

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**FILIPPE NAVES BATISTA
MOISÉS EMANOEL BARBOSA DE SOUZA SALES**

**ANÁLISE DE CUSTOS, POR MEIO DA METODOLOGIA SHOULD COST, DA
PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO SEM COSTURA PARA CALDEIRAS,
UTILIZANDO OS PROCESSOS DE LAMINAÇÃO E EXTRUSÃO**

UBERLÂNDIA – MG

2023

**FILIFE NAVES BATISTA
MOISÉS EMANOEL BARBOSA DE SOUZA SALES**

**ANÁLISE DE CUSTOS, POR MEIO DA METODOLOGIA SHOULD COST, DA
PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO SEM COSTURA PARA CALDEIRAS,
UTILIZANDO OS PROCESSOS DE LAMINAÇÃO E EXTRUSÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito para a obtenção do Diploma de
Graduação em Engenharia Mecânica, sob a
orientação do Prof. Dr. Luciano José Arantes.

UBERLÂNDIA – MG

2023

FILIFE NAVES BATISTA
MOISÉS EMANOEL BARBOSA DE SOUZA SALES

**ANÁLISE DE CUSTOS, POR MEIO DA METODOLOGIA SHOULD COST, DA
PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO SEM COSTURA PARA CALDEIRAS,
UTILIZANDO OS PROCESSOS DE LAMINAÇÃO E EXTRUSÃO**

Projeto de Conclusão de Curso avaliado
pela banca examinadora do curso de
graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luciano José Arantes
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dra. Rosenda Valdes Arencibia
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva
Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

Com o passar dos anos, a indústria tem se tornado cada vez mais competitiva, exigindo a aplicação de metodologias para encontrar métodos de produção com preços competitivos. O estudo em questão aborda o *Should Cost*, uma metodologia que visa estimar os principais custos envolvidos na produção, possibilitando uma melhor gestão dos recursos das empresas. O trabalho se concentra na produção de tubos sem costura para caldeiras, utilizando os processos de extrusão e laminação. Foram realizadas pesquisas para estimar os custos diretos e indiretos, bem como os tempos de processo para cada um dos métodos mencionados. Com base nessas informações, foram identificados a produção diária máxima e o investimento necessário para iniciar a operação. Os dados coletados e a planilha desenvolvida revelaram que o processo mais vantajoso varia de acordo com os volumes de produção, permitindo estimar o lucro esperado para cada método com base no preço de venda.

Palavras-Chave: *Should Cost*, Análise de Custos, Laminação, Extrusão, Tubos de Aço sem Costura, Caldeiras.

ABSTRACT

Over the years, the industrial sector has become increasingly competitive, necessitating the application of methodologies to find production methods that guarantee competitive prices. One such methodology is Should Cost, which aims to estimate the key costs involved in production, enabling better resource management for companies. This study focuses on the production of seamless tubes for boilers using extrusion and rolling processes. Research was conducted to estimate both direct and indirect costs, as well as process times for each of the specified production methods. This allowed for determining the maximum daily production for a production line and the expected investment required to initiate operations. Based on the collected data and the developed spreadsheet, it was found that the most advantageous process varies according to different production volumes. Additionally, by considering the selling price, the projected profit for each process can be estimated.

Keywords: Should Cost, Cost Analysis, Rolling, Extrusion, Seamless Steel Tubes, Boilers.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Mercado de tubos por aplicação (grandviewresearch.com/industry-analysis/steel-pipes-tubes-market)..... | 1 |
| Figura 2 – Representação esquemática, em perspectiva, do processo de laminação (CHIAVERINI, 1986)..... | 5 |
| Figura 3 – Representação do Processo Mannesmann (theprocesspipe.com)..... | 7 |
| Figura 4 – Representação do processo de Laminação com Mandril (theprocesspipe.com).... | 7 |
| Figura 5 – Esquemática do processo de extrusão direta e inversa (HELMAN, 2010) | 8 |
| Figura 6 – Extrusão direta para produzir uma seção transversal vazada ou semivazada (GROOVER, 2014)..... | 9 |
| Figura 7 – Extrusão indireta para produzir uma seção transversal vazada (GROOVER, 2014) | 10 |
| Figura 8 - Custo de manutenção por tempo (AEDB, 2015)..... | 11 |
| Figura 9 – Representação esquemática de caldeiras aquatubulares e flamotubulares (https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras/)..... | 12 |
| Figura 10 – Unidade motora simples a vapor que opera segundo um ciclo Rankine (VAN WYLEN, 2003)..... | 13 |
| Figura 11 – Tabela de materiais recomendados para tubulações de vapor (Adaptado de: Caldeiraria e Tubulação Industria, 1997) | 14 |
| Figura 12 – Tabela de características dos processos de fabricação da Nippon Steel (nipponsteel.com/en/product/pipe/catalog) | 16 |
| Figura 13 – Fluxograma dos processos de fabricação por laminação..... | 16 |
| Figura 14 – Tabela de características dos processos na JFE Steel (Adaptado de: JFE Technical Report, 2006) | 17 |
| Figura 15 – Representação do laminador utilizado no processo de perfuração (GROOVER, 2014)..... | 17 |
| Figura 16 - Representação esquemática do Laminador de Calibração (Tubulação e Caldeiraria Industrial, 1997) | 18 |
| Figura 17 – Máquina de inspeção por ultrassom (bakerhughes.com)..... | 19 |
| Figura 18 – Fluxograma dos processos de fabricação por extrusão | 19 |
| Figura 19 - Dashboard de Laminação..... | 27 |
| Figura 20 - Dashboard de Extrusão | 27 |
| Figura 21 - Interface de entrada de dados..... | 27 |
| Figura 22 - Gráfico do custo por tubo em função da quantidade diária produzida | 29 |
| Figura 23 - Gráfico do lucro total em função da quantidade diária produzida | 29 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Composição Química..... | 15 |
| Tabela 2 – Composição Química: Outros elementos | 15 |
| Tabela 3 – Requisitos de propriedades mecânicas de tração..... | 15 |
| Tabela 4 - Tempo dos Processos de Laminação..... | 22 |
| Tabela 5 - Tempo dos Processos de Extrusão..... | 22 |
| Tabela 6 - Custos Diretos para Laminação | 23 |
| Tabela 7 - Custos Diretos para Extrusão | 23 |
| Tabela 8 - Características do Tubo para Laminação..... | 23 |
| Tabela 9 - Características do Tubo para Extrusão..... | 24 |
| Tabela 10 - Quadro de Funcionários para Laminação | 24 |
| Tabela 11 - Quadro de Funcionários para Extrusão..... | 25 |
| Tabela 12 - Custos Indiretos para Laminação | 25 |
| Tabela 13 - Custos Indiretos para Extrusão | 25 |
| Tabela 14 - Quadro de gasto de energia para Laminação | 26 |
| Tabela 15 - Quadro de gasto de energia para Extrusão | 26 |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Should Cost..... | 3 |
| 2.1.1. Despesas e Custos | 4 |
| 2.2. Laminação | 4 |
| 2.2.1. Processo de Laminação | 4 |
| 2.2.2. Laminação de Tubos sem costura | 6 |
| 2.2.2.1. Processo Mannesmann com obturador | 6 |
| 2.2.2.2. Laminação com Mandril..... | 7 |
| 2.3. Extrusão..... | 8 |
| 2.3.1. Processo de Extrusão | 8 |
| 2.3.2. Extrusão de tubos sem costura | 9 |
| 2.4. Manutenção..... | 10 |
| 2.5. Caldeiras..... | 12 |
| 2.5.1. Tubulações para caldeiras | 13 |
| 3. METODOLOGIA..... | 14 |
| 3.1. Dimensões e propriedades do tubo a ser fabricado..... | 14 |
| 3.2. Linha de produção por laminação..... | 16 |
| 3.2.1. Matéria Prima | 16 |
| 3.2.2. Aquecimento..... | 17 |
| 3.2.3. Laminador Perfurador | 17 |
| 3.2.4. Laminador com Mandril | 18 |
| 3.2.5. Laminador de Calibração | 18 |
| 3.2.6. Corte | 18 |
| 3.2.7. Controle de Qualidade..... | 19 |
| 3.3. Linha de produção por extrusão | 19 |
| 3.3.1. Matéria Prima | 20 |
| 3.3.2. Aquecimento..... | 20 |
| 3.3.3. Processo de Extrusão Inicial..... | 20 |
| 3.3.4. Processo de Extrusão Final | 20 |
| 3.3.5. Corte | 20 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.6. | Controle de Qualidade | 21 |
| 4. | APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SHOULD COST | 21 |
| 4.1. | Produção e tempo de depreciação | 21 |
| 4.2. | Estimativa de tempo dos processos | 21 |
| 4.3. | Análise de Custos diretos..... | 22 |
| 4.4. | Análise de Custos Indiretos | 25 |
| 4.5. | Apresentação dos Resultados..... | 26 |
| 5. | CONCLUSÃO | 28 |
| 6. | TRABALHOS FUTUROS..... | 30 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |
| | Anexo I – Tabela de normas para tubos de aço (acotubo.com.br) | 35 |
| | Anexo II – Tabela com dimensões, massa e pressão de ensaio dos tubos com extremidades lisas, ranhuradas ou biseladas (ABNT NBR 5590, 2015) | 36 |

1. INTRODUÇÃO

Os tubos de aço sem costura desempenham um papel fundamental no mercado internacional, sendo componentes indispensáveis em uma ampla gama de setores e aplicações. Com características únicas e vantagens significativas em relação aos tubos com costura, os tubos de aço sem costura são amplamente utilizados em projetos que requerem alta resistência, confiabilidade e durabilidade, bem como em aplicações que envolvem altas temperaturas e pressões.

No cenário global, a indústria de tubos de aço tem sido impulsionada por fatores como o aumento da urbanização, o crescimento da infraestrutura, a expansão dos setores de energia e petróleo, além das demandas dos setores automotivo e de construção civil. De acordo com o site *Grand View Research*, o mercado de tubos foi avaliado em U\$ 142,4 bilhões em 2019 e deve crescer a uma taxa anual de 6,7 % nos anos de 2020 a 2027. Na Figura 1, podemos visualizar essa previsão de crescimento, bem como a contribuição de cada aplicação para o mercado de tubos.

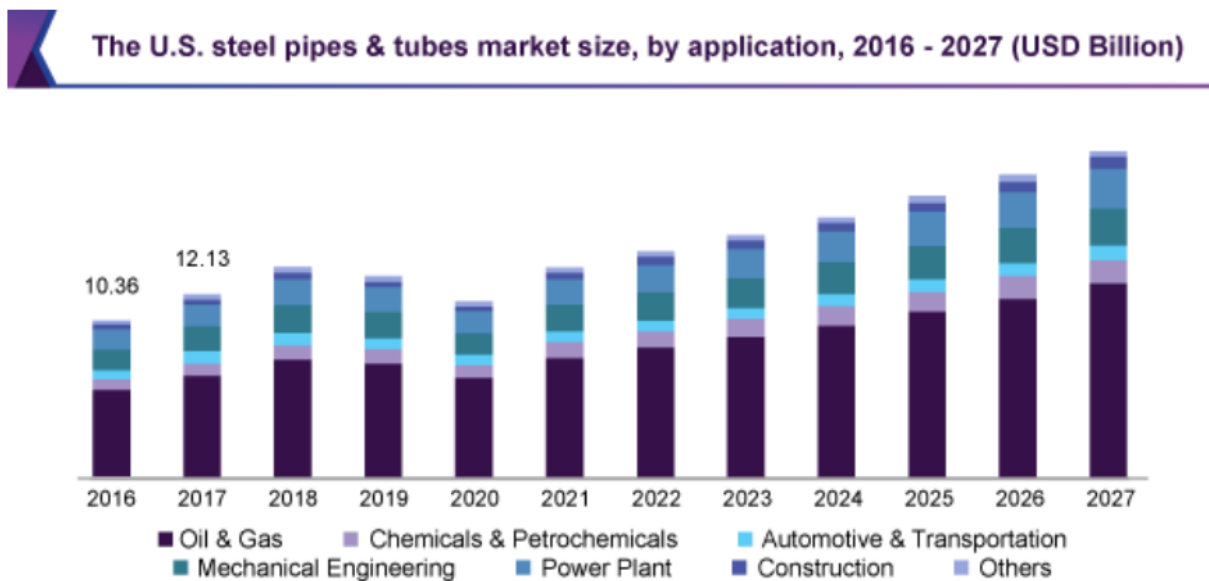


Figura 1 – Mercado de tubos por aplicação ([grandviewresearch.com/industry-analysis/steel-pipes-tubes-market](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/steel-pipes-tubes-market))

Uma das principais vantagens dos tubos de aço sem costura é a ausência de soldas, o que elimina potenciais pontos fracos na estrutura e melhora a integridade do produto final. Isso resulta em maior segurança e eficiência nas operações, além de reduzir o risco de vazamentos e falhas estruturais. Ademais, esses tubos apresentam

propriedades mecânicas superiores, proporcionando maior resistência ao impacto, tração e corrosão.

Tendo em vista a competitividade do mercado de produção de tubos, entender e controlar os custos é essencial para a sustentabilidade e o sucesso de uma organização. Nesse sentido, a metodologia *Should Cost* oferece uma abordagem sistemática e abrangente para identificar oportunidades de redução de custos, melhorar a eficiência operacional e tomar decisões embasadas em dados sólidos.

O processo de levantamento e análise de custos, utilizando a metodologia *Should Cost*, envolve a desmontagem do produto ou a decomposição do serviço em seus elementos constituintes. Em seguida, cada componente é avaliado individualmente, levando em consideração fatores como matéria-prima, mão de obra, processos de produção, impostos e outros elementos relevantes para a formação do custo total.

Nesse sentido, o presente trabalho possui como objetivo aplicar a metodologia *Should Cost* na produção de tubos de aço sem costura para caldeiras, considerando os dois métodos de fabricação mais difundidos e utilizados na indústria, a laminação e extrusão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Should Cost

O *Should Cost* foi desenvolvido pelo departamento de defesa americano com o objetivo de controlar os custos e preços envolvidos na implementação e manutenção das unidades de defesa. Como o uso dessa metodologia se mostrou vantajoso e a concorrência no meio empresarial se tornava cada vez mais relevante, essa metodologia passou a ser implementada também em empresas.

Em uma negociação empresarial se destacam perguntas do tipo:

- “Esse fornecedor realmente está me oferecendo o melhor preço?”
- “Com esse preço minha empresa será competitiva?”
- “O processo selecionado para a produção realmente está correto?”
- “Essa peça foi dimensionada da melhor maneira?”

E para que essas dúvidas não cheguem à mesa de negociação, é preciso que a empresa faça uma pesquisa previa e descubra qual o melhor preço a ser alcançado, para que esse valor seja encontrado, os gestores de empresas passaram a utilizar o *Should Cost* como uma ferramenta para embasar as negociações.

Essa metodologia se baseia em considerar um cenário de estabilidade econômica para que à partir disso sejam estimados todos os custos envolvidos na produção de um determinado componente, para isso devemos levar em consideração os custos da matéria prima, maquinário, gastos com manutenção, terreno, impostos, consumo de energia, produção anual, plantas industriais, acabamento da peça, processo produtivo, entre outros, em posse desses dados é possível determinar uma aproximação do preço final do componente e o máximo desconto que pode ser obtido em uma negociação.

Além da aplicação demonstrada anteriormente, o *Should Cost* também pode ser utilizado para que um empresário que deseja produzir um determinado componente encontre o ponto de produção no qual a sua possível nova empresa se torne viável, assim como as ineficiências no seu processo produtivo e modelagem da peça.

Por conta dos fatores demonstrados anteriormente, a metodologia indicada se difundiu no meio empresarial e serve de apoio para a decisão em negociações e implementações de novas linhas de produção.

2.1.1. Despesas e Custos

O processo de precificação de um produto envolve diversas etapas e termos que, apesar de serem usados como sinônimos, apresentam diferenças quanto ao seu significado. Usualmente, custos e despesas são encarados dessa forma, no entanto, no meio empresarial, e no *Should Cost*, é necessário encarar essas palavras como diferentes.

As despesas podem ser definidas como os desembolsos que as empresas precisam fazer para manter a sua estrutura em funcionamento, mas não estão diretamente ligados a produção ou ao desenvolvimento de produtos, podemos citar como exemplos as áreas administrativa, marketing e comercial. Já os custos, são os gastos relativos à produção, como por exemplo, matéria-prima, depreciação, mão-de-obra e energia, e podem ser subdivididos em duas diferentes classes, nomeadas de custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos são independentes do volume de produção da empresa no passar dos meses, e pode ser representado pelo aluguel de espaço e máquinas, enquanto os custos variáveis estão diretamente ligados ao volume de produção da empresa, como por exemplo, a matéria-prima e os tributos.

Entender as diferenças entre esses conceitos é de fundamental importância para o desenvolvimento do *Should Cost*, uma vez que no seu desenvolvimento, devemos levar em conta esses custos e despesas e encontrar a melhor maneira de representá-los e fazer com que o resultado seja o mais realista.

2.2. Laminação

2.2.1. Processo de Laminação

Laminação é um processo de conformação mecânica no qual o material (peça) é forçado a passar entre dois cilindros (ferramentas), girando em sentido oposto, com a mesma velocidade superficial (CHIAVERINI, 1986). Dessa forma, a peça deve possuir uma dimensão inicial maior do que a distância entre as superfícies dos

cilindros, provocando deformação plástica na peça ao passar pelas ferramentas que resulta na redução de sua seção transversal e no aumento do seu comprimento e largura (Figura 2).

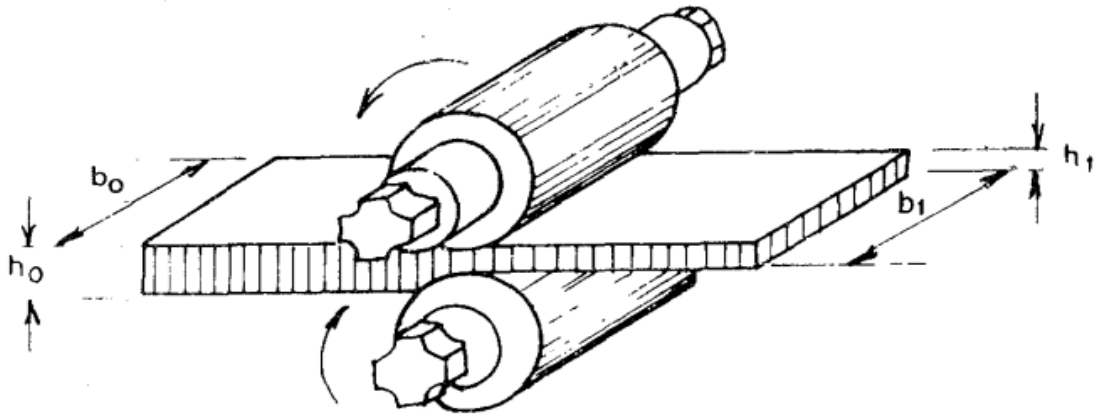


Figura 2 – Representação esquemática, em perspectiva, do processo de laminação (CHIAVERINI, 1986)

A força de atrito na superfície de contato da peça com os cilindros é a responsável por forçar a passagem de material, dessa forma, caso o atrito fosse nulo, não seria possível realizar o processo de laminação. Dependendo do material, lubrificação e das condições do processo o coeficiente de atrito é alterado, esse coeficiente multiplicado pela força normal na superfície de contato resulta na força de atrito (GROOVER, 2014).

O processo de laminação possui elevada produtividade e é majoritariamente utilizado para produção de chapas, tiras, placas, perfis e tubos com e sem costura. Devido ao elevado custo do ferramental para laminação é necessário que a produção de peças seja em larga escala para garantir viabilidade econômica.

A Laminação pode ser conduzida a frio ou a quente, dependendo das dimensões e da estrutura do material da peça especificada para o início e final do processamento. De acordo com Bresciani Filho (2011), as características dos dois processos são:

- a. **Laminação a quente** - a peça inicial é comumente um lingote fundido obtido de lingotamento convencional, ou uma placa ou tarugo processado previamente em lingotamento contínuo; a peça intermediária e final assume, após diversos passes pelos cilindros laminadores, as formas de perfis diversos (produtos não planos) ou de placas e chapas (produtos planos). A temperatura de trabalho se situa acima da temperatura de

recristalização do metal da peça, a fim de reduzir à resistência a deformação plástica em cada passagem e permitir a recuperação da estrutura do metal, evitando o encruamento para os passes subsequentes. A laminação a quente, portanto, comumente se aplica em operações iniciais (operações de desbaste), onde são necessárias grandes reduções de seções transversais.

b. **Laminação a frio** - a peça inicial para o processamento, nesse caso, é um produto semiacabado (chapa), previamente laminado a quente. Como a temperatura de trabalho (temperatura ambiente) situa-se abaixo da temperatura de recristalização, o material da peça apresenta uma maior resistência à deformação e um aumento dessa resistência com a deformação (encruamento), não permitindo, dessa forma, intensidades elevadas de redução de seção transversal. Um tratamento térmico de recozimento, entre uma e outra sequência de passes, pode se tornar necessário em função do programa de redução estabelecido e das propriedades exigidas do produto final. A laminação a frio é aplicada, portanto, para as operações finais (de acabamento), quando as especificações do produto indicam a necessidade de acabamento superficial superior (obtido com cilindros mais lisos e na ausência de aquecimento, o que evita a formação de cascas de óxidos) e de estrutura do metal encruada com ou sem recozimento final.

2.2.2. Laminação de Tubos sem costura

A fabricação de tubos sem costura por laminação é realizada, principalmente, pelos processos de Laminação com Mandril (*Mandrel Mill*) e *Mannesmann* com obturador (*Mannesmann Plug Mill Process*).

2.2.2.1. Processo *Mannesmann* com obturador

Esse processo utiliza barras de seção circular como matéria-prima. Essas barras, previamente aquecidas em um forno rotativo, passam por um Laminador Penetrador, criando a abertura inicial do tubo. Em seguida, a peça passa, mais de uma vez caso necessário, por um Laminador com Obturador (*Plug Mill*), realizando o ajuste do diâmetro interno do tubo. Posteriormente, o tubo vai para Laminadores de Calibração (*Sizing Mill*) para garantir as dimensões necessárias, tratamentos térmicos, Laminadores de Desempenamento (*Straightening Mill*) e testes para controle de qualidade. Todo o processo está representado na Figura 3.

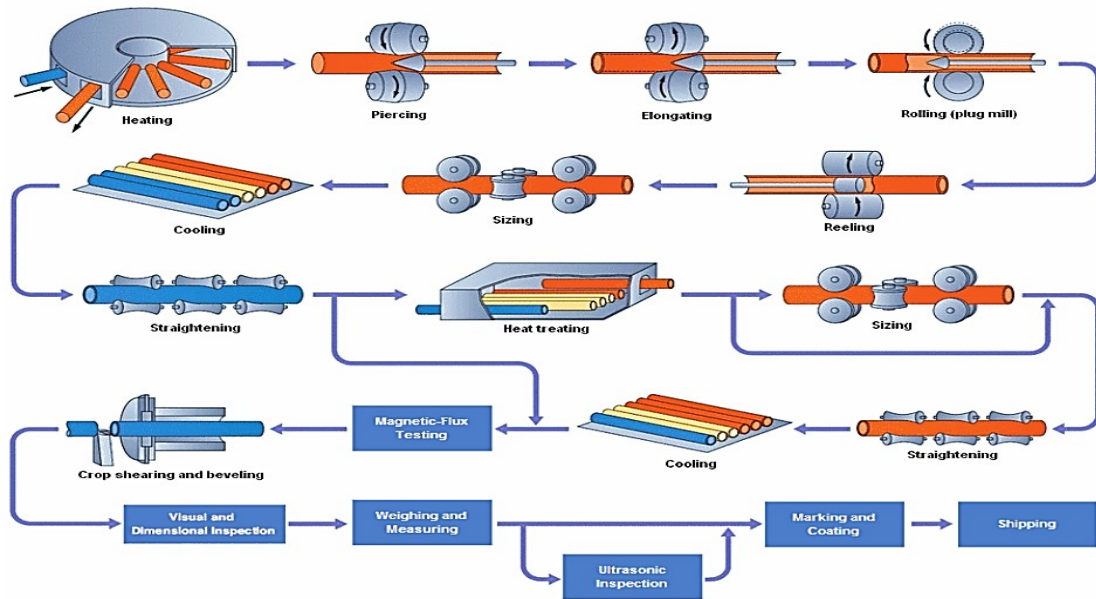


Figura 3 – Representação do Processo Mannesmann (theprocesspipe.com)

2.2.2.2. Laminação com Mandril

O Processo de Laminação com Mandril (Figura 4) é semelhante ao *Mannesmann*, a diferença entre eles está na substituição do Laminador Obturador por um Laminador com Mandril. Essa substituição implica que, no processo com Mandril o diâmetro interno é atingido em um único passe, enquanto no processo *Mannesmann* pode ser realizado mais de um passe, trocando o obturador se preciso, permitindo maiores reduções.

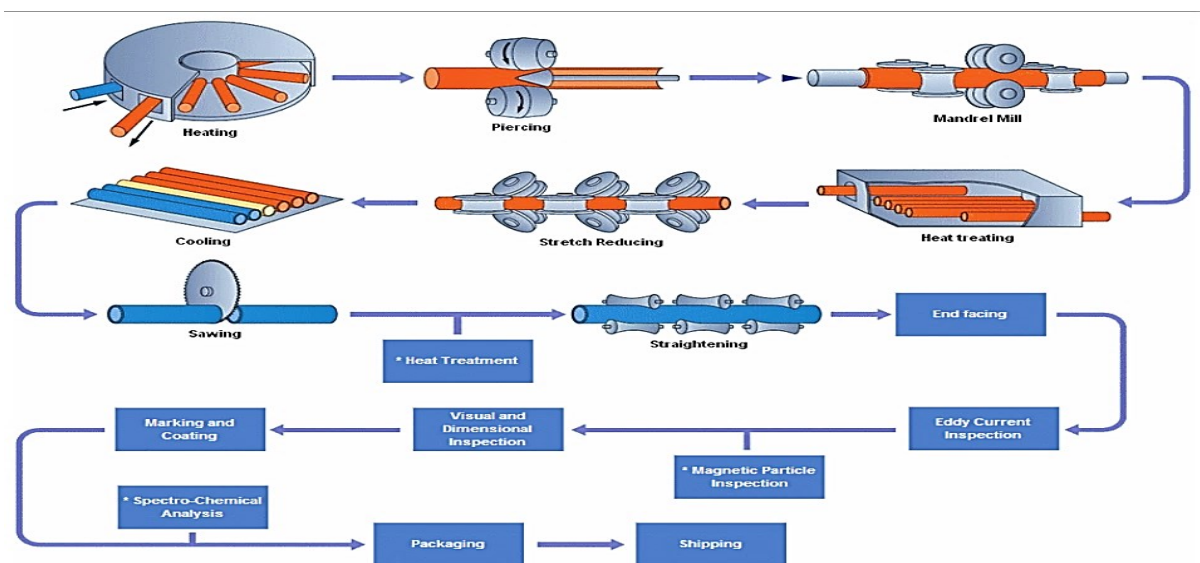


Figura 4 – Representação do processo de Laminação com Mandril (theprocesspipe.com)

2.3. Extrusão

2.3.1. Processo de Extrusão

A extrusão é um processo de conformação mecânica por compressão no qual o material (tarugo) é forçado a escoar através da abertura de uma matriz pela ação de um pistão, reduzindo sua seção transversal e moldando-a na forma desejada (GROOVER, 2014).

Usualmente o processo de extrusão é realizado a quente, dado que nessa condição o material sofre redução do limite de escoamento, resultando em menores esforços necessários para deformação. Esse processo é utilizado para produção de barras, arames, tubos sem costura e diversos perfis maciços ou vazados (CHIAVERINI, 1986).

O processo de extrusão pode ser dividido em dois tipos básicos: Extrusão direta e indireta (Figura 5). Na extrusão direta o pistão se move na mesma direção da seção extrudada o que promove grande atrito entre a câmara e o tarugo, exigindo elevada força de extrusão. Por outro lado, na extrusão indireta ou inversa o pistão, por ser vazado, permite que o material seja extrudado na direção oposta ao movimento do pistão, garantindo menor atrito entre a câmara e o tarugo o que resulta em menor força de extrusão se comparado a extrusão direta.

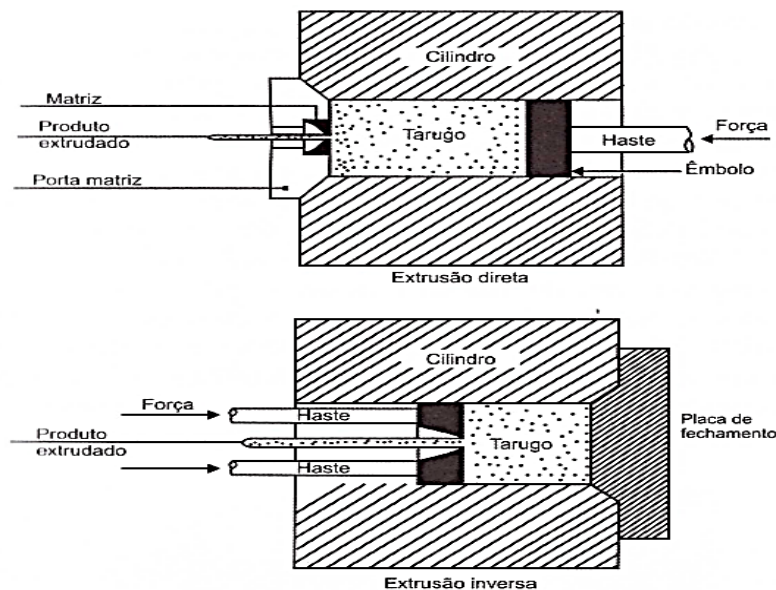


Figura 5 – Esquemática do processo de extrusão direta e inversa (HELMAN, 2010)

Quanto a temperatura de operação, o processo de extrusão pode ser classificado em extrusão a quente, morno e a frio. Para realização da extrusão a quente é necessário o preaquecimento do tarugo de forma que a temperatura esteja entre 0,5 a 1 vezes temperatura de fusão do material, o fato do material ser aquecido, aumenta sua ductilidade e, conseqüentemente, sua conformabilidade, permitindo maiores reduções. As vantagens da extrusão a quente, de acordo com Groover são: Redução da força e aumento da velocidade do pistão e redução de características do escoamento dos grãos no produto final.

A extrusão a frio é normalmente utilizada para materiais de elevada ductilidade, como alumínio e suas ligas, aços de baixo carbono, aços inox, latão, etc. Esse processo é capaz de gerar peças semiacabadas e, segundo Groover, possui como vantagens o aumento da resistência devido ao encruamento, tolerâncias menores, melhor acabamento superficial, ausência de camadas de óxidos e altas taxas de produção.

2.3.2. Extrusão de tubos sem costura

A extrusão de tubos sem costura pode ser realizada tanto por meio da extrusão direta quanto indireta.

Na extrusão direta para produção de tubos sem costura é utilizado um mandril acoplado ao pistão, forçando o material a escoar entre a matriz e o mandril o que garante que a seção transversal da peça seja vazada (Figura 6).

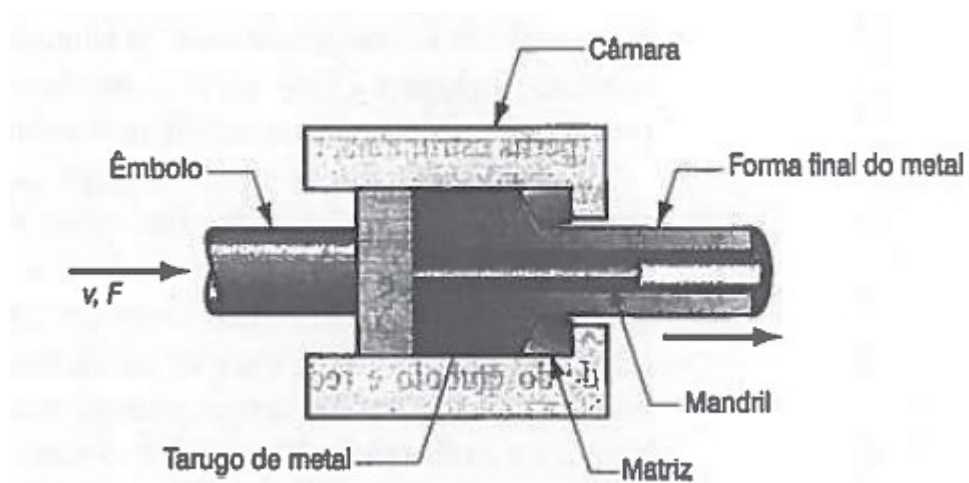


Figura 6 – Extrusão direta para produzir uma seção transversal vazada ou semivazada (GROOVER, 2014)

Para produzir tubos sem costura por meio da extrusão indireta, o pistão e matriz são posicionados de tal forma que o material é forçado a escoar em torno do pistão, formando a peça de seção circular vazada (Figura 7). Para esse processo em questão, existem limitações quanto ao comprimento final da peça devido a problemas relacionados a sustentação do pistão, caso este fato não seja considerado, pode acontecer falha por flexão do componente.

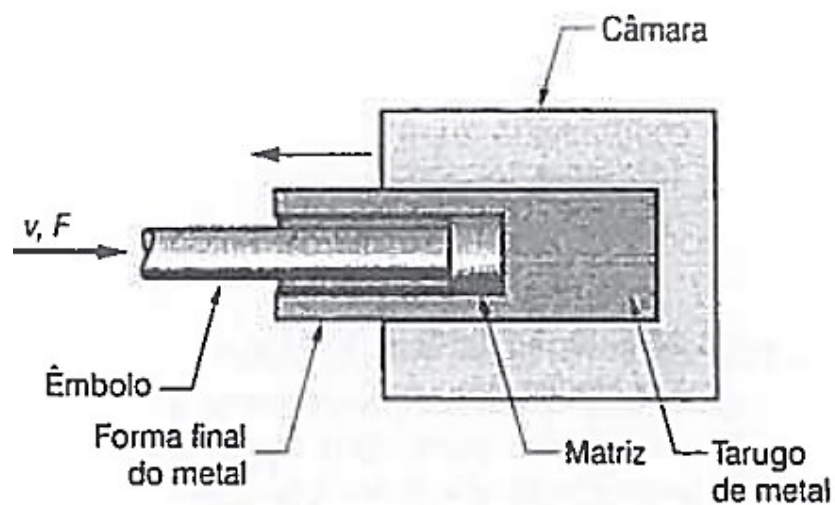


Figura 7 – Extrusão indireta para produzir uma seção transversal vazada (GROOVER, 2014)

2.4. Manutenção

Para que qualquer empresa cumpra com seu objetivo de gerar o máximo de lucro possível para o seu quadro de acionistas é de extrema importância que ela tenha e siga um plano de manutenção, uma vez que isso irá reduzir o número de paradas inesperadas nas linhas de produção. Além de que, manter uma boa gestão de manutenção faz com que as empresas possam reduzir os custos envolvidos e invistam o seu capital de forma mais assertiva.

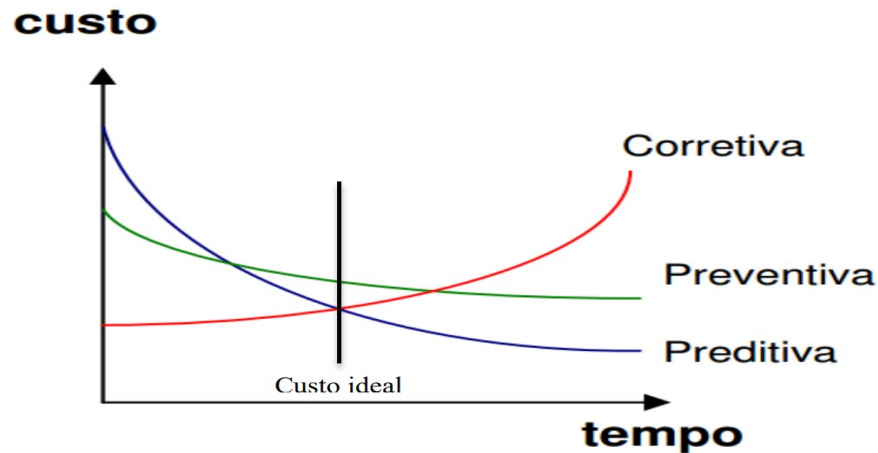


Figura 8 - Custo de manutenção por tempo (AEDB, 2015)

Na Figura 8 podemos perceber os principais tipos de manutenção que são utilizados nas indústrias e sua relação de custo com o passar do tempo, esses tipos de manutenção são respectivamente a manutenção corretiva não planejada, que é realizada quando um componente chega à falha inesperadamente e acarreta em perda de produção e altos custos, manutenção preventiva, esse tipo de manutenção segue um plano previamente realizado e tem como objetivo reduzir o número de paradas não planejadas na linha de produção, e a manutenção preditiva, que utiliza de meios tecnológicos, como por exemplo sensores de calor, vibração e consumo de energia, para tentar prever um problema antes que ele aconteça.

Ao observar a Figura 8, podemos notar que o custo associado à manutenção corretiva, apesar de inicialmente menor devido à sua implementação de baixo custo, tende a aumentar exponencialmente ao longo dos anos. Por outro lado, a manutenção preditiva, que requer um investimento inicial mais elevado, tem a tendência de representar um custo muito reduzido em comparação com a manutenção corretiva. Além disso, na imagem também é visível o custo relacionado à manutenção preventiva, que se situa em uma posição intermediária tanto no curto prazo quanto no longo prazo.

Para encontrar o custo de manutenção devemos levar em conta os conceitos para custos demonstrados anteriormente, o custo induzido, que está diretamente ligado aos impactos decorrentes das paradas para manutenção, o RAV (Custo de reposição do ativo) e o valor do estoque do MRO (Manutenção, reparo e operação). Para calcular o RAV, devemos fazer uma divisão do custo anual total de manutenção pelo valor de reposição da máquina (equipamento), e para o cálculo do MRO devemos

levar em consideração todo o custo do inventário de peças e materiais de reposição. De acordo com o SMRP (*Society for maintenance & reliability professionals*), nas melhores indústrias podemos encontrar um valor de MRO menor do que 1,5% do RAV.

A manutenção também está diretamente ligada ao custo com energia, uma vez que uma máquina que está em dia com seu plano de manutenção pode apresentar uma melhora de até 10% no seu consumo de energia, o que no longo prazo tende a representar uma economia e ganho de margem relevante para a empresa.

2.5. Caldeiras

Conforme a Norma Regulamentadora 13 (NR-13, 2018), caldeiras são equipamentos que possuem a finalidade de produzir e acumular pressão superior à atmosférica, operando com qualquer fonte de energia.

Esses equipamentos possuem ampla aplicabilidade e importância na indústria, sendo utilizados para geração de energia elétrica, alimentação de máquinas térmicas, secagem de produtos, esterilização de equipamentos, dentre outros.

As caldeiras são classificadas em relação a suas características construtivas, podendo ser horizontais ou verticais e flamotubulares ou aquatubulares (Figura 9). Nas caldeiras flamotubulares os gases aquecidos, resultantes do processo de combustão, passam por dentro de tubos que estão imersos em água, aquecendo-a. Enquanto que em caldeiras aquatubulares é a água que circula dentro dos tubos.

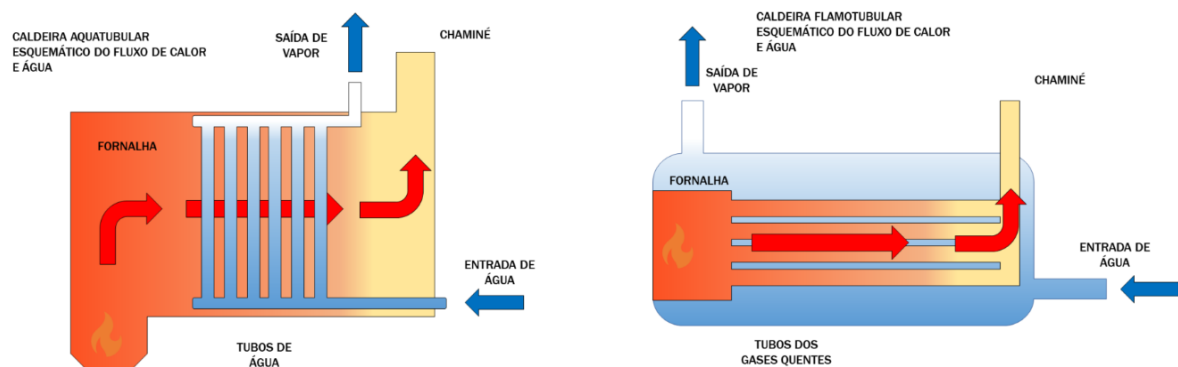


Figura 9 – Representação esquemática de caldeiras aquatubulares e flamotubulares (<https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras/>)

O funcionamento de caldeiras pode ser entendido com base em um ciclo termodinâmico Rankine, conforme apresentado na Figura 10. Nesse ciclo, a caldeira é responsável por fornecer calor ao sistema, através do processo de combustão, mudando o estado físico da água de líquido para vapor saturado ou superaquecido. Esse vapor com elevada entalpia passa por uma turbina gerando trabalho e depois é conduzido para uma unidade condensadora, trocando calor com o ambiente e voltando para o estado líquido com o objetivo de ser bombeado novamente para a caldeira, fechando o ciclo.

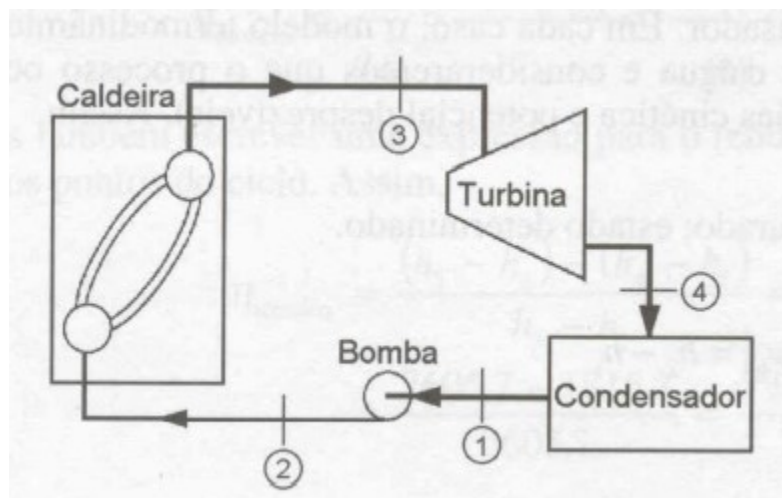


Figura 10 – Unidade motora simples a vapor que opera segundo um ciclo Rankine (VAN WYLEN, 2003)

2.5.1. Tubulações para caldeiras

As tubulações utilizadas em caldeiras são majoritariamente de aço, podendo ser aço-carbono ou aço-liga. Isso se deve ao fato do aço ser um material capaz de suportar as condições operacionais necessárias, dentre essas condições estão a temperatura, pressão, resistência a corrosão, etc. A tabela na Figura 11, apresenta algumas recomendações quanto ao material para tubulações que conduzem vapor em relação a temperatura de trabalho.

A fabricação de tubos de aço para caldeiras é regida por diversas normas, apresentadas no Anexo I, que visam garantir aos produtos finais alta qualidade e confiabilidade.

| Temperatura máxima do vapor (°C) | TUBOS | | | |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Diâmetro nominal (mm) | Material Especificações ASTM ou API | Tipo de Ligações | Sobre esp. Para corrosão (mm) |
| 120 | Todos até 101,6 | Aço-Carbono A-120 ou A-53 | Solda | 1,2 |
| | | | Rosca | - |
| 200 | Todos até 50,8 | Aço-Carbono A-53 ou API-5L | Solda | 1,2 |
| | | | Rosca ou solda | - |
| 380 | Todos | Aço-Carbono A-53 | Solda | 1,2 |
| 420 | Todos | Aço-Carbono acalmado (Si)-A-106 | Solda | 1,2 |
| 450 | Todos | Aço-liga 2/3 Mo | Solda | 1,2 |
| 470 | Todos | Aço liga 1 3/4 Cr - 1/2 Mo | Solda | 1,2 |
| 480 | Todos | | Solda | 1,2 |
| 550 | Todos | Aço-inoxidável tipo 340 | Solda | 1,2 |

Figura 11 – Tabela de materiais recomendados para tubulações de vapor (Adaptado de: Caldeiraria e Tubulação Indústria, 1997)

3. METODOLOGIA

Para aplicação da metodologia *Should Cost* serão definidas as características do tubo e as linhas de produção por laminação e extrusão para sua fabricação. Ademais, será desenvolvida uma planilha, utilizando o Microsoft Excel, com o objetivo de automatizar os cálculos e facilitar a visualização dos resultados.

3.1. Dimensões e propriedades do tubo a ser fabricado

Será considerado a fabricação de um tubo de aço sem costura de acordo com a norma ABNT NBR 5590 (2015). Dessa forma, foi definido que o tubo em questão será do tipo S, por não apresentar solda longitudinal, e composição química referente ao grau A, mostradas nas Tabelas 1 e 2. Ademais, o tubo deve apresentar propriedades mecânicas conforme a Tabela 3.

Tabela 1 - Composição Química

| Tipo de tubo | Grau | C^a % máx. | Mn^a % máx. | P % máx. | S % máx. |
|---------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|
| S/E | A | 0,25 | 0,95 | 0,05 | 0,045 |
| | B | 0,30 | 1,20 | | |

^a Para cada redução de 0,01 % abaixo do carbono máximo especificado, um aumento de 0,06 % de manganês acima do máximo especificado é permitido, até um máximo de 1,35 % para o Grau A e 1,65 % para o Grau B

Fonte: (NBR 5590, 2015)

Tabela 2 – Composição Química: Outros elementos

| Tipo de tubo | Grau | Elementos Químicos^a | | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | | Cu % máx. | Ni % máx. | Cr % máx. | Mo % máx. | V % máx. |
| S/E | A/B | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,15 | 0,08 |

^a A soma destes cinco elementos químicos não pode exceder 1,00 %

Fonte: (NBR 5590, 2015)

Tabela 3 – Requisitos de propriedades mecânicas de tração

| Grau de aço | Limite de Resistência LR mín. MPa (psi) | Limite de escoamento Le mín. MPa (psi) |
|--------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A | 330 (48 000) | 205 (30 000) |
| B | 415 (60 000) | 240 (35 000) |

Fonte: (NBR 5590, 2015)

Com relação as dimensões o tubo possuirá Diâmetro Nominal (DN) 40 e *Schedule 40*, as quais, de acordo com o catálogo da *Nippon Steel* (Figura 12), são possíveis de serem obtidas pelos dois processos de fabricação. Mais informações como a espessura do tubo e seu diâmetro externo podem ser consultadas na tabela presente no Anexo II.

| Classification | Pipe-making facilities | | Location of mills | Production capacity (tons/year) | Available production size (outer diameter: mm) | | | | | | | | | | Thickness (mm) | | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----------------|------|----------|----------|
| | Production method | | | | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 | 300 | 400 | 500 | 1000 | 2000 | | 3000 | 4000 | 5000 |
| Seamless pipes & tubes | Ugine-Sejournet Hot extrusion process | (Hot finish) | Kyushu Works Oita Area (Hikari Pipe & Tube Div.) | 48,000 | 34.0 | 175.0 | | | | | | | | | | | 2.0~25.0 | |
| | | (Cold finish) | | | 6.0 | 168.3 | | | | | | | | | | | | 0.9~16.0 |
| | Ehrhardt Push Bench Hot hollow forging process | (Hot finish) | Kansai Works Amagasaki Area | 14,400 | 36.0 | 275 | | | | | | | | | | | | 3.0~35.0 |
| | | (Cold finish) | | | 6.0 | 219.1 | | | | | | | | | | | | 1.0~30.0 |
| | Mannesmann Hot hollow forging mandrel mill process | (Hot finish / Wakayama) | Kansai Works Amagasaki Area | 14,400 | 165.2 | 952.5 | | | | | | | | | | | | 15.0~160 |
| | | (Cold finish / Kainan West) | | | 219.1 | 508 | | | | | | | | | | | | |
| | Mannesmann Hot hollow forging mandrel mill process | (Hot finish / Wakayama) | Kansai Works Wakayama Area | 350,000 | 168.3 | 426.0 | | | | | | | | | | | | 4.5~50.0 |
| | | (Hot finish / Kainan East) | | | 73.0 | 182.0 | | | | | | | | | | | | |
| Mannesmann Hot hollow forging mandrel mill process | (Hot finish / Kainan East) | Kansai Works Wakayama Area | 250,000 | 31.8 | 141.3 | | | | | | | | | | | | 2.5~40.0 | |
| | (Cold finish / Kainan) | | | 15.0 | 127.0 | | | | | | | | | | | | | 1.7~23.5 |
| | | | 60,000 | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 12 – Tabela de características dos processos de fabricação da Nippon Steel (nipponsteel.com/en/product/pipe/catalog)

3.2. Linha de produção por laminação

Para fabricação do tubo em questão foi estabelecido uma linha de produção por laminação com 6 processos, apresentados no fluxograma a seguir (Figura 13):

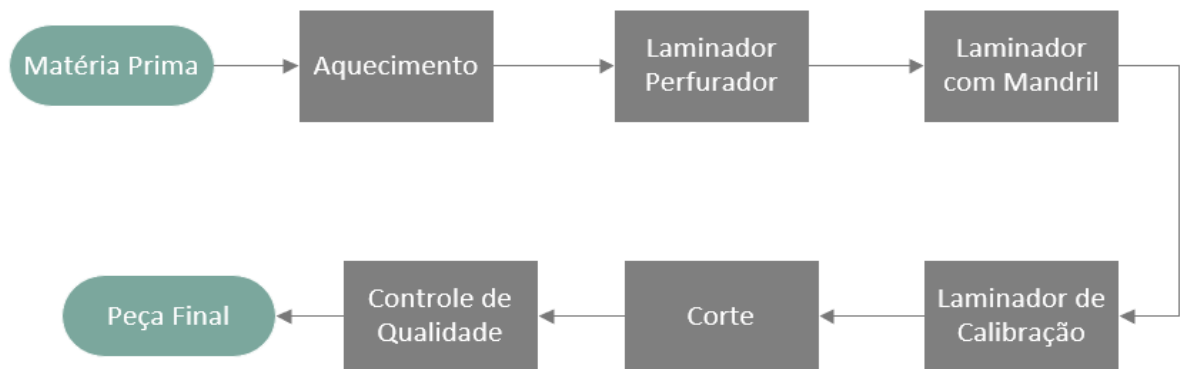


Figura 13 – Fluxograma dos processos de fabricação por laminação

3.2.1. Matéria Prima

Conforme apresentado no relatório técnico da JFE Steel, o processo de laminação possui capacidade para produzir tubos de aço sem costura com até 22 metros de comprimento (Figura 14). Nesse sentido, foi estabelecido que o comprimento do tubo a ser fabricado seria de 18,5 metros, com o objetivo de assegurar a obtenção de três unidades com 6 metros cada. A partir do comprimento

e das dimensões do tubo especificadas na norma, foi definido o volume necessário do blank.

| Tipo | Linha | Tamanho disponível (mm) | | | Observações |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------|---------------------------------------------|
| | | OD | Espessura da parede | Comprimento | |
| Tubo sem Costura | Tubo sem costura de pequeno diâmetro | 25.4-177.8 | 2.3-40.0 | 22000 | Perfurador Mannesman / Laminador de Mandril |
| | Tubo sem costura de médio diâmetro | 177.8-426.0 | 5.1-65.0 | 13500 | Perfurador Mannesman / Laminador de Mandril |

Figura 14 – Tabela de características dos processos na JFE Steel (Adaptado de: *JFE Technical Report*, 2006)

3.2.2. Aquecimento

Nesta etapa, a matéria prima é aquecida, a aproximadamente 1300 °C, em um forno com a finalidade de aumentar sua conformabilidade, permitindo o processo seguinte de perfuração.

3.2.3. Laminador Perfurador

O Laminador Perfurador é o responsável por abrir o furo inicial na matéria prima, mudando sua geometria para tubular. Nesse processo, os cilindros do laminador forçam o material contra o mandril, o qual possui uma ponta, gerando tensões suficientes para conformar o material (Figura 15).

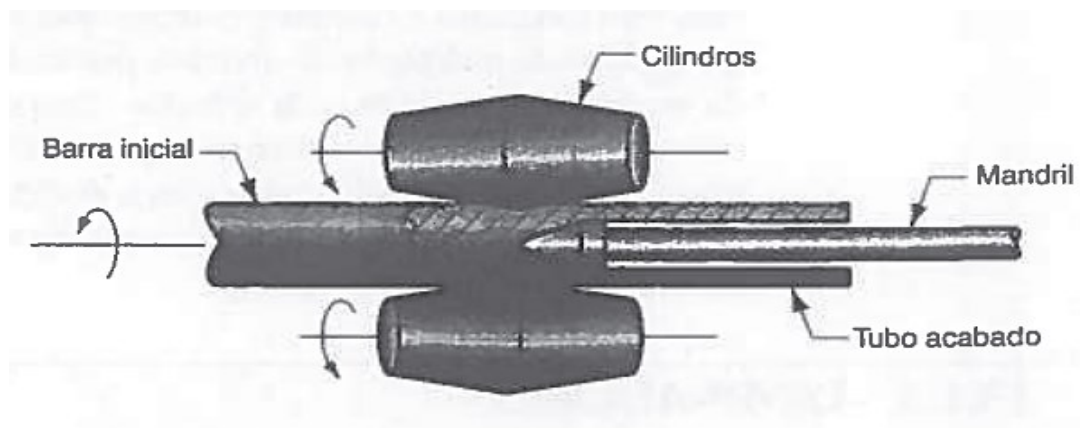


Figura 15 – Representação do laminador utilizado no processo de perfuração (GROOVER, 2014)

3.2.4. Laminador com Mandril

Nesse processo, é utilizado um mandril dentro do furo a peça, a qual passa por cilindros de laminação. O mandril funciona como uma matriz, garantindo que as dimensões da peça (Diâmetro interno, diâmetro externo e espessura da parede) se aproximem das desejadas após a laminação.

3.2.5. Laminador de Calibração

O Laminador de Calibração é amplamente utilizado para produzir materiais com espessuras controladas e precisas, ele desempenha um papel essencial na fabricação de produtos que requerem tolerâncias dimensionais estreitas e consistência em suas propriedades físicas, funcionando como um ajuste fino, garantindo que as mesmas estejam dentro das previstas na norma NBR 5590 (2015).

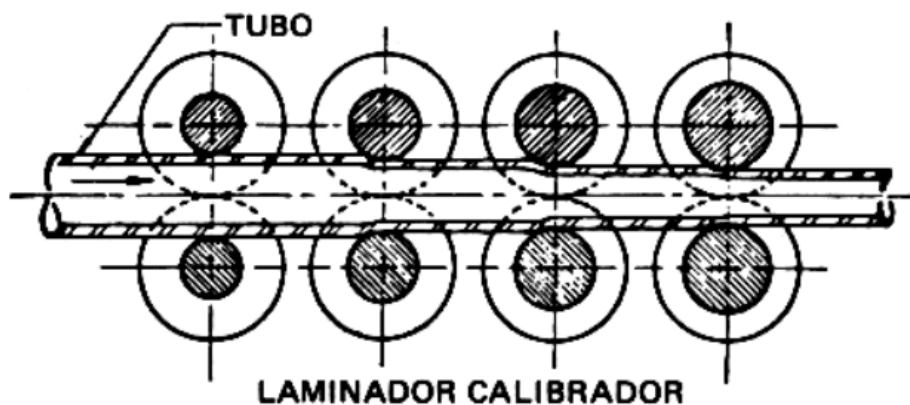


Figura 16 - Representação esquemática do Laminador de Calibração (Tubulação e Caldeiraria Industrial, 1997)

3.2.6. Corte

De acordo com a NBR 5590 (2015), para serem comercializados, os tubos devem ser cortados em comprimentos de 4 a 13 metros, sendo os tamanhos comerciais 6 ou 12 metros. Dessa forma, é necessário realizar três operações de corte para ajustar o comprimento dos tubos fabricados.

3.2.7. Controle de Qualidade

O Controle de Qualidade está relacionado ao conjunto de atividades realizadas que possuem o objetivo de verificar se o produto final possuiu todas as características desejadas, ou seja, se está dentro de todas as tolerâncias especificadas.

Nesse caso, pode ser utilizado um sistema de medição por ultrassom *Krautkrämer ROT* (Figura 17), capaz de realizar a verificação de todas as tolerâncias dimensionais e geométricas, assegurando que o produto final esteja enquadrado nos requisitos especificados pela norma.



Figura 17 – Máquina de inspeção por ultrassom (bakerhughes.com)

Além disso, é necessário a realização do ensaio hidrostático para garantir que o produto final tenha a resistência mecânica necessária.

3.3. Linha de produção por extrusão

A linha de produção por extrusão possui 5 processos, conforme apresentados no fluxograma da Figura 18.

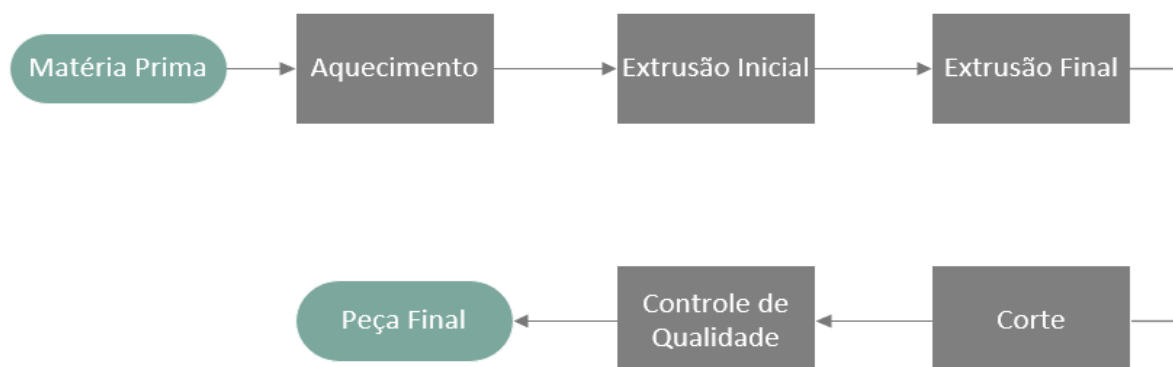


Figura 18 – Fluxograma dos processos de fabricação por extrusão

3.3.1. Matéria Prima

De acordo com o site da Siderval, o processo de extrusão possui capacidade para produzir peças de aço com até 16,8 metros de comprimento. Nesse sentido, foi estabelecido que o comprimento do tubo a ser fabricado seria de 12,5 metros, com o objetivo de assegurar a obtenção de duas unidades com 6 metros cada. A partir do comprimento e das dimensões do tubo especificadas na norma, foi definido o volume necessário do blank.

3.3.2. Aquecimento

Nesta etapa, a matéria prima é aquecida, a aproximadamente 1300 °C, em um forno com a finalidade de aumentar sua conformabilidade, permitindo o processo seguinte de extrusão inicial.

3.3.3. Processo de Extrusão Inicial

Nessa fase, a matéria-prima passa por um processo de extrusão com o objetivo de criar a geometria tubular inicial. Isso possibilita a subsequente extrusão final, uma vez que facilita o processo, permitindo que a extrusora não precise exercer toda a força necessária para a realização em apenas uma etapa.

3.3.4. Processo de Extrusão Final

Nessa etapa, a peça é submetida a um processo de extrusão direta, forçando a passagem do material através de uma matriz, a qual visa garantir as tolerâncias dimensionais e geométricas exigidas pela norma NBR 5590 (2015).

3.3.5. Corte

De acordo com a NBR 5590 (2015), para serem comercializados, os tubos devem ser cortados em comprimentos de 4 a 13 metros, sendo os tamanhos

comerciais 6 ou 12 metros. Dessa forma, é necessário realizar duas operações de corte para ajustar o comprimento dos tubos fabricados.

3.3.6. Controle de Qualidade

Processo realizado conforme descrito no tópico 3.2.6.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SHOULD COST

A fim de realizar a demonstração do custo estimado, foram considerados 2025 tubos por dia como produção, no entanto, essa quantidade resulta em níveis de produtividade distintos para cada processo. A laminação atinge uma eficiência de 100 %, enquanto a extrusão alcança 78,52 %. Essa disparidade ocorre devido ao tempo necessário para fabricar os 2025 tubos. A laminação leva 24 horas, enquanto a extrusão demanda 18,84 horas.

4.1. Produção e tempo de depreciação

Para estimar a quantidade de peças fabricadas por uma linha de produção foram realizadas pesquisas com o objetivo de encontrar o tempo necessário para a realização de cada processo até que o tubo esteja pronto. Com base nesses dados e, assumindo, que a indústria funciona 24 horas por dia encontramos a produção máxima por linha.

Para cada linha de produção foi estimado um tempo de depreciação de 10 anos. Com base nesse tempo, no valor total que deverá ser investido inicialmente em maquinário e em um coeficiente de inflação disponibilizado pelo IBGE, foi possível estimar o quanto a empresa deveria manter em caixa, anualmente, para que após um prazo de 10 anos fosse possível renovar o seu maquinário.

4.2. Estimativa de tempo dos processos

Para estimar os tempos necessários para a produção do tubo pelo processo de laminação e extrusão foram realizadas pesquisas, majoritariamente em vídeos do YouTube uma vez que as literaturas não apresentam os dados necessários, com o

objetivo de aumentar a assertividade dos valores assumidos, os valores estão demonstrados nas Tabelas 4 e 5 para laminação e extrusão, respectivamente.

Tabela 4 - Tempo dos Processos de Laminação

| Processos para laminação | Tempo [s] |
|---------------------------------|------------------|
| Laminador Perfurador | 35 |
| Laminador com Mandril | 35 |
| Laminador de Calibração | 40 |
| Corte | 18 |
| Total | 128 |

Tabela 5 - Tempo dos Processos de Extrusão

| Processos para extrusão | Tempo [s] |
|--------------------------------|------------------|
| Extrusão Inicial | 25 |
| Extrusão Final | 30 |
| Corte | 12 |
| Total | 67 |

Apesar de ambos os modelos de produção envolverem o processo de corte, é evidente que os tempos de corte foram diferentes. No processo de laminação, foram necessários 3 cortes para obter tubos com tamanho de 6 metros, enquanto no processo de extrusão apenas 2 cortes foram realizados.

4.3. Análise de Custos diretos

O Custo Direto indica tudo aquilo que tem ligação direta com a fabricação, no caso iremos considerar como principais custos diretos da produção o custo com matéria prima e colaboradores demonstrados nas Tabelas 6 e 7 para laminação e extrusão, respectivamente.

Tabela 6 - Custos Diretos para Laminação

| Custos diretos para laminação | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Fonte | Custo | Custo Mensal | Custo Anual | Massa [ton]/10anos |
| Matéria Prima [Tonelada] | R\$ 2.970,00 | R\$ 258.458,82 | R\$ 3.101.505,85 | R\$ 31.015.058,46 |
| Colaboradores | R\$ 170.554,80 | R\$ 170.554,80 | R\$ 2.046.657,60 | R\$ 20.466.576,00 |

Tabela 7 - Custos Diretos para Extrusão

| Custos diretos para extrusão | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Fonte | Custo/ton | Custo Mensal | Custo Anual | Massa [ton]/10anos |
| Matéria Prima [Tonelada] | R\$ 2.970,00 | R\$ 262.080,87 | R\$ 3.144.970,39 | R\$ 31.449.703,92 |
| Colaboradores | - | R\$ 126.150,00 | R\$ 1.513.800,00 | R\$ 15.138.000,00 |

Para encontrar o custo com matéria prima primeiro foi necessário encontrar o peso de 1 (um) tubo, cálculo realizado com base na densidade do aço e volume do tubo, e multiplicar pela produção diária. Os dados demonstrados para a realização dos cálculos estão demonstrados nas Tabelas 8 e 9 para laminação e extrusão, respectivamente.

Tabela 8 - Características do Tubo para Laminação

| Características do tubo para laminação | |
|-----------------------------------------------|--------|
| Diâmetro Nominal (DN): | 40 |
| <i>Schedule</i> (SCH) | 40 |
| Raio Externo do tubo [cm] | 2,42 |
| Raio Interno do tubo [cm] | 2,05 |
| Comprimento do tubo antes do corte [cm] | 1850 |
| Volume do Tubo [cm ³] | 787,08 |
| Densidade do Material [g/cm ³] | 7,80 |
| Massa do tubo [kg] | 6,14 |

Tabela 9 - Características do Tubo para Extrusão

| Características do tubo para extrusão | |
|----------------------------------------------|--------|
| Diâmetro Nominal (DN): | 40 |
| <i>Schedule</i> (SCH) | 40 |
| Raio Externo do tubo [cm] | 2,42 |
| Raio Interno do tubo [cm] | 2,05 |
| Comprimento do tubo antes do corte [cm] | 1250 |
| Volume do Tubo [cm ³] | 531,81 |
| Densidade do Material [g/cm ³] | 7,80 |
| Massa do tubo [kg] | 4,15 |

O custo com colaboradores é calculado a partir da decisão de quais os cargos e a quantidade de colaboradores que serão necessários para o funcionamento da linha, uma vez que essas informações forem decididas podemos utilizar o piso salarial de cada cargo assim como os encargos trabalhistas, considerados como 68,2 % do salário base, para estimar esse valor, chegando aos resultados demonstrados nas Tabelas 10 e 11, para laminação e extrusão respectivamente.

Tabela 10 - Quadro de Funcionários para Laminação

| Quadro de funcionários para laminação | | | | |
|----------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Cargo | Quantidade | Salário | Custo | Custo Total Anual |
| Engenheiro | 3 | R\$14.000 | R\$ 23.548,00 | R\$ 70.644,00 |
| Supervisor | 3 | R\$4.000 | R\$ 6.728,00 | R\$ 20.184,00 |
| Colaborador de linha | 18 | R\$2.200 | R\$ 3.700,40 | R\$ 66.607,20 |
| Limpeza | 6 | R\$1.300 | R\$ 2.186,60 | R\$ 13.119,60 |
| Total | | | | R\$ 170.554,80 |

Tabela 11 - Quadro de Funcionários para Extrusão

| Quadro de funcionários para extrusão | | | | |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Cargo | Quantidade | Salário | Custo | Custo Total Anual |
| Engenheiro | 3 | R\$ 14.000,00 | R\$ 23.548,00 | R\$ 70.644,00 |
| Supervisor | 3 | R\$ 4.000,00 | R\$ 6.728,00 | R\$ 20.184,00 |
| Colaborador de linha | 6 | R\$ 2.200,00 | R\$ 3.700,40 | R\$ 22.202,40 |
| Limpeza | 6 | R\$ 1.300,00 | R\$ 2.186,60 | R\$ 13.119,60 |
| Total | | | | R\$ 126.150,00 |

4.4. Análise de Custos Indiretos

Os custos indiretos são todos aqueles que não estão diretamente ligados com a fabricação do produto. No caso em questão foram considerados os custos com energia elétrica, manutenção, aluguel e depreciação do maquinário. Demonstrados nas Tabelas 12 e 13, para laminação e extrusão respectivamente.

Tabela 12 - Custos Indiretos para Laminação

| Custos indiretos para laminação | | | |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Fonte | Custo Mensal | Custo Anual | Custo em 10 anos |
| Energia Elétrica | R\$65.902,03 | R\$790.824,40 | R\$7.908.244,01 |
| Aluguel | R\$ 80.000,00 | R\$ 960.000,00 | R\$ 9.600.000,00 |
| Manutenção | R\$ 107.033,33 | R\$ 1.284.400,00 | R\$ 12.844.000,00 |
| Depreciação do Maquinário | R\$ 133.791,67 | R\$ 1.605.500,00 | R\$16.055.000,00 |

Tabela 13 - Custos Indiretos para Extrusão

| Custos indiretos para extrusão | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Fonte | Custo Mensal | Custo Anual | Custo em 10 anos |
| Energia Elétrica | R\$ 54.908,87 | R\$ 658.906,43 | R\$ 6.589.064,27 |
| Aluguel | R\$ 80.000,00 | R\$ 960.000,00 | R\$ 9.600.000,00 |
| Manutenção | R\$ 167.033,33 | R\$2.004.400,00 | R\$ 20.044.000,00 |
| Depreciação do Maquinário | R\$ 208.791,67 | R\$2.505.500,00 | R\$ 25.055.000,00 |

Para encontrar o custo com energia foi estipulado o consumo em kWh dos maquinários utilizados nos processos, um preço por kWh de R\$ 0,72, a quantidade de turnos de funcionamento da empresa e um total de 252 dias úteis de funcionamento por mês, nas Tabelas 14 e 15 podemos encontrar de consumo de kWh assumidos para a laminação e extrusão, respectivamente.

Tabela 14 - Quadro de gasto de energia para Laminação

| Quadro de Gasto de Energia para laminação | | | |
|--------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Fonte | Quantidade | Gasto (kWh) | Custo (Anual) |
| Forno | 1 | 73 | R\$ 314.483,92 |
| Laminadores | 3 | 30 | R\$ 389.733,12 |
| Geral | 1 | 20 | R\$ 86.607,36 |
| Total | | | R\$ 790.824,40 |

Tabela 15 - Quadro de gasto de energia para Extrusão

| Quadro de Gasto de Energia para extrusão | | | |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Fonte | Quantidade | Gasto (kWh) | Custo (Anual) |
| Forno | 1 | 94 | R\$ 318.891,10 |
| Extrusoras | 2 | 40 | R\$ 272.012,26 |
| Geral | 1 | 20 | R\$ 68.003,06 |
| Total | | | R\$ 658.906,43 |

Para o custo com manutenção assumimos um valor de 8 % sobre o total investido em maquinário, valor que julgamos uma boa aproximação, uma vez que para encontrar o valor real investido em manutenção seriam necessárias informações que só são possíveis de encontrar empiricamente, como por exemplo, a necessidade de peças sobressalentes.

4.5. Apresentação dos Resultados

Os dados centrais de cada linha de produção foram organizados em relatórios automatizados, denominados *Dashboards*, no Excel, com o objetivo de facilitar a visualização e o entendimento das características principais de cada processo,

auxiliando em análises e tomadas de decisões. Os *Dashboards* de laminação e extrusão estão representados, respectivamente, nas Figuras 19 e 20 a seguir. Ademais, foi desenvolvida uma interface de entrada de dados amigável ao usuário (Figura 21) com a finalidade de facilitar o preenchimento dos dados e realizar possíveis alterações nos mesmos.

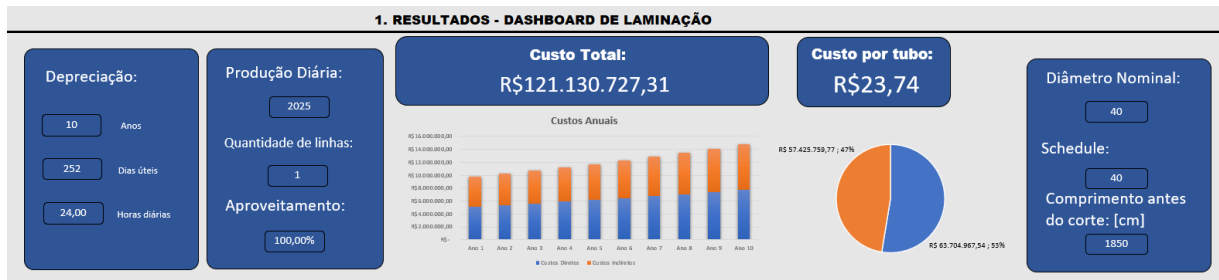


Figura 19 - *Dashboard* de Laminação

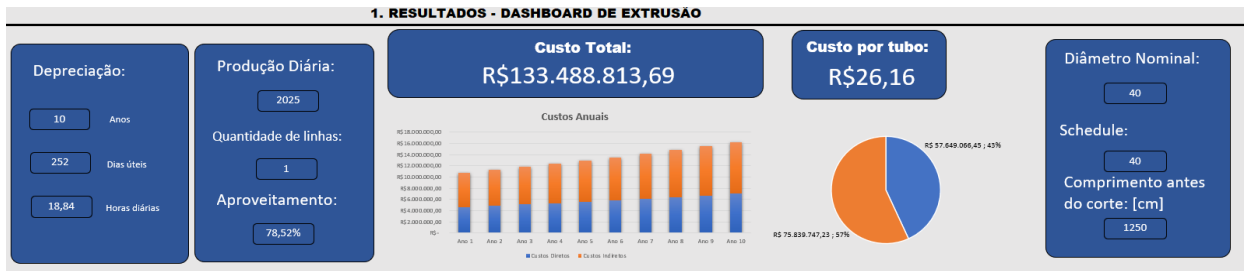


Figura 20 - *Dashboard* de Extrusão

| Interface de entrada de dados | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características do tubo | Produção | Tempo dos Processos | Colaboradores |
| <p>Diâmetro</p> <p>Matéria prima</p> | <p>Volume de Produção Diária</p> | <p>Tempos Extrusão</p> <p>Tempos Laminação</p> | <p>Salário e Quantidade de Colaboradores Laminação</p> <p>Salário e Quantidade de Colaboradores Extrusão</p> |

Figura 21 - Interface de entrada de dados

5. CONCLUSÃO

Inicialmente é fácil perceber que temos um custo diferente com maquinário para linha de produção por extrusão e por laminação, o montante investido em maquinário para a linha de extrusão totaliza 25 milhões de reais e para a linha de laminação temos um investimento inicial de 16 milhões, o que representa um aumento de capital investido de cerca de 56 % quando optamos por uma linha de extrusão. Essa diferença se dá principalmente pela tecnologia presente no maquinário para realizar a extrusão, o que torna o processo mais produtivo e por consequência mais caro, podemos perceber a diferença na produção ao comparar a quantidade máxima de tubos produzidos em cada processo.

Outra diferença é encontrada ao comparar o número de colaboradores em cada linha, podemos perceber que a linha extrusora, apesar de necessitar de um maior investimento inicial, precisa de um quadro de funcionários menor em relação ao processo por laminação, o que incorre em um menor custo fixo exigido para o seu funcionamento. Essas diferenças podem ser pequenas e pouco relevantes quando comparadas ao investimento inicial, no entanto, no longo prazo o menor custo fixo e a maior produtividade tendem a favorecer a produção por extrusão.

Também podemos perceber que à medida que novas linhas de produção são adicionadas o custo de fabricação é reduzido, tornando mais rentável o negócio. Isso acontece para o caso de extrusão e de laminação, e demonstra o ganho de escala que pode ser gerado à medida que uma empresa expande a sua operação, esse ganho de escala vem da melhor utilização da capacidade produtiva da planta industrial, melhor utilização do quadro de funcionários e do maior poder de barganha com os fornecedores dos insumos de produção. Uma vez que o custo de matéria prima tende a se tornar o custo mais relevante no longo prazo.

O gráfico na Figura 22, representa o custo de produção do tubo, levando em consideração o tempo de depreciação de 10 anos, em relação a quantidade diária de tubos produzida e, considerando, um valor de venda fixo de R\$ 120,00 por tubo foi construído o gráfico de lucro da empresa, mostrado na Figura 23. Analisando o comportamento dos gráficos, percebemos que a adição de novas linhas, sem um aumento significativo na produção de tubos, gera um aumento no custo de produção e um impacto direto no lucro da empresa. Dessa forma, caso o objetivo seja obter maior lucro, é necessário verificar o aproveitamento da linha de produção quando

houver o aumento de uma linha. Ademais, percebemos que existem intervalos de produção nos quais a linha de extrusão apresenta menor custo e maior lucro em relação a de laminação e isso se deve ao fato da produção máxima diária de uma linha do método de extrusão (2579 tubos diários) ser maior que o de laminação (2025 tubos diários).

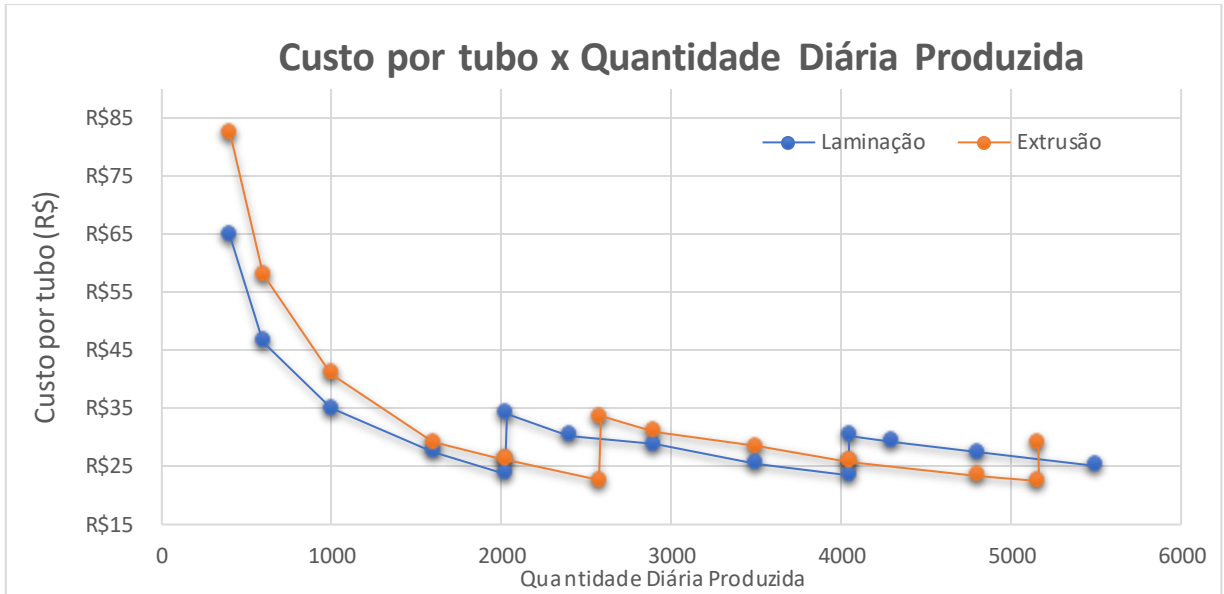


Figura 22 - Gráfico do custo por tubo em função da quantidade diária produzida

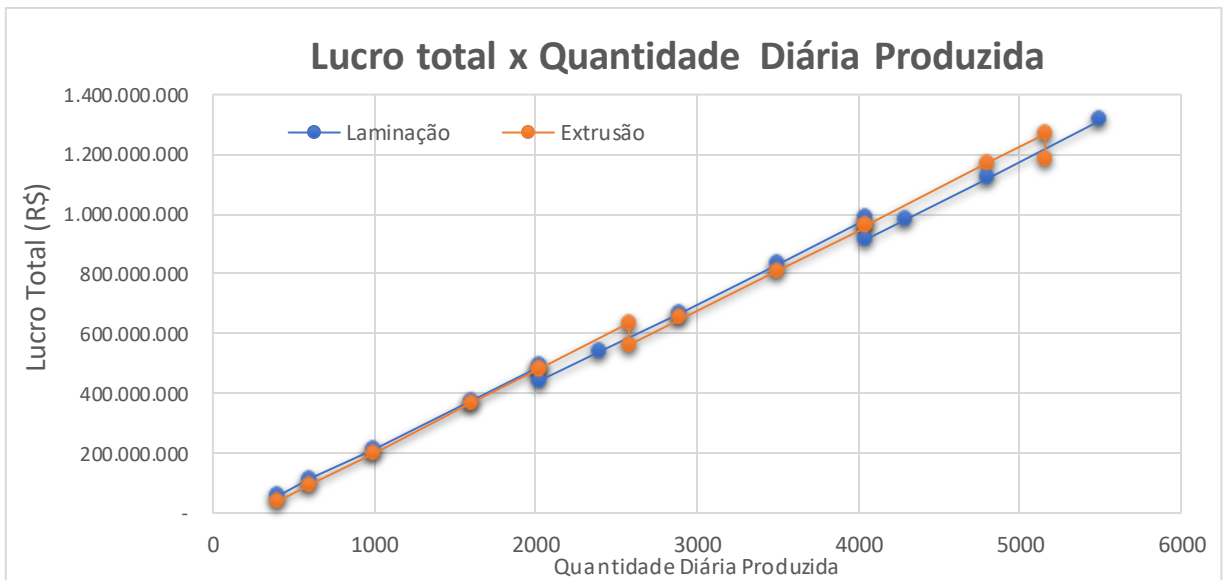


Figura 23 - Gráfico do lucro total em função da quantidade diária produzida

Como um resultado, temos que para o valor de produção assumido de 2025 tubos a laminação é o processo mais vantajoso, uma vez que utilizaríamos mais de

sua capacidade de produção. No entanto, para outros valores de produção máxima, o melhor método de produção tende a ser alterado, uma vez que cada método apresenta um valor de produtividade diferente para um determinado nível de produção. Dessa forma, conclui-se que os dois métodos são válidos e competitivos na produção de tubos sem costura e não se pode determinar, sem análise prévia da quantidade a ser produzida, qual o processo mais indicado.

6. TRABALHOS FUTUROS

- Analisar o comportamento das curvas de custos e suas influências na curva de produção.
- Utilizar a metodologia *Should Cost* no processo de fabricação de tubos de aço com costura para fins de comparação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tecnologia mecânica / Vincente Chiaverini – 2. ed. – São Paulo : McGraw-Hill, 1986.
- Introdução aos processos de fabricação / Mikell P. Groover ; tradução Anna Carla Araujo ; tradução e revisão técnica André Ribeiro de Oliveira ... [et al.] 1, ed. – Rio de Janeiro : LTC, 2014.
- Conformação plástica dos metais / coord. rev. E. Bresciani Filho; pesq. atual. I.B. Silva; transc. dig. G.F. Batalha; rev. ed. dig. S.T. Button. – 1. ed. dig. -- São Paulo : EPUSP, 2011.
- CETLIN, P. R.; HELMAN, H. Fundamentos da Conformação – 2. ed. São Paulo : Artliber Editora, 2010.
- NORMA REGULAMENTADORA 13 (NR-13) - Caldeiras, Vasos De Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento - Redação dada pela Portaria MTb N.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5590: Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados – Requisitos, 2015.
- WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C.; Fundamentos da Termodinâmica; tradução Euryale de Jesus Zerbini – 6. ed. Edgard Bluncher, 2003.
- MASAMURA, K.; NAGAHAMA, Y.; JFE TECHNICAL REPORT No. 7 - Manufacturing Processes and Products of Steel Pipes and Tubes in JFE Steel, 2006.
- COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO EM PARCERIA COM O SENAI. Tubulação e Caldeiraria Industrial. Espírito Santo, ES, 1997.
- MODESTO, J. J. G. J.; VALÉRIO, M. R.; FRANCO, B. C.; AEDB – Custo de manutenção de ativos numa óptica operacional e estratégica no ambiente industrial, 2015.

Should Cost – Uma poderosa ferramenta para abordar seus fornecedores. Disponível em: <<https://ibid.com.br/blog/should-cost/>>. Acesso em outubro de 2022.

Introdução ao processo de fabricação de tubos sem costura. Disponível em: <<https://www.theprocesspipng.com/introduction-to-seamless-pipe-manufacturing/>>. Acesso em novembro de 2022.

Os principais tipos de caldeiras. Disponível em: <<https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras/>>. Acesso em novembro de 2022.

Principais especificações técnicas. Disponível em: <<https://acotubo.com.br/tabelas-site/tubos-de-aco/principais-especificacoes-tecnicas.html>>. Acesso em novembro de 2022.

Processos de fabricação de tubos de aço sem costura. Disponível em: <<https://www.wermac.org/pipes/pipemaking.html>>. Acesso em dezembro de 2022.

“Como calcular o Custo de Manutenção?”. Disponível em: <<https://www.produttivo.com.br/blog/custo-de-manutencao/>>. Acesso em dezembro de 2022.

Entenda tudo sobre custos diretos, indiretos, fixos e variáveis. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/custos-diretos-indiretos-fixos-e-variaveis/>>. Acesso em dezembro de 2022.

Catálogos de tubulações Nippon Steel. Disponível em: <<https://www.nipponsteel.com/en/product/pipe/catalog/>>. Acesso em fevereiro de 2023.

Custo-benefício da manutenção elétrica industrial. Disponível em: <<https://www.maisepi.com.br/single-post/manuten%C3%A7%C3%A3o-preventiva-industrial#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Associa%C3%A7%C3%A3o,espe>>

[cialmente%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20equipamentos](#)>. Acesso em fevereiro de 2023.

Processo de fabricação de tubos de aço sem costura TenarisBayCity. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=B1gcSyqLkA0>>. Acesso em abril de 2023.

Fluxo de produção - do tarugo ao tubo sem costura de alta tecnologia. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=uL0pbni0lww>>. Acesso em abril de 2023.

Produção de tubos de aço sem costura na BHEL. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=nXXqWTnR9bc>>. Acesso em abril de 2023.

Extrusão a quente de perfis especiais em aço e aço inoxidável. Disponível em: <<youtube.com/watch?v=dgloD7UxhgA>>. Acesso em abril 2023.

Processo de Extrusão de Titânio e Aço Inoxidável. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7qiDJ5U4uRc>>. Acesso em abril de 2023.

Custo da energia elétrica para a indústria. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/custo-da-energia-eletrica-para-industria/#:~:text=Em%20agosto%20de%202021%20a,a%20competitividade%20da%20ind%C3%BAstria%20brasileira>>. Acesso em abril de 2023.

Ranking de custo de energia a indústria. Disponível em: <<https://www.poder360.com.br/energia/rio-de-janeiro-lidera-ranking-de-custo-de-energia-a-industria/>>. Acesso em abril de 2023.

Custo de um funcionário a empresa. Disponível em: <<https://empresaautogerenciavel.com.br/blog/financas/quanto-custa-um-funcionario>>. Acesso em abril de 2023.

Controle de Qualidade automático por ultrassom. Disponível em: <<https://www.bakerhughes.com/waygate-technologies/ultrasonic-testing/automated->

[ultrasonic-testing-2/seamless-and-erw-tube-and-pipe-inspection](#)>. Acesso em maio de 2023.

Tubos de aço sem costura obtidos por extrusão. Disponível em: <<https://www.siderval.it/en/seamless-steel-pipes-hot-extrusion/>>. Acesso em maio de 2023.

Índice de inflação anual. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em maio de 2023.

Produtividade e consumo de energia do forno a arco. Disponível em: <<https://www.jaccard.com.br/informacoes.htm>>. Acesso em maio de 2023.

Preço de venda para um tubo de aço sem costura com 6 metros e diâmetro 40 mm. Disponível em: <<https://www.multiseg.com.br/3068/tubo-ao-carbono-preto-nbr-5580-classe-mdia-11-2-x-6-metros>>. Acesso em maio de 2023.

Tendências e Análises do mercado mundial de tubos de aço. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/steel-pipes-tubes-market>>. Acesso em maio de 2023.

Anexo I – Tabela de normas para tubos de aço (acotubo.com.br)

| Norma | Processo de Fabricação | | Principal Finalidade | Norma Similar |
|-------|------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ABNT | NBR 5597 | com ou sem costura | Eletrodutos rígidos, com revestimento, com rosca, pesados e extra pesados | |
| | 5598 | com ou sem costura | Eletrodutos rígidos, com revestimento, com rosca, médio e pesados | |
| | 5580 | com costura | Condução de fluidos | DIN 2440 |
| | 5590 | com ou sem costura | Condução de fluidos, com requisitos de qualidade | A-53 |
| DIN | 1626 | com costura | Evaporadores, aquecedores, condução de gases, etc. | |
| | 1629 | sem costura | Caldeiras, aparelhos, reservatórios e outros | |
| | 2391 | sem costura | De precisão (auto peças e diversos) | NBR 8476 |
| | EN 10305-2 | com costura | De precisão (auto peças e diversos) | 2393 |
| | 2394 | com costura | Auto peças móveis, eletrodomésticos e diversos | 6591 |
| | 2440 / EN 10255 | com costura | Condução de fluidos | 5580M |
| | 2448 | sem costura | Caldeiras, aparelhos e outros | |
| 2458 | com costura | Caldeiras, evaporadores, condução de gases, aquecedores, etc | | |
| 17175 | sem costura | Caldeiras - altas temperaturas | | |
| ASTM | A-53 | com ou sem costura | Condução de fluidos, com requisitos de qualidade | NBR 5590 |
| | A106 | sem costura | Condução de fluidos em alta temperatura e alta pressão | 6321 |
| | A120 | com costura | Condução de fluidos (usos comuns) | 5885 |
| | A134 | com costura | Tubos de baixa pressão | |
| | A135 | com costura | Condução de fluidos | |
| | A139 | com costura | Tubos para condução de líquido, gás ou vapor | |
| | A161 | sem costura | Serviços em refinarias | 5581 |
| | A178 | com costura | Caldeiras | 5595 |
| | A179 | sem costura | Condensadores e trocadores de calor | 5583 |
| | A192 | sem costura | Caldeiras e superaquecedores de alta pressão | 5534 |
| | A199 | sem costura | Condensadores e trocadores de calor | 5584 |
| | A200 | sem costura | Serviços em refinarias | 5582 |
| | A210 | sem costura | Caldeiras e superaquecedores | 5592 |

| Norma | Processo de Fabricação | | Principal Finalidade | Norma Similar |
|-------|------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| ASTM | A213 | sem costura | Caldeiras, superaquecedores e trocadores de calor | |
| | A214 | com costura | Condensadores e trocadores de calor | 5585 |
| | A226 | com costura | Caldeiras e superaquecedores de alta pressão | 5596 |
| | A252 | com ou sem costura | Tubos para estacas | |
| | A333 | com ou sem costura | Serviço em baixas temperaturas | 5602 |
| | A334 | com ou sem costura | Serviço em baixas temperaturas | 5605 |
| | A335 | sem costura | Serviço em altas temperaturas | 5603 |
| | A405 | sem costura | Serviço em altas temperaturas | |
| | A423 | com ou sem costura | Trabalhos sob pressão, com maior resistência à corrosão | |
| | A500 | com ou sem costura | Estruturas metálicas | |
| | A501 | sem costura | Estruturas metálicas | |
| | A513 | com costura | Fins mecânicos | |
| | A519 | sem costura | Fins mecânicos | |
| | A523 | com ou sem costura | Condução de cabos elétricos | |
| | A524 | sem costura | Temperaturas atmosféricas e abaixo | |
| | A556 | sem costura | Aquecedores de água de alimentação | |
| | A557 | com costura | Aquecedores de água de alimentação | |
| A589 | com ou sem costura | Poços artesanais | | |
| API | 5CT | com ou sem costura | Poços petrolíferos (revestimento / bombeamento = "CASING/TUBING") | |
| | 5D | sem costura | Poços petrolíferos (perfuração = "DRILL PIPE") | |
| | 5L | com ou sem costura | Condução de produtos petrolíferos ("LINE PIPE") | |
| | 2B | com costura | Tubos estruturais | |
| AWWA | AWWA | | | ASTM A36/ ATM A283 C,D |
| | C200 | | Tubos para sistemas de água e esgoto | ASTM A572 42, 50, 60 |
| | C208 | | Conexões | ASTM A570 36, 40, 45, 50 |

Anexo II – Tabela com dimensões, massa e pressão de ensaio dos tubos com extremidades lisas, ranhuradas ou biseladas (ABNT NBR 5590, 2015)

| Diâmetro nominal | | Diâmetro externo mm (in) | Espessura de parede do tubo mm (in) | Tubo de ponta lisa Massa nominal kg/m (lb/ft) | Classe | Schedule | Pressão de ensaio kPa (psi) | |
|------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|----------|--------------------------------|----------------|
| NPS | DN | | | | | | Grau A | Grau B |
| 1/8 | 6 | 10,3 (0,405) | 1,24 (0,049) | 0,28 (0,19) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 1,45 (0,057) | 0,32 (0,21) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 1,73 (0,068) | 0,37 (0,24) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,41 (0,095) | 0,47 (0,31) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| ¼ | 8 | 13,7 (0,540) | 1,65 (0,065) | 0,49 (0,33) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 1,85 (0,073) | 0,54 (0,36) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,24 (0,088) | 0,63 (0,43) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 3,02 (0,119) | 0,80 (0,54) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| 3/8 | 10 | 17,1 (0,675) | 1,65 (0,065) | 0,63 (0,42) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 1,85 (0,073) | 0,70 (0,47) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,31 (0,091) | 0,84 (0,57) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 3,20 (0,126) | 1,10 (0,74) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| ½ | 15 | 21,3 (0,840) | 1,65 (0,065) | 0,80 (0,54) | ... | 5 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,11 (0,083) | 1,00 (0,67) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,41 (0,095) | 1,12 (0,76) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,77 (0,109) | 1,27 (0,85) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 3,73 (0,147) | 1,62 (1,09) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| | | | 4,78 (0,188) | 1,95 (1,31) | ... | 160 | 6 200 (900) | 6 200 (900) |
| 7,47 (0,294) | 2,55 (1,72) | XXS | ... | 6 900 (1 000) | 6 900 (1 000) | | | |
| 3/4 | 20 | 26,7 (1,050) | 1,65 (0,065) | 1,03 (0,69) | ... | 5 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,11 (0,083) | 1,28 (0,86) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,41 (0,095) | 1,44 (0,97) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,87 (0,113) | 1,69 (1,13) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 3,91 (0,154) | 2,20 (1,48) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| | | | 5,56 (0,219) | 2,90 (1,95) | ... | 160 | 6 200 (900) | 6 200 (900) |
| 7,82 (0,308) | 3,64 (2,44) | XXS | ... | 6 900 (1 000) | 6 900 (1 000) | | | |
| 1 | 25 | 33,4 (1,315) | 1,65 (0,065) | 1,29 (0,87) | ... | 5 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,77 (0,109) | 2,09 (1,41) | ... | 10 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 2,90 (0,114) | 2,18 (1,46) | ... | 30 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 3,38 (0,133) | 2,50 (1,68) | STD | 40 | 4 800 (700) | 4 800 (700) |
| | | | 4,55 (0,179) | 3,24 (2,17) | XS | 80 | 5 900 (850) | 5 900 (850) |
| | | | 6,35 (0,250) | 4,24 (2,85) | ... | 160 | 6 200 (900) | 6 200 (900) |
| 9,09 (0,358) | 5,45 (3,66) | XXS | ... | 6 900 (1 000) | 6 900 (1 000) | | | |
| 1 ¼ | 32 | 42,2 (1,660) | 1,65 (0,065) | 1,65 (1,11) | ... | 5 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 2,77 (0,109) | 2,69 (1,81) | ... | 10 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 2,97 (0,117) | 2,87 (1,93) | ... | 30 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 3,56 (0,140) | 3,39 (2,27) | STD | 40 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 4,85 (0,191) | 4,47 (3,00) | XS | 80 | 12 400 (1 800) | 13 100 (1 900) |
| | | | 6,35 (0,250) | 5,61 (3,77) | ... | 160 | 13 100 (1 900) | 13 800 (2 000) |
| 9,70 (0,382) | 7,77 (5,22) | XXS | ... | 15 200 (2 200) | 15 900 (2 300) | | | |
| 1 ½ | 40 | 48,3 (1,900) | 1,65 (0,065) | 1,90 (1,28) | ... | 5 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 2,77 (0,109) | 3,11 (2,09) | ... | 10 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 3,18 (0,125) | 3,53 (2,37) | ... | 30 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 3,68 (0,145) | 4,05 (2,72) | STD | 40 | 8 300 (1 200) | 9 000 (1 300) |
| | | | 5,08 (0,200) | 5,41 (3,63) | XS | 80 | 12 400 (1 800) | 13 100 (1 900) |
| | | | 7,14 (0,281) | 7,25 (4,86) | ... | 160 | 13 400 (1 950) | 14 100 (2 050) |
| 10,16 (0,400) | 9,56 (6,41) | XXS | ... | 15 200 (2 200) | 15 900 (2 300) | | | |