p. 669-673. May 20-25, 1990.
- 17 DUBUQUE, L. A Review of basic methodology and Potential Pitfalls of the Taguchi Method. IBM, p. 359-374. 1988.
- 18 MARANHO, O. Influência da preparação da superfície na aderência de revestimentos de alumínio depositada por aspersão térmica a chama. Florianópolis: UFSC. Dissertação de

Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 126p. 1996.

19 REPORT METCO #106. EVALUATION METHODS AND EQUIPMENT FOR FLAME SPRAYED COATINGS. Research laboratory, item 12, 15p. 1973.

20 NORMA SWEDISH STANDARD SIS 0559900 /1967 (Stockolm : Korrosions-institutet). 1967.

21 CULP, R.F. Manual Sadie: Speedy Analysis and Design of Industrial Experiments, 72p. 1990.

22 TAGUCHI, G. Systems of Experimental desing. American Supplier Institute, Inc. Dearborn, Michigan. 1991.

Ramón S. Cortés Paredes, Dr. Engº.

Coordenador do Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagem Especiais - LABATS

Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC

Universidade Federal do Paraná - UFPR

E-mail: ramon@ufpr.br