

## MATERIAIS USADOS NOS VASOS DE PRESSÃO DA INDÚSTRIA DE ÓLEO E GÁS: INFLUÊNCIA NA ESTIMATIVA DE PREÇOS\*

Mauricio Monteiro Machado<sup>1</sup>  
Neyda de la Caridad Om Tapanes<sup>2</sup>  
Ana Isabel de Carvalho Santana<sup>3</sup>  
Rodolfo Salazar Perez<sup>4</sup>  
Rodrigo Ribeiro Soares<sup>5</sup>  
Roberta Gaidzinski<sup>6</sup>

### Resumo

Vasos de pressão são equipamentos empregados nas mais variadas indústrias, sendo responsáveis por significativa parcela do orçamento. Os materiais mais utilizados para a construção de vasos de pressão para a indústria de óleo e gás são as ligas de aço carbono e em alguns casos se justifica o emprego de ligas de aços inoxidáveis. O objetivo deste trabalho foi estudar as características dos vasos de pressão, materiais de fabricação e o custo de aquisição de vasos de pressão por parte da Petrobras. Para o desenvolvimento foram utilizadas duas ferramentas de processamento de dados: a Lei de acesso à informação que permitiu a criação de uma base de dados, e o Planejamento de experimentos que possibilitou avaliar a influência do tipo de material e outras variáveis sobre o preço do vaso de pressão (variável de resposta). Os resultados estatísticos demonstram que, para as faixas analisadas o comprimento entre tangentes (CET) e o Diâmetro (D) possuem uma influência estatística direta sobre a variável de resposta Preço. Finalizando, o estudo conseguiu conciliar aspectos construtivos com os fatores financeiros, sendo de grande valia para os fabricantes de vasos de pressão.

**Palavras-chave:** Vaso de pressão, preço, lei de acesso à informação, planejamento de experimentos.

### MATERIALS USED IN PRESSURE VESSELS FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY: INFLUENCE IN THE PRICE ESTIMATE

#### Abstract

Pressure vessels are equipment used in the most varied industries, being responsible for a significant portion of the budget. The materials most used for the construction of pressure vessels for the oil and gas industry are carbon steel alloys and in some cases, the use of stainless steel alloys is justified. The objective of this work was to study the characteristics of pressure vessels, manufacturing materials and the cost of purchasing pressure vessels by Petrobras. For development, two data processing tools were used: the Law of access to information that allowed the creation of a database and the Planning of experiments that made it possible to evaluate the influence of the type of material and other variables on the price of the vessel (response variable). Statistical results show that, for the analyzed ranges, the length between tangents (LBT) and Diameter (D) have a direct statistical influence on the price response variable. Finally, the study was able to reconcile constructive aspects with financial factors of great value to manufacturers of pressure vessels.

**Keywords:** Vessel of pressure, price, law of access to information, planning of experiments.

<sup>1</sup> Engenharia Mecânica, Mestrado, Engenheiro Mecânico, Nuclebras Equipamentos Pesados-NUCLEP, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenharia Química, Doutorado, Professora Adjunta, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Doutorado, Professora Adjunta, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Físico, Doutorado, Pesquisador Visitante, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>5</sup> Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Mestrado, Engenheiro Orçamentista, Nuclebras Equipamentos Pesados-NUCLEP, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>6</sup> Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Doutorado, Professora Adjunta, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

Vaso de pressão é definido como recipiente estanque projetado para conter um fluido pressurizado e resistir com segurança aos processos químicos e/ou físicos que ocorrem em seu interior e/ou ao armazenamento sob pressão. O projeto de construção deve incluir, além do dimensionamento de cada componente, para resistir às elevadas pressões, uma adequada seleção técnica e econômica do material. O conhecimento dos materiais utilizados na fabricação dos vasos de pressão é fundamental para a formação do custo dos mesmos. Os vasos de pressão podem ser construídos com os mais diversos materiais. Os materiais ferrosos são, com larga vantagem, os mais utilizados na construção de vasos de pressão para a indústria de óleo e gás. Dentro do espaço amostral pesquisado, não foi diferente, a maior parte dos vasos foi construída com aço-carbono, como ASTM A 285 e ASTM 283. Em casos especiais que não admitem contaminação ou para trabalho em temperaturas superiores a 414 °C ou inferiores a -59 °C, se justifica o custo para o emprego de ligas de aço inoxidável. No espaço amostral pesquisado foram identificadas algumas ligas de aço inoxidável como ASTM A 204 tipos 304 e 316. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre as principais características dos vasos de pressão, seus materiais, e o custo de aquisição de vasos de pressão por parte da Petrobras. O estudo engloba revisão bibliográfica sobre o assunto e também a aplicação do planejamento de experimentos para determinar as variáveis que influenciam sobre o preço final do vaso de pressão. Este estudo estatístico foi realizado em uma base de dados criada a partir de contratos de fornecimento de vaso de pressão, firmados entre a Petrobras e diversas indústrias fornecedoras de vaso de pressão.

Uma ferramenta para modelar o preço de aquisição dos vasos de pressão pela Petrobras é de grande interesse para o desenvolvimento comercial dos fabricantes, que precisam equacionar os custos e margens, a fim de se manterem competitivos no mercado. Além disso, o tema leva às universidades uma demanda real da indústria, uma vez que a Petrobras é responsável por grande parte da demanda de vasos de pressão no Brasil. Com isso, a motivação que justifica este estudo é a criação de um banco de dados correlacionando materiais e características dos vasos de pressão com seus respectivos preços. Além disso, modelar o preço de aquisição dos vasos e conhecer a influência que cada fator exerce sobre o mesmo, através da aplicação do planejamento de experimentos com o objetivo de se obter curvas de contorno e superfícies de resposta, correlacionando algumas características dos vasos de pressão com seus respectivos preços.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Materiais e Métodos

#### 2.1.1 Banco de Dados

Com vista a criar um modelo de preço para os vasos de pressão adquiridos pela Petrobras, foi criado um banco de dados correlacionado o preço de compra com características básicas de cada vaso. O acesso a informação foi possível, através do cumprimento da lei de acesso a informação (Lei 12.527). Os vasos em análise, foram construídos de acordo com o código ASME VIII divisão 1. Para viabilizar a análise e permitir a comparação entre os dados do espaço amostral, os vasos foram subdivididos em categorias de acordo com suas características básicas, como

espessura e material. Finalmente, o tratamento estatístico irá resultar em modelos matemáticos distintos para cada categoria de vaso de pressão.

### *2.1.2. Materiais envolvidos e características*

A fabricação de um vaso de pressão pode contar com os mais diversos materiais, desde os aços para a fabricação do casco, tampos, bocais e elementos internos até os polímeros utilizados em revestimentos internos.

Dependendo das dimensões, material envolvido e pressão de projeto, a espessura de um vaso pode variar, desde a mínima espessura permitida para vasos (4,8mm de acordo com a norma interna da Petrobras N-253) até altas espessuras. O fator espessura influencia muito no custo de vasos de pressão, não somente pela quantidade empregada de aço (quantidade de massa) estar intimamente ligada a isso, mas também pela tecnologia envolvida na fabricação, disponibilidade e na movimentação de carga.

Em geral, plantas industriais preparadas para trabalhar com espessuras mais baixas (até 1/2") possuem menor custo operacional, no entanto, não possuem capacidade instalada para atender às demandas que envolvam chapas com espessuras superiores. Em contrapartida, o custo operacional de plantas industriais aptas para fabricar componentes pesados, se torna um fator desfavorável na concorrência de vasos de baixas espessuras em licitações. Sendo o preço uma variável de resposta, é interessante que cada faixa de espessura seja tratada separadamente.

O escopo deste trabalho são os materiais ferrosos. Dentre os materiais ferrosos, vale destacar o aço carbono e o aço inox. No espaço amostral pesquisado foram identificadas aproximadamente 88% de normas de aço carbono e 12% de normas de aço inox.

### *2.1.3. Análise e auditoria dos dados*

Os elementos do espaço amostral foram agrupados em famílias, sendo que cada família possui espessura e material comum. Cada família gerou um gráfico de dispersão no plano X versus Y, em que a massa do conjunto costado e tampo ocupa o eixo das abscissas e o preço unitário o eixo das ordenadas. Durante a análise praticamente 70% do espaço amostral foi novamente verificado, alguns pontos amostrais trocaram de família por terem erroneamente sido classificados por material ou espessura. Casos especiais também foram identificados e, por não serem aplicáveis ao modelo, foram retirados.

### *2.1.4. Planejamento de experimentos*

Neste trabalho será utilizado o Planejamento de Experimentos com o objetivo de modelar o preço que a Petrobras pagou por vasos de pressão, sendo fatores os materiais e características do produto. Os fatores foram: Temperatura de projeto, CET (Comprimento Entre Tangentes), Diâmetro, Material (Norma do aço utilizado), Somatório da quantidade de bocais (em 6 faixas).

Através de combinação das variáveis disponíveis com constantes e tabelas conhecidas foram calculados: Tipo de material, Espessura, Área do costado, Massa, Preço de mercado do material para construção do costado e tampos, Custo do material para construção dos bocais, HH estimativa da quantidade de horas

trabalhadas por pessoas para fabricar o vaso e HM a estimativa da quantidade de horas trabalhadas por máquinas para fabricar o vaso.

## 2.2. Resultados e Discussão

Considerando as variáveis de maior relevância, foram definidos os seguintes fatores para serem utilizados no tratamento de dados do planejamento de experimentos:

X1- Espessura, E

X2- Custo de aço, CM

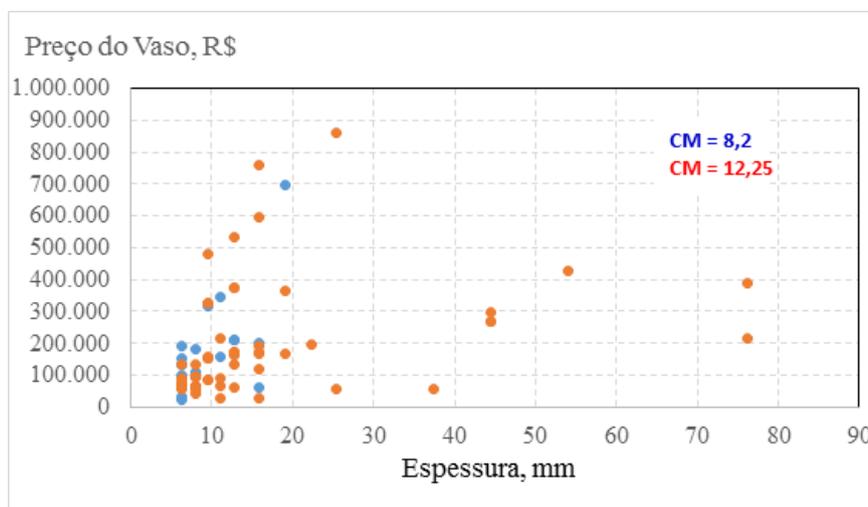
X3- Comprimento entre Tangentes, CET

X4- Diâmetro, D

X5- Custo dos bocais, CB

Partindo dos dados recopilados foi realizada a análise da influência dos cinco fatores sobre a variável de resposta utilizando os softwares Excel'13 e Statistica'16.

### 2.2.1. Influência da Espessura e Custo do aço no Preço do vaso



**Figura 1** - Gráfico de dispersão representando o preço do vaso x Espessura (CM = 8,2 e 12,25)

Analisando o gráfico da Figura 1, observamos que a maioria dos pontos, independente do custo do aço e da espessura, se concentra em uma faixa inferior a R\$ 215.000. Contabilizando e dividindo os 76 pontos por faixas, nota-se que 57 pontos têm valores menores que R\$ 215.000 (representa o 75%) e 12 pontos estão na faixa de R\$ 215.000-R\$ 400.000 (representa 16%). Ou seja, 91% dos pontos têm um preço menor que R\$ 400.000,00. Também foi observado uma dispersão heterogênea da variável preço para distintos materiais e espessuras. Com isso, poderíamos supor que, na amostra considerada, o custo do aço e a espessura são variáveis que, se avaliadas isoladamente, não modelam o valor do preço do vaso de pressão.

### 2.2.2. Influência do CET, o diâmetro e custo dos bocais no Preço do vaso

Diferente do comportamento discreto das variáveis E e CM, existe uma tendência crescente do preço do vaso com o aumento do CET, do Diâmetro e do Custo dos Bocais. Nos gráficos (Figuras 2-4) foram representadas as tendências lineares, e os

R<sup>2</sup> respectivos, mas, estatisticamente, pode existir um modelo de regressão de ordem maior que explique com melhor exatidão estes efeitos

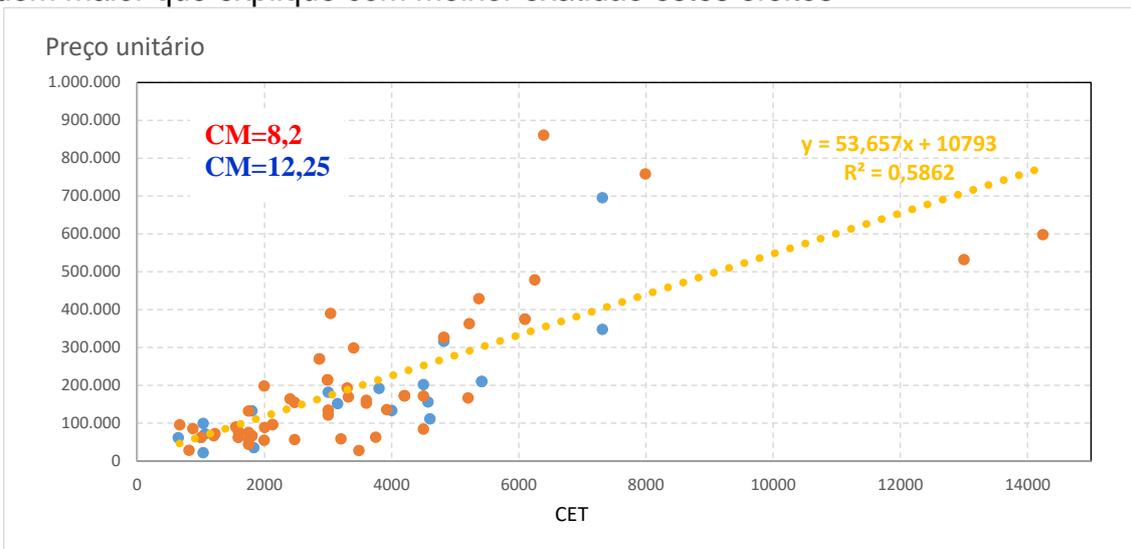


Figura 2 - Preço do vaso x CET (CM = 8,2 e 12,25)

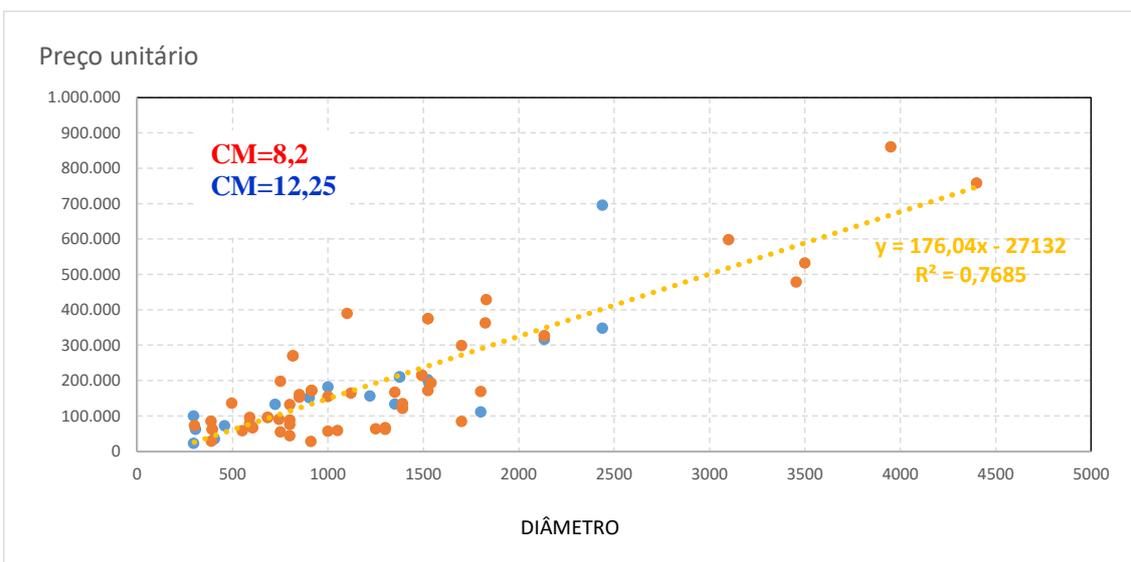
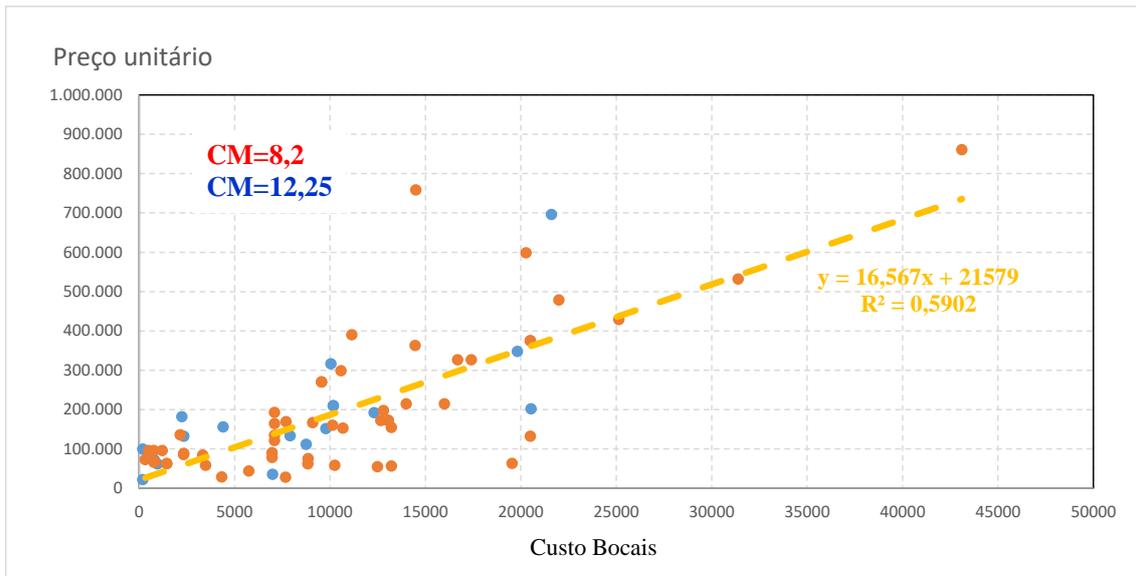


Figura 3 - Preço do vaso x Diâmetro (CM = 8,2 e 12,25)



**Figura 4** - Preço do vaso x Custo dos Bocais (CM = 8,2 e 12,25)

### 2.2.3. Planejamento de experimentos

#### 2.2.3.1. Influência de E e CM no preço do vaso

A Tabela 1 apresenta o tratamento de dados na forma de matriz do Planejamento Fatorial para determinar a influência de E e CM no preço do vaso

**Tabela 1.** Matriz de Planejamento Fatorial para determinar a influência de E e CM no preço do vaso

Experimento	<i>Variáveis Independentes</i>				<i>Variável Dependente</i>
	<i>Codificadas</i>		<i>Reais</i>		Preço do vaso (R\$)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	E	CM	
1	-1	-1	6,35	8,2	132.548,56
2	-1	+1	6,35	12,25	75.490,20
3	+1	-1	15,87	8,2	62.065,48
4	+1	+1	15,87	12,25	172.000,20
5	-1	-1	6,35	8,2	133.644,46
6	-1	+1	6,35	12,25	78.215,55
7	+1	-1	15,87	8,2	202.000,22
8	+1	+1	15,87	12,25	169.230,76

**Tabela 2.** Efeitos para os fatores e os erros padrão correspondentes ao Planejamento fatorial para determinar a influência de E e CM no preço do vaso

<b>R<sup>2</sup>=0,4773</b> <b>Adj.=0,0853</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>t (2)</b>	<b>Valor p</b>
<b>Média</b>	128.149,4	17.499,12	7,323193	0,001850
<b>Efeitos principais‡</b>				
X <sub>1</sub> : Espessura	46.349,5	34.998,24	1,324337	0,255993
X <sub>2</sub> : Custo do Aço	-8.830,5	34.998,24	-0,25231	0,813234
<b>Interações</b>				
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	47.413,1	34.998,24	1,354729	0,246967

Os resultados mostrados na Tabela 2 indicam que os efeitos espessura (X1), o custo do aço (X2) e a interação entre ambos (X1X2) não são estatisticamente significativos. Este resultado se demonstra mediante o Valor p, que é maior que 0,05. O modelo de regressão formado por esses fatores está representado pelo R2 e R2 ajustado, índices que devem estar próximos de 1, para definir a adequabilidade do modelo com os valores experimentais. O planejamento fatorial com os fatores E e CM não permitem obter um modelo adequado, uma vez que, tanto o R2 como o R2 ajustado estão distantes de 1, apresentando, respectivamente, os seguintes valores: 0,4773 e 0,0853.

### 2.2.3.2. Influência das variáveis CET e D no preço do vaso

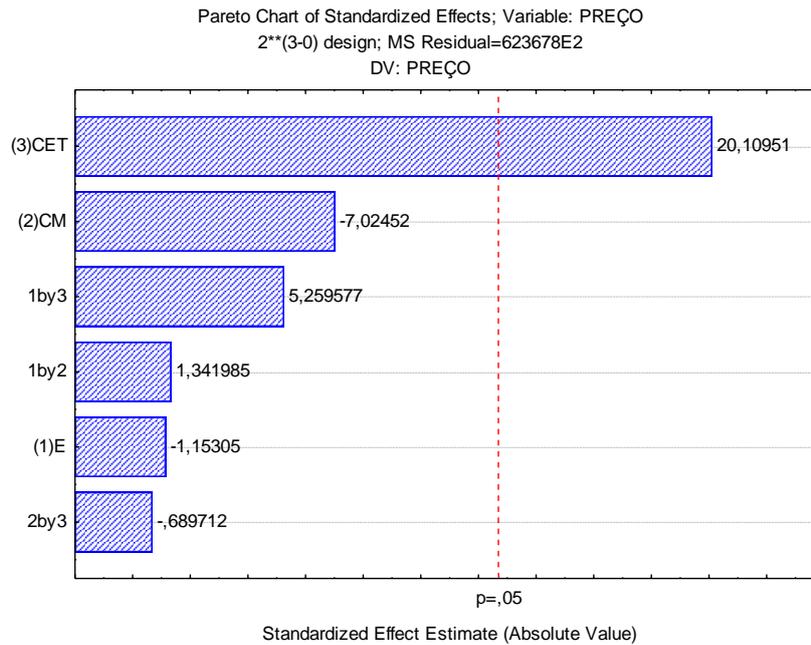
Nas Tabelas 3 e 4 se apresentam as matrizes de cada planejamento, mantendo o Preço do vaso como variável de resposta.

**Tabela 3** - Matriz de Planejamento Fatorial 23 para determinar a influência de E, CM e CET ponderado no Preço do vaso.

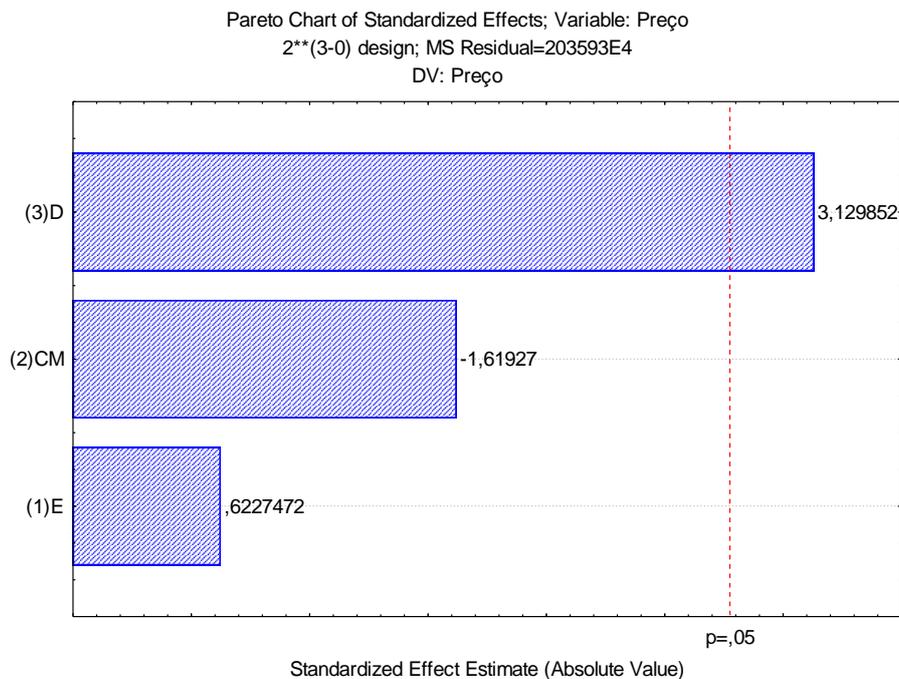
Exp.	Codificadas			Reais			Preço do vaso (R\$)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	E	CM	CET	
1	-1	-1	-1	6,35	8,2	1000	99.784,94
2	-1	-1	+1	6,35	8,2	4000	192.146,55
3	-1	+1	-1	6,35	12,25	1000	62.500,00
4	-1	+1	+1	6,35	12,25	4000	135.990,05
5	+1	-1	-1	15,875	8,2	1000	62.065,48
6	+1	-1	+1	15,875	8,2	4000	202.000,22
7	+1	+1	-1	15,875	12,25	1000	28.600,00
8	+1	+1	+1	15,875	12,25	4000	172.000,20

**Tabela 4** - Matriz de Planejamento Fatorial 23 para determinar a influência de E, CM e D ponderado no Preço do vaso

Exp.	Codificadas			Reais			Preço do vaso (R\$)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	E	CM	D	
1	-1	-1	-1	15,87	12,25	400	72.043,01
2	-1	-1	+1	15,87	12,25	1500	192.146,55
3	-1	+1	-1	15,87	8,2	400	62.500,00
4	-1	+1	+1	15,87	8,2	1500	58.500,00
5	+1	-1	-1	6,35	12,25	400	62.065,48
6	+1	-1	+1	6,35	12,25	1500	202.000,22
7	+1	+1	-1	6,35	8,2	400	28.600,00
8	+1	+1	+1	6,35	8,2	1500	172.000,20



**Figura 5** - Gráfico de Pareto para a variável de resposta Preço em função da E, CM e CET.



**Figura 6** - Gráfico de Pareto para a variável de resposta Preço em função da E, CM e D.

Os Gráficos de Pareto da Figuras 5 e 6 apresentam em forma gráfica quais os efeitos que são mais relevantes. Observa-se que são significativos os valores de CET e D respectivamente.

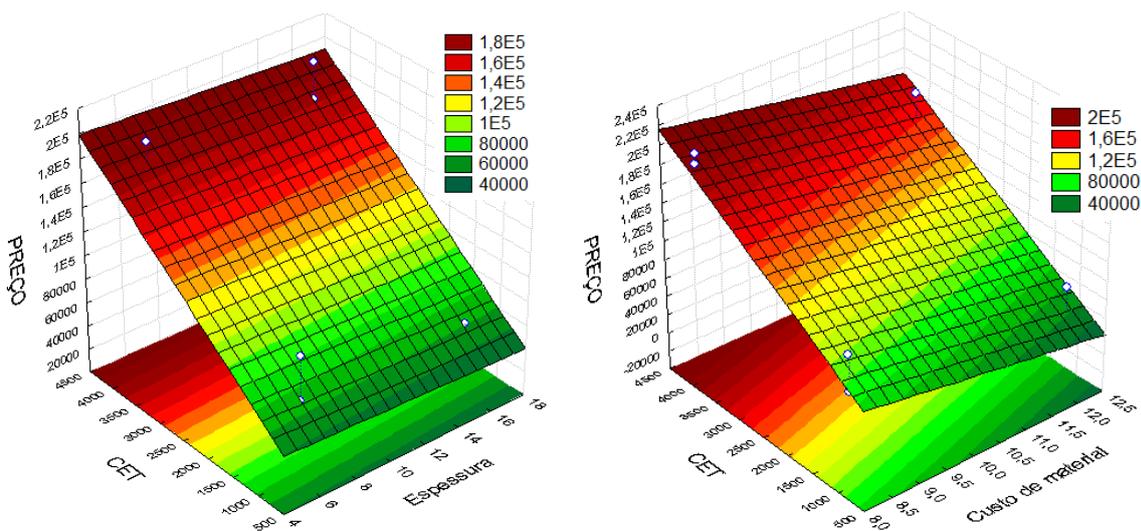
As equações de regressão linear múltipla ajustada, obtidas do processamento de dados nos softwares são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Equações de regressão para a análise do preço dos vasos de pressão.

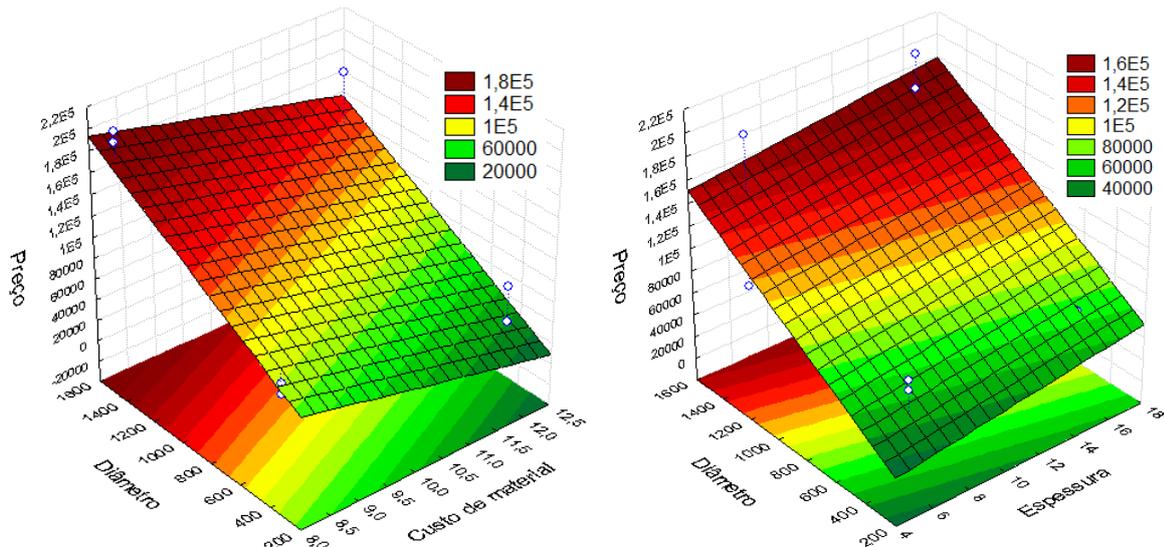
Fatores	Equação de Regressão	R <sup>2</sup> <sub>ajustado</sub>
E, CM e D	$Preço\ do\ vaso = 119.385,9 - 19.613,4 * CM + 56.148,3 * t \pm 23.296,2$	88,86
E, CM e D	$Preço\ do\ vaso = 106.231,9 + 49.929,8 * D \pm 31.905,4$	58,34

A superfície de resposta permite observar espacialmente a influência dos fatores e suas interações sobre a variável de resposta. Esta técnica foi utilizada para definir as faixas operacionais que possuem menor preço e como a variação de cada fator implica na variável de resposta. As Figuras 7 e 8 mostram a superfície de resposta obtida com o Statistica'16 ao analisar a influência de E, CM e D e E, CM e CET no preço do vaso utilizando o planejamento fatorial completo 2<sup>3</sup>.

Corroborar-se na análise da superfície que as variáveis CET e D possuem uma elevada significância estatística sobre o Preço do vaso. Na Figura 7(a) percebe-se que o preço se manteve constante quando a espessura varia na faixa de 4-18 mm. Diferentemente, na Figura 7 (b), é possível observar uma leve variação do Preço com o Custo de material.



**Figura 7.** Superfícies de respostas da influência de E, CM e CET no preço do vaso. Sendo os fatores (a) CET x E no Preço (b) CET x CM no Preço



**Figura 8** - Superfícies de respostas da influência de E, CM e D no preço do vaso. Sendo os fatores: (a) DxExPreço (b) DxCMxPreço

Na Figura 8 (a) e (b) também se observam leves variações do Preço do vaso com os fatores Custo de Material e Espessura, no entanto, estes efeitos resultam contraditórios com os valores p mostrados na Figura 6. Este efeito se justifica pelo fato de que o modelo de regressão obtido não é o adequado ( $R^2_{ajustado}=0,5834 << 1$ ).

### 3 CONCLUSÃO

Vasos de pressão são equipamentos empregados nas mais variadas indústrias, sendo responsáveis por significativa parcela do orçamento, tanto para construção e ampliação de novas plantas, quanto para substituição de equipamentos. Sendo assim, um estudo que concilie aspectos construtivos com os fatores financeiros é de grande valia para os fabricantes de vasos de pressão. A estimativa de custos para compor o banco de dados poderia ter sido baseada em fontes, como os preços ofertados por determinado fornecedor ou tomada de preço com distintos fornecedores. Vale lembrar que o objetivo deste trabalho foi modelar o preço pago por um determinado cliente, sendo assim, nada mais fiel do que consultar o banco de dados do próprio comprador. Neste contexto, a Lei da transparência se mostrou uma importante ferramenta e o caminho que viabilizou a criação do banco de dados. O mesmo exemplo pode ser aplicado a outros temas. O tratamento dos dados, com posterior processamento respectivamente pelos softwares Excel e Statistica'16 criou uma valiosa fonte de consulta para fabricantes de vasos de pressão, que possuem pleno interesse em mapear o mercado em que estão inseridos. Vale ainda frisar que os softwares citados se mostraram excelentes ferramentas para desenvolver trabalhos de pesquisa e processamento. O software Excel foi utilizado para organizar toda a base de dados através de filtros e classificação, em seguida, cada faixa de espessura de parede do casco foi individualmente tratada, a fim de elaborar gráficos (preço x massa). Além disso, foi traçada a curva de melhor ajuste para cada caso.

Os resultados do planejamento de experimentos apontaram como fatores principais o Comprimento entre tangentes, o custo com materiais e a espessura. Por fim foram geradas superfícies de resposta correlacionando o preço com os mais relevantes

fatores em questão. O escopo deste trabalho foi voltado para materiais, características e preço de vasos de pressão, no entanto, a mesma metodologia poderia ter sido aplicada a outros equipamentos, ou aos mais variados produtos industrializados, processos de fabricação e até mesmo na agropecuária.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ pelo suporte financeiro e ao Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - Uezo pelo uso da infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS – ASME -Boiler and Pressure Vessel Code, section VIII, division 1 and 2. New York, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS – ASME - Boiler and Pressure Vessel Code, section IX. New York, 2010. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS – ASME - Boiler and Pressure Vessel Code, section V. New York, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS – ASME - Boiler and Pressure Vessel Code, section II. New York, 2010. CALLISTER JR, W. D. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

CHAINHO, J. A. P. A História da Inspeção de Equipamentos. 2011. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/historia-da-inspecao.html>> Acesso feito em: 29/jun/2017.

IECKER, T. D. Análise de Tensões em Vasos de Pressão através do Método de Elementos Finitos. 2014. 76f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca – CEFET, Rio de Janeiro.

KHAN, M.M.A.; ROMOLI, L.; FIASCHI, M.; DINI, G.; SARRI, F.; Experimental design approach to the process parameter optimization for laser welding of martensitic stainless steels in a constrained overlap configuration. Elsevier, 21/jun/2010.

MARTINS, F. J. S. Análise da possibilidade de crescimento subcrítico de descontinuidades durante a realização de testes hidrostáticos em vasos de pressão e seus possíveis efeitos. 2009. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de inspeção de equipamentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I.; MAINIER, F. B.; Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico. Química Nova Escola, N° 19, maio 2004. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO DO BRASIL, Norma NR-13, Brasília, 2006.

MONTGOMERY, D; CALADO V, Planejamento de Experimentos usando o Statistica. 1ª Ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2003. 260p.

NOGUEIRA, B. F. Estratégia Computacional para Projeto de Vasos de Pressão. 2013. 230f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. PEREIRA FILHO, Jorge dos Santos. Análise de efeitos de teste hidrostático em vaso de pressão. 2004. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis.

PETROBRAS, Norma N-0253 - Projeto de vaso de pressão, 2014.

PETROBRAS, Norma N-268 - Fabricação de vaso de pressão, 2006. PETROBRAS, Norma N-269 - Montagem de vaso de pressão, 2006. PETROBRAS, Norma N-1707- Projeto de vaso de pressão com revestimento, 2006.

POLONIO, W. N.; Aplicação de revestimento anticorrosivo em vasos de pressão em sistemas de vácuo no processo de fabricação açúcar e álcool. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Barra Bonita, v.22, n. 2, 67-77, 2003.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, Lei 12527 de 18/09/2011. Disponível no sítio <eletrônico: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm)>.

SARAIVA, R. A. Estudo das etapas de fabricação de um vaso de pressão modelo para certificação nuclear. 2013. 121f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.

SILVA, A. B. Projeto de vaso de pressão segundo norma ASME e análise pelo método dos elementos finitos. 2015. 144f. Dissertação (Mestrado em Projeto de Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA JUNIOR, V. F. Projeto estrutural e de fabricação de vaso de pressão esférico. 2011. 86f. (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R; BUDYNAS, R. G. Projeto de Engenharia Mecânica.7ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 1059p.

SOARES, R. R. Estudo das Propriedades Mecânicas e Análise de Tensões por Difração de Raios-X numa Junta Soldada de um Tubo de aço A -335. 2014. 86f Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia dos Materiais) – Universidade Estadual da Zona Oeste- UEZO, Rio de Janeiro.

TELLES, P. C. S. Vasos de pressão. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 302p.