

## ESTUDO SOBRE SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA USO EM TUBULAÇÕES QUE TRANSPORTAM GASES EM ALTA PRESSÃO

Larissa de Oliveira Silva <sup>1</sup>  
Maria Clea Soares de Albuquerque <sup>2</sup>  
Camila Ribeiro de Oliveira Felix <sup>3</sup>

### RESUMO

Durante a etapa de produção do petróleo, são retirados dos poços gases e óleo que, a princípio, encontram-se em mistura com partículas de areia, água ou outras impurezas. Faz-se necessário uma separação inicial dessas substâncias, direcionando água, óleo e gases a diferentes dutos. As tubulações responsáveis pelo transporte dos gases a alta pressão devem suportar tais condições sem que haja danos à sua estrutura, garantindo melhor desempenho na produção e segurança, exigindo, também, altas precauções, como o uso de um material adequado que garanta o fluxo contínuo do fluido. Sob estes aspectos, este trabalho objetivou realizar um estudo de caso sobre tubulações que efetuam transporte de gás sob alta pressão e elaborar um plano de seleção do material que irá compor esta estrutura. Para tanto foram empregados os conceitos do Índice de mérito (IM), que determina as variáveis importantes do processo e suas relações funcionais, e a Metodologia de Ashby, que identifica o perfil de atributos do material desejado e o compara com os dos materiais de engenharia reais para encontrar a melhor combinação de propriedades. Por fim, demonstrou-se o uso dessas metodologias e a classe dos metais como aquela que reúne as maiores vantagens para uso nas estruturas tubulares de alta pressão, e, entre esses, o aço-carbono como a liga mais indicada.

**Palavras-chave:** Transporte de gás, Seleção de materiais, Gás em alta pressão.

### INTRODUÇÃO

É imprescindível que haja a separação das misturas de hidrocarbonetos, inicialmente retiradas dos poços, pois nelas contém porcentagens de água, possíveis pedregulhos, partículas de areia, gases, sejam condensados ou não, e diversas outras impurezas. A presença desses elementos dificulta a eficácia no processo da aplicação dos óleos ou gases em suas finalidades específicas, sua retirada reduz problemas de corrosão e prolongam a vida útil das peças, reduzindo gasto com produtos químicos que previnem o desgaste dos materiais.

Devido às condições de alta pressão e temperatura interna dos reservatórios, todos os fluidos contidos nele também portam esses mesmos requisitos. As mais altas pressões, em particular dos gases, ultrapassam o valor de  $5\text{kgf/cm}^2$ , aproximadamente 500 kPa. Uma panela de pressão caseira de 4,5 litros pode atingir uma pressão manométrica em torno de 1 atm,

<sup>1</sup> Graduando de Engenharia Mecânica, IFBA, Campus Simões Filho, larissadeoliveirasilva1998@gmail.com;

<sup>2</sup> Dra em Engenharia de Processos, IFBA, Campus Simões Filho, cleaalbuquerque@ifba.edu.br;

<sup>3</sup> Dra em Engenharia de Processos, IFBA, Campus Simões Filho, camila\_rib@yahoo.com.br.

equivalente a 101,325 kPa, e temperaturas próximas a 120° C [1]. Numa escala comparativa, as pressões dos gases correspondem a valores 4,9 vezes maiores que o da panela de pressão, logo, os dispositivos que transportam e armazenam tais substâncias devem ser trabalhados sob precauções extremas. Isto requer um estudo aprofundado, envolvendo o conhecimento de todas as especificidades desse material, inclusive como ele age microscopicamente [2].

Essa pesquisa foi desenvolvida a fim de compreender de forma clara como ocorre a seleção dos materiais que mais são adequados para suportar as condições de altas temperatura e pressão, sem que ocorram deformações permanentes, que favorecem as rupturas das tubulações de transporte de gás entre o separador inicial e a fase de desidratação. Simultaneamente, apresentar metodologias, como Índice de Mérito e Cartas de Seleção de Ashby, que serão utilizadas como ferramentas auxiliares durante as etapas de planejamento e seleção do material a ser utilizado nas tubulações e elaborar um passo a passo das mesmas, listando possibilidades de materiais e eliminando opções de acordo com a função principal dos dutos. Isto aprimorará uma visão mais científica do conteúdo, pois a seleção de materiais vai desde o planejamento técnico às análises de desenvolvimento do projeto, e é indispensável utilizar ferramentas que auxiliem a aprimorar tal procedimento [3].

O processo metodológico utilizado consiste diretamente em uma revisão bibliográfica acerca do assunto, buscando demonstrar uma visão coerente de algumas etapas necessárias durante o processo de seleção de um material. Feito isto, apresentar valores numéricos do dimensionamento normalizado de um gasoduto adequado para a função em que lhe é submetido: o transporte de gás natural em elevadas pressões. Posteriormente, concluiremos que as ligas metálicas de aço-carbono serão as mais indicadas para tal.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

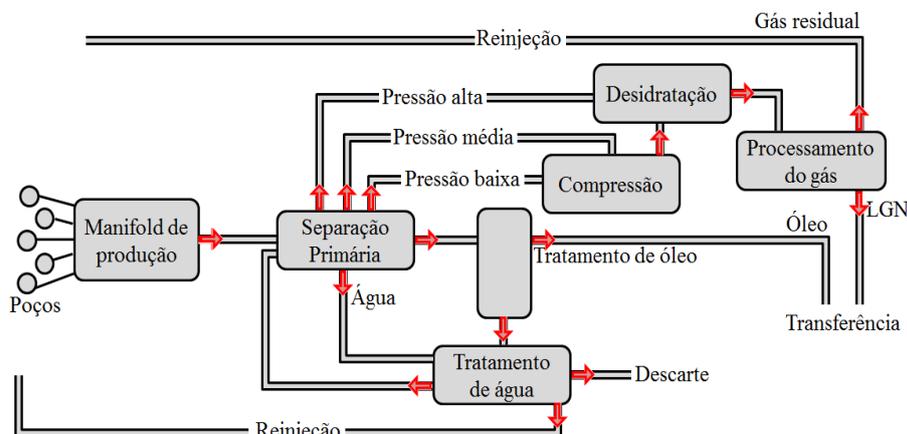
Em campos terrestres de produção de Petróleo e Gás Natural, são perfurados diversos poços a fim de atingir os reservatórios subterrâneos, onde estão contidos os hidrocarbonetos. Após o processo de perfuração e cimentação dos poços, estes são preparados para iniciar a produção, ou seja, são utilizados métodos de elevação dos fluidos até a superfície, onde devem passar pelo processo primário e secundário de separação.

Esses poços, já em produção, são ligados ao *manifold*, um equipamento que contém um conjunto de válvulas que direcionam o fluxo a um único duto condutor, levando-o ao início da separação primária [4]. Nesta primeira etapa a mistura é encaminhada aos vasos

separadores, sendo água, óleo e gás encaminhados a diferentes dutos. São equipamentos que trabalham sob pressão em torno de 900 kPa [5]. Porém, por ser uma separação inicial, não é garantido que, por exemplo, no percurso da tubulação do óleo haverá somente os hidrocarbonetos em fase líquida. No contato superficial entre água e óleo, partículas de água podem encontrar-se misturadas, sendo pequenas frações de água encaminhadas juntas ao óleo, e vice-versa. Este princípio também é válido para as interfaces gás – óleo. Logo, é de extrema importância uma segunda etapa de separação, garantindo melhor qualidade do produto.

No fluxograma, exibido na Figura 1, há um esquema que representa essas etapas. Após a separação primária, o óleo e a água são encaminhados diretamente ao tratamento. Já os gases, ainda nesta separação inicial, são conduzidos a três destinos distintos: divididos em baixa, média e alta pressão. As tubulações referentes às baixas e médias pressões são conectadas a um compressor, que eleva a pressão desses gases e lhes direciona ao desidratador, resultando em um gás totalmente seco.

**Figura 1: Fluxograma do processamento primário dos fluidos**



Fonte: Adaptado de ANDRADE, Vívian (2009, p. 4) [6].

Quanto aos gases classificados como de alta pressão, são encaminhados diretamente à sessão de desidratação, onde ocorre a retirada total de umidade. Já aqueles com média e baixa pressão são encaminhados a um compressor, que reduz os seus volumes [6]. Com a redução do volume do fluido, um menor local de armazenamento será necessário. Quanto menos caldeiras, melhor a área do campo será aproveitada, assim como menor será o custo com a obtenção desses equipamentos. Por fim, o resultado desse fluido poderá ou ser reinjetado no poço como gás *lift* (gás injetado no poço para aumentar a vazão de produção), ou encaminhado para a indústria, o chamado GNL – Gás Natural Liquefeito, apto para distribuição [6].

As etapas relatadas precedem o processo de refinação, que ocorre de forma mais complexa: o processamento do óleo, condicionamento do gás e tratamento da água. Essa etapa envolve, entre outras coisas, a destilação, para separar os compostos que formam o petróleo e, em seguida, os tratamentos finais para comercialização [5]. Posteriormente o óleo é transferido para a indústria e a água poderá ser descartada ou reinjetada nos poços.

São as tubulações que conduzem os gases de alta pressão que investigamos neste trabalho. A partir do levantamento bibliográfico realizado sobre o funcionamento dessas estruturas [5] [6], submetidas a condições críticas de funcionamento e identificação dos valores de tensão necessários à sua utilização, buscamos um método de seleção de materiais que possibilite escolher, dentre as diferentes classes de materiais existentes, aquele mais adequado para a sua fabricação.

Dentre os diversos fatores que influenciam a escolha de um material adequado para compor a tubulação, temos a natureza dos esforços mecânicos incidentes sobre a estrutura, as propriedades do fluido, bem como os desgastes operacionais decorrentes da reatividade química do material da tubulação em contato, condições ambientais e o custo [7].

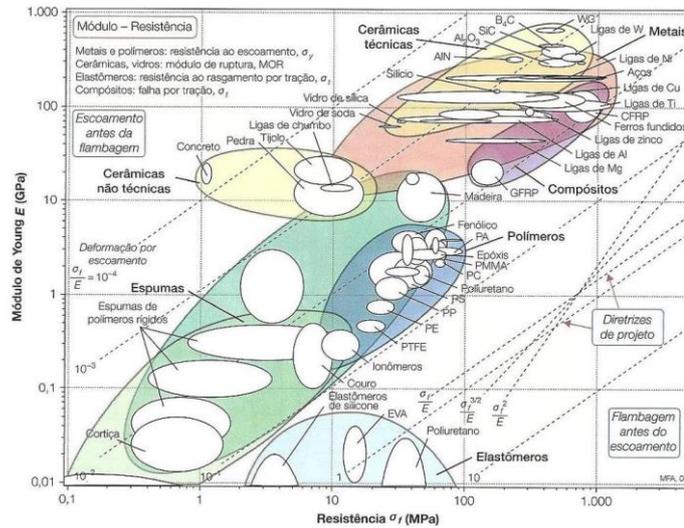
O índice de mérito (IM) é um dos conceitos importantes no processo de seleção de Materiais. Trata-se de uma fórmula algébrica, em forma de fração, que relaciona uma propriedade favorável, posta no numerador, com outra que pouco se deseja para o equipamento, no denominador. Quanto maior for essa razão, maior o IM. O objetivo é maximizar as propriedades mais importantes para o desenvolvimento do equipamento e, ao mesmo tempo, restringir uma característica que desfavoreça a eficiência do mesmo [3].

A exemplo do caso estudado podemos relacionar resistência à tração à condutividade térmica. O material deve apresentar alta resistência devido à força de tração interna, provocada pela alta pressão do fluxo gasoso, e baixa condutividade térmica. Quanto mais condutor, menos seguro se tornará o meio de trabalho, sendo necessário investir ainda mais em isolantes térmicos [8].

A metodologia de Ashby para seleção de materiais são gráficos, também chamados de mapas, que relacionam duas propriedades mecânicas, em seus eixos ortogonais, e também regiões proporcionais aos valores das diversas classes de materiais existentes, porém é um método que possui uma limitação primária, pois a partir da eleição de algumas classes, deverá ser analisada posteriormente a lista de materiais que compõem esse grupo [9]. No exemplo a seguir temos a Figura 2 mostrando uma das cartas de seleção relacionando resistência com

rigidez. Analisando as escalas, quanto mais à direita e mais acima da região no gráfico, teremos as classes de materiais mais rígidos e resistentes simultaneamente [10].

**Figura 2: Diagrama de Ashby relacionando Resistência e Módulo de Young**



Fonte: Diagrama de Ashby [10].

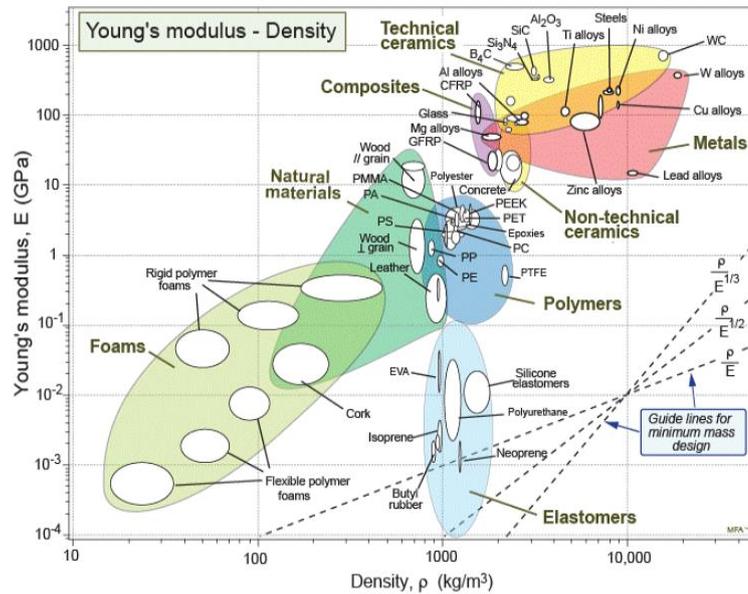
## METODOLOGIA

Aplicando o Índice de Mérito, a tensão limite de escoamento é uma propriedade que deve ser maximizada, pois correntes de fluido gasoso passam constantemente no interior das tubulações, levando à necessidade de suportar tensões trativas sem que haja deformações permanentes. Outra característica do material que também pode ser analisada, porém obedecendo critérios de exigência contrária, é o potencial de condução térmica.

Caso seja um material que conduza facilmente em altas temperaturas, maior será o custo na instalação de isolantes térmicos. E como este fator também é analisado durante a seleção, quanto menor forem os custos totais, mais chances terão o material de ser selecionado. É necessário utilizar materiais de baixa condutividade térmica, em torno das tubulações para garantir menor perda de calor para o meio ambiente, efetivando todo o processo [11].

Quanto à metodologia de Ashby, serão apresentados alguns dos mapas de seleção, explicando a relação entre as propriedades e a situação, eliminando algumas classes de acordo com sua posição no mapa. A figura 3 indica, aproximadamente, o quanto o material é rígido (Módulo de elasticidade E), simultaneamente comparado com a densidade volumétrica ( $\rho$ ).

**Figura 3: Diagrama de Ashby relacionando Módulo de Young e Densidade**

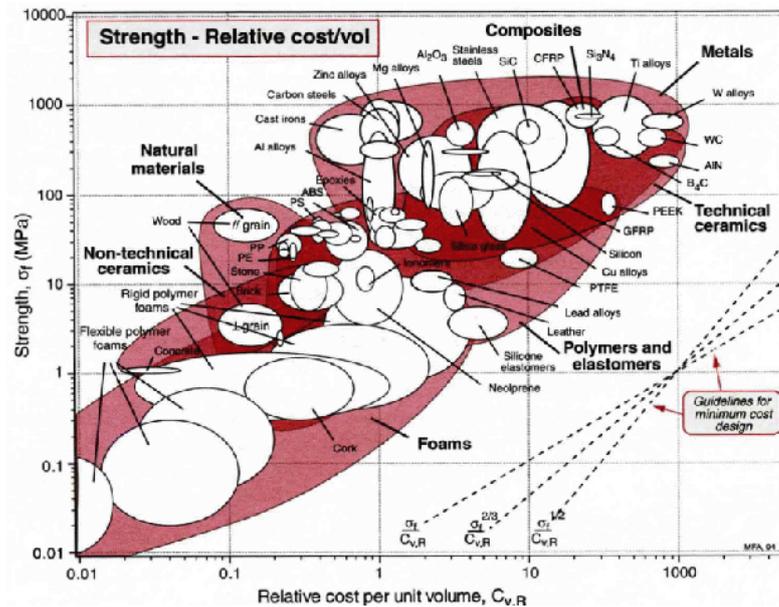


Fonte: RAMOS, Felipe. (2015, p. 14) [12]

Conclui-se que as classes mais rígidas e densas, simultaneamente, são os cerâmicos técnicos e metais, pois se encontram mais à direita e mais acima na área do gráfico. Retornando à Figura 2 (Diagrama de Ashby relacionando Resistência e Módulo de Young), e usando o mesmo raciocínio anterior, concluímos que os cerâmicos técnicos, metais e compósitos são os que mais atendem às especificações quanto aos critérios de resistência à tração e rigidez.

A próxima imagem, exibida na Figura 4, relaciona a resistência à tração dos materiais e os seus custos relativos por unidade de volume. A vantagem de adquirir um material com alta resistência e menor custo relativo por unidade de volume recai sobre a quantidade necessária do mesmo durante a fabricação do equipamento. Uma vez escolhido um material de menor custo relativo por unidade de volume, o custo de produção será menor [13].

**Figura 4: Diagrama de Ashby relacionando Custo relativo por unidade de volume e Tensão**



Fonte: VIEIRA, Kletson. Trabalho sobre cartas de Ashby [13]

Percebemos que aqueles que suportam as maiores tensões são os compósitos e metais, no entanto, maiores serão seu custo relativo unidade de seu volume. Dentre os gráficos analisados, os dados coletados nos mesmos, com as melhores opções já discutidas, foram organizados na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2: Resumo das informações obtidas nos gráficos e mapas analisados**

Propriedades relacionadas	Opções mais indicadas
Resistência e Módulo de Young	Metais, Cerâmicas técnicas e compósitos
Módulo de Young e Densidade	Cerâmicos e Metais
Custo relativo por unidade de volume e Tensão	Compósitos e Metais

Fonte: elaborada pela autora.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do conjunto de dados analisados, os materiais que reúnem as melhores condições são os materiais compósitos, cerâmicos técnicos e metálicos. Os cerâmicos são em sua maioria isolantes, com elevado ponto de fusão e altamente resistentes, porém a sua fragilidade limita o seu uso neste tipo de aplicação [14].

Os materiais compósitos, assim como os metais, reúnem as propriedades necessárias ao uso, porém o custo limitaria a sua aplicação [15].

Por fim, temos os metais e suas ligas e dentro desse grupo, uma lista grande que envolve as ligas de aço, alumínio, zinco, titânio, cobre, ouro, ferro, dentre outros [16].

A Tabela 3 a seguir indica algumas opções de materiais metálicos, um subgrupo dentre as várias opções existentes, que apresentam elevadas temperaturas que podem alterar a remissão mecânica e proporcionar oxidação do material indicado.

**Tabela 3: Materiais para elevadas temperaturas**

Material	Temperatura limite de remissão mecânica	Temperatura limite de início de oxidação interna
Aço-carbono aclamado (Si) A-106 ou A-672 Gr B-60, 70	450°C	530°C
Aço liga ½ Mo	510°C	530°C
Aço liga ¼ Cr- ½ Mo	550°C	550°C
Aços inoxidáveis tipos 304 e 316	600°C	900°C
Aços inoxidáveis tipos 304H e 316H	650°C	900°C
Inconel, Incoloy	850°C	1200°C

Fonte: SENAI, Tubulação Industrial e Estrutura Metálica [8]

Muitas tubulações das indústrias petroquímicas, em geral, são construídas de aço-carbono, aços-liga ou aços inoxidáveis, dependendo da temperatura de serviço [8]. Geralmente, nas refinarias de petróleo, mais de 90% de toda a tubulação é de aço-carbono [17]. Recomenda-se que as temperaturas de operação das tubulações de grande porte, como as estudadas nesta pesquisa, por motivos de segurança, quanto às consequências corrosivas decorrentes da exposição em elevadas temperaturas, não ultrapassem 450°C.

Para atender essas condições de temperaturas, a norma ANSI/ASME B. 31.3 [18], para Tubulações em Indústrias Químicas e Refinarias de Petróleo, estabelece, com relação ao limite de temperatura anteriormente citado, tensões internas admissíveis que variam entre 654 a 844 kg/cm<sup>2</sup> [18]. Deve-se, ainda, em um projeto, analisar a possibilidade e a viabilidade da instalação de isolantes térmicos revestidos nas superfícies internas desses tubos [8].

As normas ANSI B.36.10 e B.36.10 [18] especificam, para o dimensionamento de tubos de aço, valores correspondentes a diâmetros externos, internos, espessuras do tubo, peso, entre outras propriedades. Por exemplo, caso seja adotado um modelo de gasoduto com diâmetro nominal de 30", ele deverá ter 7,92 mm de espessura de parede e peso aproximado

de 147,2 kg/m [18]. Cabem aos profissionais analisarem a situação real em que a estrutura estará sendo submetida para propor corretamente os valores ideais.

Vale ressaltar que quanto mais carbono tiver o aço, maior será a sua dureza, limite de resistência e de escoamento e menor, a sua ductilidade. Devido a isso, a quantidade de carbono permitida é de 0,35% [8]. Percebe-se, portanto, que o aço-carbono é uma das opções, dentro da classe dos metais, que melhor pode ser indicada para o uso nas tubulações estudadas neste trabalho.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para indústrias de alto porte e responsabilidade, como a petrolífera, conhecer e dimensionar os equipamentos que são utilizados para armazenamento e transporte das substâncias, sobretudo os gases, é de extrema importância, pois quaisquer falhas mecânicas, podem levar a consequências bastante graves.

A partir das características de projeto da tubulação de gás de alta pressão, descritas inicialmente neste trabalho e que são utilizadas no processamento primário do petróleo, foram apresentadas duas metodologias para selecionar um material que poderá ser indicado para tal função, obedecendo as características térmicas do fluido transferido e demais necessidades técnicas envolvidas. Após o emprego das metodologias, Índice de Mérito e Mapas de Ashby, chegou-se à conclusão de que a classe de materiais mais indicada para uso nessas estruturas, é a dos metais.

Algumas normas serviram de apoio para eleger, dentre os materiais metálicos, os aços-carbono como ligas mais apropriadas. Porém, recomenda-se que ainda devem ser feitos outros estudos mais aprofundados, com o emprego, por exemplo, de Matrizes de Decisão, as quais permitem avaliar e decidir qual melhor alternativa, dentre os critérios exigidos, para a seleção do material [3]. Além dessa metodologia, é importante também realizar ensaios mecânicos e de caracterização microestrutural, a fim de complementar as análises realizadas e a qualidade e desempenho do produto final.

## REFERÊNCIAS

[1] SILVEIRA, Fernando Lang da. **Pressão na panela**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=pressao-na-panela>>. Acesso em: 18 Nov. 2018.

- [2] CALLISTER, Willian D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução**; tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. 7.ed – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- [3] Ferrante, M. **Seleção dos materiais de construção mecânica: estratégias e metodologia básica**. In: Simpósio sobre materiais, 2000, Rio de Janeiro. Anais.
- [4] BR PETROBRÁS. **Manifold**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-curiosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>>. Acesso em: 5 Set. 2018.
- [5] VAZ, Célio Eduardo Martins; MAIA, João Luiz Ponce; SANTOS, Waldir Gomes dos. **Tecnologia da Indústria do Gás Natural** – 1ª ed. – São Paulo: Blucher, 2008.
- [6] ANDRADE, Vívian Tavares de. **Avaliação da toxicidade de água produzida tratada por processo evaporativo com a finalidade de reúso em solo**. 164 p. Tese (Doutorado) Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Acesso em: 24 Set. 2018.
- [7] Portal Met@lica. **Tubulações Industriais**. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/intalacoes-industriais-tubulacao-industrial>>. Acesso em: 12 Ago. 2018.
- [8] PCO – Programa de Certificação Operacional CST. **Tubulação Industrial e Estrutura Metálica**. SENAI – CST – Arcelor Brasil.
- [9] Brascher, Gabriel Casagrande; Scalice, Régis Kovacs; Becker, Daniela. **Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD**. In: 8º Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto – CBGDP 2011 – Porto Alegre, RS – Brasil.
- [10] **Diagrama de Ashby**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/docsimages/64/51501120/images/43-0.jpg>>. Acesso em: 21 Nov. 2018.
- [11] PISSANTI, Daniela; RECH, Marcos. **Determinação do coeficiente de condutividade térmica**. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Daniela\\_Marcos.pdf](http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Daniela_Marcos.pdf)>. Acesso em: 14 Abr. 2019.
- [12] RAMOS, Felipe Mesquita. **Estudo de Caso envolvendo a Ferramenta ECO Design na Metodologia de Seleção de Materiais**. Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2015.
- [13] VIEIRA, Kletson. **Trabalho sobre cartas de Ashby**. Arquivado no curso de Engenharia Mecânica na UFRN. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAA4VUAD/trabalho-sobre-cartas-ashby>>. Acesso em: 6 Fev. 2019.

- [14] ZANOTTO, Edgar Dutra; MIGLIORE JR, Angelo Rubens. **Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos**. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, 1991.
- [15] BISCAINHO, Clarissa Alves. **Materiais Compósitos: Um dos maiores avanços**. IFP School – França, 2017. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2017/05/19/materiais-compositos/>>. Acesso em: 10 Abr. 2019.
- [16] PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de Engenharia – Microestrutura e propriedades**. 2ª ed. Curitiba: Hemus, 2007.
- [17] TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem**. 10ª ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [18] TELLES, Pedro Carlos da Silva; BARROS, Darcy G. de Paula. **Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações**. 6ª ed., ver. e ampliada. – Rio de Janeiro: Interciência, 1998.