



TUBOS CENTRIFUGADOS DE FERRO FUNDIDO VERMICULAR: CARACTERÍSTICAS E PRODUÇÃO ¹

Ivaldo Assis do Nascimento ²
Assis Moura Nascimento ³
André Luis de Brito Baptista ⁴

Resumo

A utilização do ferro vermicular para canalizações reside no fato de otimizar um baixo custo de produção com alta resistência à corrosão e propriedades mecânicas de bom nível. No presente trabalho faz-se uma revisão da literatura referente ao surgimento de tubos de ferro fundido, as particularidades e características deste tipo de ferro; mostrando também o método de fabricação aplicado.

Palavras -chave: Tubo; Centrifugação; Ferro fundido.

CENTRIFUGUED VERMICULAR CAST IRON PIPES: CHARACTERISTICS AND PRODUCTION

Abstract

Vermicular iron is used to make pipelines because it optimizes low production costs, has high corrosion resistance and good mechanical properties. This work reviews literature referring to when cast iron pipes emerged, the particularities and characteristics of this type of iron, as well as describing the production method used.

Key works: Pipe; Centrifuging; Cast iron.

¹ *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Engenheiro Mecânico - Diretor Técnico e Coordenador da Divisão de Ensino e Pesquisa da Spectru Ltda*

³ *Técnico de Desenvolvimento Especializado em Sistemas Informatizados. - Responsável Técnico pela Divisão de Informática e Informações Tecnológicas da Spectru Instrumental Científico Ltda.*

⁴ *Técnico Industrial Metalúrgico Especializado – Técnico Metalurgista da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda / Universidade Federal Fluminense e Técnico de Pesquisa e Desenvolvimento da Divisão de Metalurgia da Spectru Instrumental Científico Ltda. Graduando em Administração de Empresas da FASF – Faculdade Sul Fluminense do Instituto de Cultura Técnica.*

1 INTRODUÇÃO

Somente por volta de 1350 é que obteve-se ferro em estado líquido, onde observou-se que havia grafita precipitada na forma lamelar. As experiências em modificar a cristalização dessa grafita, para a forma nodular começaram em 1936. Em 1955, houve sugestão da utilização de um material com morfologia de grafita intermediária as duas primeiras, sendo denominada de vermicular. Este tipo de ferro fundido encontrou grande aplicação em discos e tambores de freio, coletores de escape, cabeçotes, pistões, lingoteiras e placas de assentos, engrenagens, bloco de motores, carcaças de turbinas e bombas, componentes hidráulicos (tubos e conexões) e engrenagens.

2 TUBOS DE FERRO FUNDIDO

Desde o começo da civilização o emprego das canalizações é conhecido pelo homem antes mesmo do surgimento da escrita, sendo descobertos vestígios ou redes completas de tubulações nas ruínas da Babilônia, Pompéia, China Antiga e muitas outras.

Em Nippur (Babilônia), foram encontrados tubos de argila cozida com mais de 5000 anos de idade. Materiais dessa natureza foram encontrados na Civilização de Cnossos na Ilha de Creta, cerca de 2000 anos a.C. e na antiga Mesopotâmia junto a conexões, com curvas, Tês etc.

As antigas tribos Africanas, criaram cerca de 1000 a.C., um rudimentar mais eficiente sistema de irrigação, utilizando-se como tubos, bambus e troncos de árvores secas

A história narra a existência de tubos de madeira, pedras perfuradas, túneis e aquedutos em cidades Gregas e Romanas.

Provavelmente os não – ferrosos, achados em estado nativo ou metálico, foram os primeiros metais usados pelo homem. Podemos citar como fonte histórica os tubos de cobre descobertos no templo de Abusir, perto das pirâmides e os Romanos que fabricavam canos de chumbo, dobrando chapas desse metal em torno de um cilindro de madeira e soldando as duas bordas.

De acordo com muitos arqueólogos, à medida que o homem aprimorava as suas artes o, uso dos objetos metálicos aumentava vagarosamente.

A origem do ferro perde-se na noite dos tempos, talvez, tenha surgido, quando pedras de minério que circundavam fogueiras para aquecer as cavernas, foram reduzidas a metal pelo calor e em contato com a madeira carbonizada. A crença atual da maior parte dos metalurgistas modernos que se ocuparam do assunto, é de que o uso do ferro precedeu ao dos outros metais, por um considerável espaço de tempo, mas que a fácil corrosibilidade dos objetos de ferro apagou todos os traços do seu uso nas eras primitivas. Embora esta asserção nunca tenha sido provada, é bem possível que seja verdadeira, porque o ferro pode ser reduzido dos seus minérios muito mais facilmente e por métodos muito mais rudimentares. Além disso, observa-se também que os minérios de ferro são consideravelmente mais espalhados na terra do que os dos outros metais.

Nos antigos livros encontram-se registros do uso de canalizações de ferro já no ano 100 a. C..

Nessa primeira etapa de sua evolução, o ferro era obtido em pequenas quantidades e em estado pastoso diretamente do minério, mediante a ação do carvão de madeira que, pela queima, fornecia o calor.



Segundo os documentos de que se dispõe, a primeira corrida de ferro verificou-se em Siegem, no Ruhr (Alemanha), no Séc. XIV da nossa era, por volta de 1310.

Somente no decorrer do Século XV foram desenvolvidos métodos capazes de não apenas reduzir o ferro, a ferro metálico, mas também fundi-lo, de modo que o produto pudesse ser moldado nas formas desejadas. Um dos principais motivos pelo qual não se obtinha ferro líquido é justamente o fato de que os fornos eram pequenos demais e operavam a temperaturas muito baixas para permitir a absorção de carbono suficiente pelo ferro, de modo a abaixar o seu ponto de fusão suficiente.

Por volta de 1400, apareceram os primeiros altos-fornos, na Alemanha e na Áustria, construídos em alvenaria e com a forma de dois troncos de cone justapostos pela base.

Em 1444 houve a transição do processo direto para o processo indireto de obtenção do ferro.

O aumento da altura dos fornos e da capacidade de sopragem resultou na elevação da temperatura de trabalho, de modo que, pela primeira vez, se obteve ferro em estado líquido, nascendo assim a técnica de fundição de artefatos hidráulicos (tubos, conexões, tês etc.) .

Assim sendo houve um registro oficial de tubos em ferro fundido, em Siegerland, Alemanha, instalados no castelo de Dillenburg, em 1455 .

Em 1664, o Rei Luiz XIV da França fez construir uma rede de tubos de ferro fundido, com extensão de 24 km, desde a Casa de Bombas em Marly, no Rio Sena, até Versailles.

Os tubos tinham menos de 2 metros de comprimento. Esta foi a primeira rede, em tubos de ferro fundido, eficientemente instalada; estando em funcionamento ainda; após mais de 300 anos de serviço constante.

A seleção do local para as fábricas de ferro dependia da obtenção de minério, da existência de florestas naturais e; depois do emprego da roda d'água; da existência de rios ou riachos.

Com a demanda de madeira tornando-se cada vez maior, este combustível logo chegou a ser fator de limitação para o desenvolvimento da indústria.

Os esforços para arranjar substituto para o carvão vegetal resultaram no emprego de carvão mineral, porque a altura do forno foi aumentada, e o carvão vegetal não era mais capaz de resistir ao peso da carga.

O primeiro ferro fabricado com coque foi produzido em 1708 - 1709 por Abraham Darby, em Coalbrookdale, às margens do Rio Severn, na Inglaterra. Nesta época o material obtido em altos fornos usando carvão de pedra ou coque, não era considerado ainda de qualidade. Somente em 1742, também na Inglaterra, Richard Ford, conseguiu usar o coque com sucesso, propiciando a produção de ferro a mais baixo custo e permitindo então que canalizações de ferro começassem a ser implantadas em todo o mundo.

Desde que os sistemas de abastecimento foram desenvolvidos pelos Gregos e Romanos, a água tem sido usada como veículo de transporte de materiais de esgoto para os rios, lagos, mares, etc

Sendo necessário o tratamento de materiais de esgoto, nos fins do século passado, a importância dos tubos de ferro fundido cresceu isto deve-se ao fato de serem estanques, resistentes às infiltrações e à corrosão, além de permitirem a implantação de condutos sob pressão o que constituiu um fator a mais para a adoção dos tubos de ferro.

Existem mais de 130 redes de distribuição de água e gás, em ferro fundido, funcionando continuamente há mais de 100 anos. Nos Estados Unidos as suas 100 maiores cidades utilizam basicamente o ferro fundido nas redes de água, e uma das instalações mais antigas foi assentada em Filadélfia (1821) e em 1834 em Baltimore, instalou-se uma das primeiras redes de gás no país. Em Londres (1821) os tubos de ferro fundido permitiram a implantação da indústria de gás. No Brasil, temos como exemplo, tubos de ferro fundido funcionando em São Paulo desde 1833 e no Rio de Janeiro desde 1840.

Com a grande demanda destes tubos, novos processos de produção tinham que ser desenvolvidos. Assim, com a soma de conhecimentos (após vários ensaios, dispendiosas experiências, e dificuldades enfrentadas) em 1915 no Brasil, Dimitri De Lavaud e Fernando Arens Júnior montaram uma máquina centrífuga, que se tornou a primeira máquina utilizada no mundo para fabricação de tubos de ferro fundido em escala industrial, com metal proveniente de corridas diretas de um alto-forno.⁽¹⁻³⁾

A Figura 1 mostra a utilização de tubos centrifugados de ferro fundido.



Figura 1 – Tubos centrifugados de ferro fundido utilizados na condução de água.⁽⁴⁾

3 OBTENÇÃO DA GRAFITA VERMICULAR

Vários processos foram estudados, a fim de se obter com reprodutibilidade a forma de grafita, intermediária a lamelar e esferoidal:⁽¹⁻⁴⁾

- Nitrogênio;
- cério e outros metais do grupo das terras raras;
- magnésio; e
- magnésio e titânio.

4 VARIÁVEIS DE PROCESSO QUE AFETAM A OBTENÇÃO DE GRAFITA VERMICULAR

4.1 Carbono Equivalente

A soma dos teores de carbono e silício, atuam diretamente na fluidez, características mecânicas, tipo de matriz e condutividade térmica. Um dos pontos mais importantes também é na tendência a grafitização e cristalização da grafita.^(1,4)

A maioria dos artigos técnicos referem-se a composição eutética como a melhor para obtenção da grafita vermicular, sendo que os limites hipo e hipereutético garantem um ferro nodular.



4.2 Inoculação

A inoculação é a técnica mais conhecida para se evitar a solidificação segundo o sistema metaestável. Já que durante a passagem do estado líquido para sólido ocorre um aumento da temperatura e do número de núcleos.

Em peças espessas a inoculação na panela leva a formação de grafita nodular e a adição no molde não tem efeito pronunciado. Ao contrário, em peças de menor espessura, a inoculação na panela é ineficiente, mas uma boa inoculação no molde conduz a uma elevação na quantidade de grafita vermicular.

Um outro ponto a ser observado, é o tipo e quantidade do inoculante, que podem também interferir na morfologia da grafita.^(1,4)

4.3 Teor de Elemento Vermicularizante

O teor residual de elementos que promovem a formação da grafita em verme, não deve exceder certos limites, pois tende a ocorrer a formação de grafita nodular ou carbonetos na solidificação, escórias nas peças, porosidades, forma anormais de grafita, rechupes e trincas, além de baixa fluidez.

Por outro lado existe um limite inferior para o teor residual de elementos vermicularizantes, abaixo do qual não se obtém grafita exclusivamente na forma desejada, mais sim na forma lamelar.^(1,4)

4.4 Espessura da Peça

Em secções maiores, como o ferro fundido esfria com velocidade mais baixa, a quantidade de calor fornecida atinge ou supera a extraída, favorecendo a forma vermicular. Porém em secções finas, aumenta-se a velocidade de resfriamento, conseqüentemente o número de núcleos e de células eutéticas bem como a velocidade de crescimento das mesmas, condições favoráveis para nucleação da forma nodular.^(1,4)

4.5 Temperatura de Vazamento

Elevando-se a temperatura, mais calor será cedido para o molde, encharcando o mesmo e reduzindo a velocidade de condução, fazendo com que a peça se esfrie mais lentamente. Com baixas temperaturas, a velocidade de esfriamento é aumentada obtendo-se maior número de células em crescimento, isto ocorre devido a temperatura de vazamento ser mais próxima da de solidificação e a quantidade de calor que atravessa as paredes do molde é ainda elevada.

A primeira situação é desejada quando se quer a forma vermicular da grafita, ficando o segundo caso propício para a obtenção do ferro nodular.^(1,4)

4.6 Extração de Calor Pelo Molde

O regime térmico estabelecido entre metal e molde, origina um determinado comportamento da frente sólido/líquido, que resulta em formação de uma estrutura metalográfica com macrotextura e microconstituintes particulares, que vão afetar diretamente os requisitos mecânicos, físicos e químicos da peça. Quanto maior a extração de calor pelo molde mais fácil fica a solidificação da grafita nodular, sendo um regime diferente favorável a grafita vermicular.^(1,4)

5 PROPRIEDADES DO MATERIAL

5.1 Intrínsecas (Mecânicas e Metalúrgicas)

Em linhas gerais, os ferros fundidos vermiculares possuem resistência à tração entre 30 Kgf/mm² e 60 Kgf/mm², alongamento na faixa de 1% à 9% e dureza Brinell de 150 a 250. Estas propriedades se aproximam dos ferros nodulares, enquanto que para os cinzentos estes valores são obtidos mediante ao controle do carbono equivalente e/ou adição de elementos de liga. A Figura 2 mostra as propriedades mecânicas das classes de ferros fundidos.

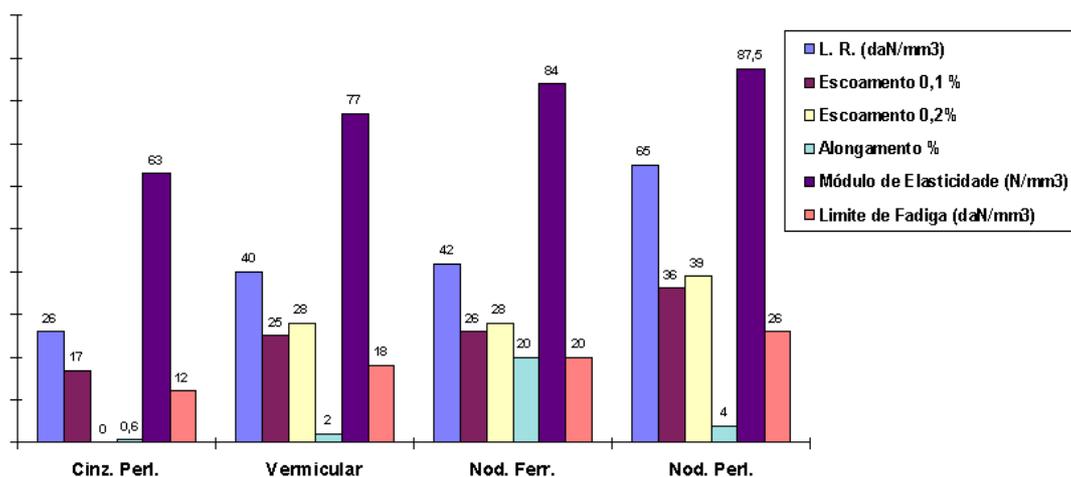


Figura 2 – Comparação de algumas propriedades mecânicas de ferros fundidos cinzentos, vermiculares e nodulares.⁽⁴⁾

No tocante aos requisitos metalúrgicos, o ferro fundido vermicular, possui a vazabilidade em maior grau que os cinzentos e nodulares. No que se refere a contração líquida, esta pode ser menor ou maior que a dos cinzentos e sempre menor que a dos nodulares. Em relação a movimentação das paredes do molde, esta é menor que a dos ferros dúcteis e maior que a dos cinzentos. A tendência ao coquilhamento é maior que a dos outros dois tipos de ferros fundidos em questão, a formação de drosses é menor que nos nodulares e a precipitação de carbonetos eutéticos é maior que a dos cinzentos e menor ou igual a dos nodulares.^(1,4)

5.2 Físicas (Transferência de Calor e Inchamento)

Uma das aplicações bem definidas para o ferro fundido vermicular, esta em peças onde a condutividade térmica deve ser elevada. A grafita sendo interconectada nos cinzentos e vermiculares, resulta em condução de temperatura relativamente elevadas. Dependendo assim do carbono e carbono equivalente. O ferro fundido nodular, é substituído nestes casos, porque além de sua baixa condutividade térmica, existe também a tendência de empenamento do mesmo.

Sob o ponto de vista de dilatação e formação de casca de óxido, o vermicular é igual e/ou superior ao ferro cinzento. O comportamento do ferro vermicular, sob condições de dilatação térmica é superior ao nodular. Frente a oxidação a temperaturas elevadas, o desempenho do ferro nodular é considerado o melhor de todos.^(1,4)

5.3 Tecnológicas (Usinabilidade, Soldabilidade, Amortecimento de Vibrações, Resistência ao Desgaste e Resistência à Corrosão)

No caso particular dos ferros fundidos, de acordo com a citação encontrada na literatura, a usinabilidade está ligada mais diretamente à microestrutura do material do que com a composição química, dureza ou propriedades mecânicas.

Os ferros fundidos possuem microestrutura composta de uma matriz metálica interrompida pela grafita. Por isso acreditava-se que a quantidade de grafita era mais importante que sua morfologia e distribuição. Porém demonstrou-se que a forma da mesma afeta totalmente os índices de usinabilidade. Assim os ferros vermiculares, apresentam melhor usinagem que os nodulares e um pouco pior que os cinzentos, mas com acabamento superior a este último.

O problema da soldagem do ferro fundido pode ocorrer tanto em oficinas de manutenção, como nas de fabricação. O alto teor de carbono que ocasiona porosidades e ocorrência de carbonetos; a baixa condutividade térmica que ocasiona diferenças de temperaturas razoáveis no material e a baixa ductilidade dificultando assim que o ferro fundido absorva o alongamento provocado pelo processo. São propriedades características que agem de forma determinante sobre a soldabilidade, desta classe de material. Com isso o ferro de grafita vermicular apresenta com superior vantagem, sobre o cinzento (melhor alongamento) e sobre o nodular (melhor condutividade térmica).

A capacidade de amortecimento do ferro vermicular é maior que a do cinzento e do nodular, isto porque, devido à forma da grafita ser interconectada, mais arredondada e grosseira, o efeito de “vazio” é mais acentuado, resultando em maior deformação localizada, com menor esforço.

No que se refere à resistência ao desgaste, afirma-se que a forma da grafita não afeta o desempenho da peça, contudo o ferro fundido vermicular possui melhor desempenho que o nodular e pior que o cinzento. A grafita livre, assume um caráter lubrificante, entre as partes metálicas em contato, evitando-se o atrito e reduzindo o desgaste.

Atribui-se à presença de grafita na microestrutura como o fator responsável pela maior resistência à corrosão do ferro fundido em relação aos aços carbono comuns.

Porém uma explicação mais aceita para o bom desempenho do ferro fundido em meios agressivos, está na formação de uma camada de óxido de alta estabilidade química e alta resistência à corrosão, impermeável e aderente à superfície.

Sendo assim a grafita poderia alterar a continuidade desta camada de óxidos, alterando localmente a resistência à corrosão. Contudo, a literatura técnica é pobre em estudos que correlacionam o desempenho dos componentes com a sua microestrutura.

Esta existência de muito pouca pesquisa no campo de corrosão do ferro fundido, é justificada devido as peças desse material possuírem massa considerável que confere longa vida útil, ao baixo custo tornando sua reposição menos onerosa, a grande complexidade do sistema que torna a execução de experiências bastante problemática conduzindo a resultados de baixa reprodutibilidade.

Ainda no tocante à influência da grafita, cita-se que na maioria das aplicações do ferro fundido comum em corrosão atmosférica, no solo e por água doce, a grafita contribui positivamente na resistência ao ataque (razão do seu uso tradicional em

encanamentos de gás e de água). A mesma não sendo atacada pelo meio, parece agir como inibidora do avanço da corrosão na matriz metálica.

É famoso o caso dos tubos de ferro fundido utilizados para captação dos esgotos em Paris que, desempenham satisfatoriamente as suas funções há mais de um século. Uma tubulação que tenha sofrido deterioração tem ainda certa capacidade para continuar operando em pressões e tensões não muito elevadas, daí não se necessitar substituir tubos de ferro fundido, enterrados e usados para condução de água, por tubos mais resistentes e caros.

Existem autores porém, que admitem que a grafita seja um fator determinante no progresso e distribuição da corrosão. Os mesmos afirmam que a grafita, como já foi dito, sendo insolúvel nos meios corrosivos comuns, criaria uma célula galvânica entre ela e o ferro, terminando por acelerar o ataque da matriz, desde que a estrutura do ferro fundido e a distribuição das partículas sejam tais que permitam a infiltração dos constituintes corrosivos no corpo do material.

Seguindo este pensamento, então a forma da grafita poderia certamente alterar o comportamento da corrosão, uma vez que levaria a um aumento ou diminuição na quantidade de superfície grafita/matriz. Conseqüentemente estaria agindo sobre um fator importante; a relação entre a área anódica e a catódica. Se a área catódica for pequena em relação à área anódica, a corrosão não será tão prejudicial, mas no caso contrário, isto é, área catódica maior que a anódica, a corrosão será tanto mais intensa quanto maior for a área catódica e menor a anódica.

O ferro fundido vermicular teria então uma resistência à corrosão similar ao cinzento e superior ao nodular. A Figura 3 mostra a resistência à corrosão de tubos centrifugados.^(1,4)

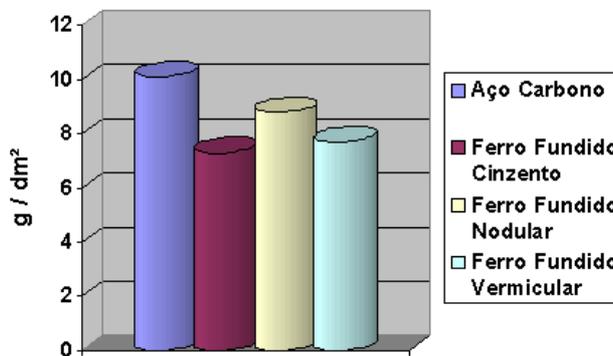


Figura 3 – Perdas por Corrosão – Tempo de exposição em água / 1 ano.⁽⁴⁾

6 FABRICAÇÃO DE TUBOS CENTRIFUGADOS

O metal, após elaboração em fornos elétricos, é vazado na máquina centrifugadora (Figura 4), onde se encontra a coquilha pré-aquecida, preparada internamente com revestimento refratário, garantindo um excelente acabamento superficial. No momento do vazamento, a coquilha encontra-se em movimento giratório, que pode ser de até 1.100 rpm e impõe ao metal uma força de até 60 vezes a da gravidade terrestre. Permanece sob ação da força centrífuga até o completo resfriamento da peça, que é controlado por jatos d'água. Em seguida, o produto é retirado da coquilha e processado conforme a aplicação desejada. A máquina centrifugadora é constituída de um sistema de pintura com lança conduzida

por carro com deslocamento controlado. O vazamento é efetuado por panela dosadora com velocidade de basculamento controlada. A extração do tubo é efetuado por um êmbolo de acionamento hidráulico. As características mecânicas dos tubos centrifugados de ferro fundido para canalizações é mostrado na Figura 5.

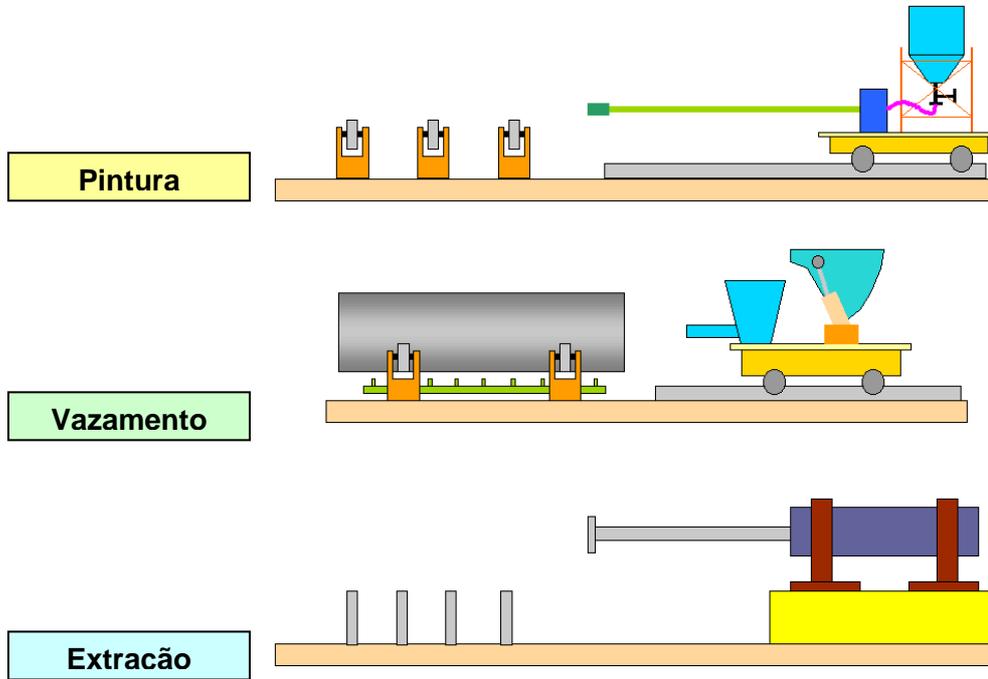


Figura 4 – Desenho esquemático de máquina centrifugadora de tubos.

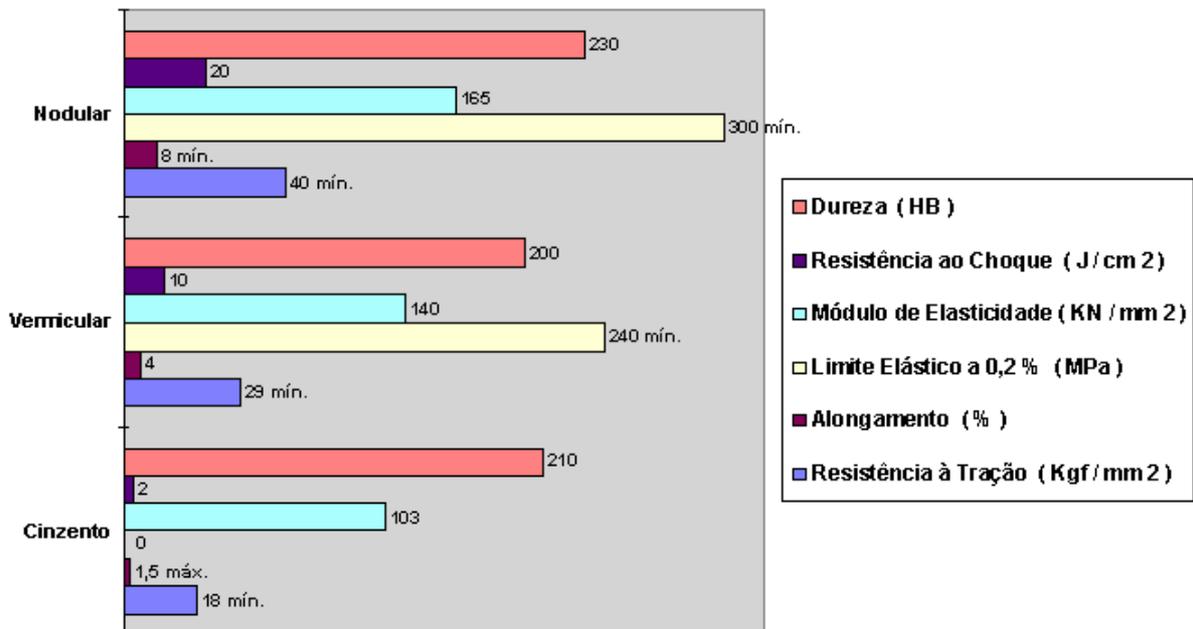


Figura 5 – Propriedades mecânicas de tubos centrifugados de ferro fundido para uso em canalizações.⁽⁴⁾

7 CONCLUSÃO

As vantagens básicas da fundição centrífuga são : permite trabalhar com um mínimo de sobremetal; o fundido centrífugo aperfeiçoa as características mecânicas como, resistência à tração, escoamento, dureza e alongamento; a fundição centrífuga por ser processada em alta velocidade, elimina gases, porosidades e inclusões, evitando desperdícios de tempo e usinagem com refugos, o tempo de fabricação é reduzido e a relação metal fundido e peça entregue é elevada.

O ferro fundido representa um papel importante na confecção de produtos hidráulicos, sendo, que as propriedades principais especificadas (estanqueidade, resistência a tração, modulo de elasticidade, alta resistência ao desgaste, à fadiga e a corrosão) permitem que esse material seja capaz de manter fluidos hidráulicos sob alta pressão e velocidade.

A sua utilização em tubulações se motiva pelo fato do ferro fundido vermicular possuir uma resistência à corrosão maior que o nodular, menor custo e maior facilidade de fabricação com menor refugo.

REFERÊNCIAS

- 1 BAPTÍSTA, A. L. B. - Um Estudo da Produção Industrial de Ferro Fundido Nodular e Vermicular , Objetivando a Fabricação de Componentes Hidráulicos (tubos e conexões), Usados em Saneamento e Irrigação . *UFF / EEIMVR* , Volta Redonda - 1994.
- 2 ANDRADE, D. P. - Tubos e Conexões de Ferro Fundido. *Fund. Edições Técnicas*, ano II, nº 16, São Paulo, Junho de 1979, págs.: 12 à 17.
- 3 BAPTÍSTA, A. L. B. - Tubos Centrifugados de Ferro Fundido Nodular : Fabricação e Recepção . *C. M. B.* , Barra Mansa / RJ - 1989.
- 4 BAPTÍSTA, A. L. B. – Ferro Fundido Vermicular : Características e Produção. *Spectru Ltda.* 1994.