ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE VEDAÇÃO EM TUBOS E CONEXÕES HIDRÁULICAS E PNEUMÁTICAS DE AÇO INOX PARA APLICAÇÕES DE BAIXA E ALTA PRESSÃO

COMPARATIVE STUDY OF SEALING METHODS IN STAINLESS STEEL HYDRAULIC AND PNEUMATIC TUBES AND FITTINGS FOR LOW AND HIGH-PRESSURE APPLICATIONS

Ariel Lopes Borges de Souza Silva[1], Alexandre L. Taglia[2], Marcos Tadeu Tavares Pacheco[2]

[1]Universidade Anhanguera SP, Brasil
[2]Universidade Santa Cecília, Santos-SP, Brasil

e-mail para contato: alexandretaglia@hotmail.com

RESUMO - Este estudo analisa conexões de baixa, média e alta pressão em sistemas hidráulicos e pneumáticos, destacando seus principais componentes, materiais e desempenho sob condições extremas. Foram testadas conexões de aço inox 316, com ênfase em modelos de dupla anilha para baixa pressão (até 15.000 psi) e conexões cônicas e rosqueadas para média e alta pressão (até 150.000 psi). Os testes hidrostáticos revelaram que conexões de baixa pressão romperam a 37.000 psi, enquanto as de média e alta pressão suportaram mais de 75.000 psi sem falhas. Conclui-se que a escolha da conexão adequada depende da classe de pressão, tipo de fluido e aplicação, sendo necessário seguir rigorosamente as especificações de montagem. Sugere-se a investigação futura das pressões de colapso, uma lacuna identificada nos catálogos consultados.

Palavras-chave: Conexões hidráulicas, alta pressão, dupla anilha, aço inox 316, testes hidrostáticos, vedação, sistemas pneumáticos.

ABSTRACT - This study analyzes low, medium, and high-pressure fittings in hydraulic and pneumatic systems, highlighting their main components, materials, and performance under extreme conditions. Stainless steel 316 fittings were tested, with emphasis on double ferrule models for low pressure (up to 15,000 psi) and conical and threaded fittings for medium and high pressure (up to 150,000 psi). Hydrostatic tests indicated that low-pressure fittings failed at 37,000 psi, while medium and high- pressure fittings withstood over 75,000 psi without failures. It is concluded that selecting the appropriate fitting depends on the pressure class, fluid type, and application, making it essential to strictly follow assembly specifications. Future investigations into collapse pressures are suggested, as this gap was identified in the consulted catalogs.

Keywords: Hydraulic fittings, high pressure, double ferrule, stainless steel 316, hydrostatic tests, sealing, pneumatic systems.

1 INTRODUÇÃO

Em sistemas de fluido hidráulico ou pneumático, as conexões são componentes fundamentais. A principal função das conexões de alta e baixa pressão é interligar tubos e mangueiras, sendo aplicáveis em qualquer sistema industrial. Para resistir à força de líquidos, como água, óleos ou gases. que fluem em alta velocidade. Essas conexões devem ser fabricadas com materiais especiais que garantam sua integridade durante o transporte. As conexões de compressão são essenciais para equipamentos que operam em baixa pressão, com capacidade para até 15.000 psi (1.034 bar). Para aplicações de média pressão, utilizam-se conexões cônicas e rosqueadas que suportam até 20.000 psi (1.380 bar). Já os equipamentos de alta pressão, também cônicos e rosqueados, são projetados para operar em uma faixa que varia de 30.000 psi (2.070 bar) a 150.000 psi (10.340 bar).

Essas conexões, frequentemente referidas como conectores ou adaptadores, tees, cotovelos e niples são componentes padrão utilizados para interligar tubos, mangueiras, válvulas e outros dispositivos. É crucial que essas conexões sejam capazes de suportar as pressões médias e altas do sistema sem apresentar vazamentos ou deformações plásticas, garantindo assim uma operação confiável e segura. As conexões de alta pressão tornaram-se um padrão na indústria para aplicações que envolvem pressões e temperaturas elevadas, tanto em líquidos quanto em gases. Para garantir a segurança e a eficiência, o equipamento deve ser capaz de operar em condições extremas, apresentando resistência à alta pressão, sendo destacável, reutilizável e evitando vazamentos durante a operação. O uso mais comum das conexões são: mais comum indústria de petróleo e gás, Testes hidrostáticos e de pressão, Equipamentos de corte a jato d'água, Controle de processos em plantas químicas. A confiabilidade e a facilidade de montagem são características essenciais das conexões de tubos cônicos e rosqueados. Este design tem sido amplamente utilizado com sucesso para suportar pressões de até 150.000 psi e temperaturas que variam de -160°C a 650°C, sendo aceito em inúmeras aplicações laboratoriais e industriais ao redor do mundo nos últimos 35 anos. O Estudo tem o objetivo de esclarecer as diferenças de conexões de baixa, média e alta pressão especificando suas faixas de operação e os tipos de materiais necessários para garantir resistência, vedação e segurança em condições extremas de pressão e temperatura

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Componentes Principais das conexões de baixa pressão com dupla anilha em aço inox

316 – desenho esquemático na figura 1.

- **Porca de Compressão**: A porca de compressão é o componente responsável por apertar as anilhas contra o tubo e a base da conexão. Quando a porca é apertada, ela exerce pressão nas anilhas, comprimindo-as contra o tubo, garantindo uma vedação firme e segura
- **Anilhas de Compressão (Dianteira e Traseira):** As anilhas de compressão são as peças principais responsáveis pela vedação. Elas pressionam o tubo contra o corpo da conexão, criando uma vedação hermética e evitando vazamentos.
- **Corpo da Conexão Função**: O corpo da conexão é a peça central que conecta dois tubos ou acessórios. Ele abriga as anilhas e o tubo, formando a estrutura que mantém a vedação e a integridade do sistema.
- **Porca de Fixação:** Aperta a conexão, garantindo que as superfícies cônicas se mantenham em contato firme, mesmo sob variações térmicas ou mecânicas.

Figura 1 - Conexão para pressões até psi



Na Figura 2 está apresentado um esquema da conexão de aço inxodável para pressões de até 150000 psi e na figura 3 uma foto da mesma conexão.

Figura 2 – Esquema da conexão para pressões até 150.000 psi

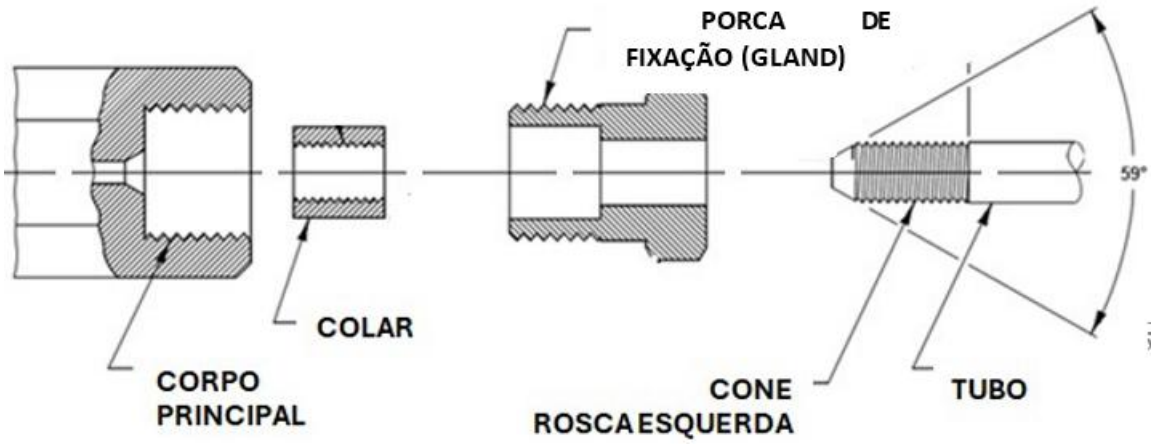


Figura 3 - Conexão para pressões até 150.000 psi



- **Corpo Principal:** Geralmente feito de aço inoxidável 316, Hastelloy ou Inconel, materiais que resistem à corrosão e à fadiga.
- **Cones e Roscas:** A vedação ocorre pelo encaixe de superfícies cônicas, criando um contato metal-metal que impede vazamentos. As roscas mantêm a conexão firme mesmo sob vibração intensa.
- **Porca de Fixação (Gland):** Aperta a conexão, garantindo que as superfícies cônicas se mantenham em contato firme, mesmo sob variações térmicas ou mecânicas.
- **Colar:** Envolve a extremidade do tubo, sendo apertado para criar uma vedação rígida.

A extremidade do tubo é usinada para criar um cone com um ângulo incluído de 59°. Em seguida, uma rosca esquerda é cortada no diâmetro externo do tubo. Essa preparação pode ser

realizada utilizando as ferramentas de cone e rosqueamento disponíveis no catálogo da BuTech. A gland é deslizada sobre o tubo, e o colar é parafusado na parte rosqueada. O subconjunto é então inserido no corpo do encaixe, e a glândula é apertada com o torque adequado. A conexão resultante pode ser utilizada para pressões de até 150.000 psi.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos após a avaliação e testes de pressão extremas mostrou que os dois modelos de conexões são extremamente seguros se montados conforme especificações do fabricante. Podemos notar os seguintes pontos:

Confiabilidade Extrema: Suportam pressões altíssimas sem vazamentos.

Facilidade de Manutenção: Podem ser desmontadas e remontadas sem perda de desempenho. Durabilidade: Resistentes à corrosão, ciclos de temperatura e vibrações intensas.

Modularidade: Compatíveis com diversos sistemas, facilitando a personalização de circuitos hidráulicos complexos.

Para os testes hidrostáticos e ruptura, foi utilizado uma bancada de testes com capacidade de pressão de 75.000 PSI, e testados com água. A bancada foi fornecida pela empresa Flutrol localizada em São Paulo.

Os tubos e conexões de baixa pressão, ou seja, com pressão máxima 15.000 PSI, alcançaram pressões de 37.000 PSI até o seu rompimento conforme figura 4.

Figura 4. Rompimento do tubo na pressão de 37.000 PSI



O tubo que foi rompido se trata de um tubo de 3/8” x 0,049” de parede conforme TABELA 01. O Fabricante desse tubo e suas conexões são do fabricante Superlok. Como desvantagem

elas exigem uma atenção maior para não montar as anilhar de forma incorreta, o que acarretara um incidente e um possível acidente.

Tabela 1 – Tabela de tubos superlok baixa pressão

Tube O.D. (inch)	TUBE WALL THICKNESS (inch)												
	0.010	0.012	0.014	0.016	0.020	0.028	0.035	0.049	0.065	0.083	0.095	0.109	0.120
1/16	5600	6800	8100	9400	12000								
1/8						8500	10900						
3/16						5400	7000	10200					
1/4						4000	5100	7500	10200				
5/16							4000	5800	8000				
3/8							3300	4800	6500				
1/2							2600	3700	5100	6700			
5/8								2900	4000	5200	6000		
3/4								2400	3300	4200	4900	5800	
7/8								2000	2800	3600	4200	4800	
1									2400	3100	3600	4200	4700

Para os tubos e conexões de média pressão conforme TABELA 02 e os tubos de alta pressão conforme TABELA 03 o equipamento não conseguiu romper os tubos, mostrando que suportam pressões maiores que 75.000 PSI, o tubo não apresentou nenhuma alteração em suas dimensões ou propriedades mecânicas. Como desvantagem essas conexões exigem torque correto e lubrificação para não engripar a rosca.

Tabela 2 - Tabela de tubos butech média pressão

Tube O.D.	Connection	Orifice	Cv*	MAWP+
1/4"	1/4" M/P	0.109" (2.8)	0.31	20,000 PSI 1380 bar
3/8"	3/8" M/P	0.203" (5.2)	0.75	20,000 PSI 1380 bar
9/16"	9/16" M/P	0.312" (7.9)	1.75	20,000 PSI 1380 bar
3/4"	3/4" M/P	0.438" (11.1)	2.80	20,000 PSI 1380 bar
1"	1" M/P	0.562" (14.3)	5.20	20,000 PSI 1380 bar

Tabela 3 - Tabela de tubos butech alta pressão

Tube O.D.	Connection	Orifice	Cv*	MAWP+
1/4"	1/4" H/P	0.093" (2.4)	0.12	30,000 PSI 2070 bar
3/8"	3/8" H/P	0.125" (3.2)	0.23	30,000 PSI 2070 bar
9/16"	9/16" H/P	0.187" (4.7)	0.33	30,000 PSI 2070 bar
1"	1" H/P	0.438" (11.1)	2.80	30,000 PSI 2070 bar
9/16"	9/16" H/P	0.109" (2.8)	0.31	40,000 PSI 2760 bar
1/4"	1/4" H/P	0.062" (1.6)	0.08	60,000 PSI 4140 bar
3/8"	3/8" H/P	0.062 (1.6)	0.09	60,000 PSI 4140 bar
9/16"	9/16" H/P	0.078" (2.0)	0.14	60,000 PSI 4140 bar
5/16"	5/16" H/P	0.094" (2.4)	0.08	150,000 PSI 10340 bar

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que, para a escolha do tipo de conexão a ser utilizada, é fundamental conhecer a classe de pressão, o tipo de fluido, a vazão e a aplicação do sistema hidráulico ou pneumático. Além disso, é imprescindível que o engenheiro ou projetista tenha pleno domínio do sistema e de suas aplicações. Para trabalhos futuros, observa-se que os catálogos e estudos consultados não fazem referência às pressões de colapso, o que representa uma lacuna a ser explorada.

5 AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à empresa Flutrol pelo apoio fundamental prestado durante a realização deste trabalho. A disponibilização de equipamentos e o fornecimento de recursos e o laboratório foram essenciais para o desenvolvimento das atividades experimentais, contribuindo de maneira significativa para a qualidade e a execução do projeto e demonstrando um compromisso notável com o avanço do conhecimento e a inovação na área de hidráulica de alta pressão.

6 REFERÊNCIAS

Asme. B31.3 - process piping. New york: american society of mechanical engineers, 2018.

Associação brasileira de normas técnicas. Nbr 15526: sistemas de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos — requisitos. Rio de janeiro, 2021.

Associação brasileira de normas técnicas. Nbr 9650: redes de distribuição de água — ensaios de estanqueidade. Rio de janeiro, 2012.

Brasil. Ministério do trabalho e emprego. Nr-13: caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Brasília, 2019.

De oliveira, v. G.; silva, l. G. De a. E.; marinucci, g. Creep analysis of a grp cylinder under hydrostatic test / análise de fluência de um cilindro grp sob teste hidrostático. Brazilian journal of development, v. 8, n. 3, p. 20094–20100, 2022.

E silva, v. Et al. Análise de fadiga com o método de elementos finitos para melhorar performance do equipamento de laminação a frio do cordão de solda de tubos de aço inoxidável. Proceedings of the xi congresso nacional de engenharia mecânica - conem 2022. Anais...abcm, 2022.

Ferreño, d. Et al. Machine learning assessment of the importance of unirradiated yield strength as a variable in embrittlement trend forecasting. International journal of pressure vessels and piping, v. 214, n. 105444, p. 105444, 2025.

Fleischhauer, y. D. E. A. S. A. Et al. Investigação da cedagem em processo de laminação de aço inoxidável austenítico 316l. Abm proceedings. Anais...são paulo: editora blucher, 2024