



III Semana Acadêmica de Engenharia Mecânica e de Produção

“ENGENHARIA ALÉM DO TRADICIONAL E O IMPACTO DA INDÚSTRIA 4.0”

24 a 26 de setembro de 2018 no campus Viçosa da UFV
Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica – DEP
Universidade Federal de Viçosa – UFV

ROTA DE FABRICAÇÃO DE CORDAS DE VIOLÃO REVESTIDAS

Gabriela Pereira Toledo, Priscilla Carolina Santos Costa, Lucas Benini

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica
Avenida Peter Henry Rolfs – 36570-900 – Viçosa – Minas Gerais
gabriela.toledo@ufv.br, priscilla.santos@ufv.br, lucas.benini@ufv.br

Resumo: As cordas de violão são normalmente fabricadas de aço ou nylon e possuem baixo custo. Contudo os processos de fabricação e maquinários envolvidos possuem alto custo, exigindo elevados investimentos tanto na aquisição quanto na manutenção dos mesmos. As técnicas utilizadas não são alteradas há décadas, mesmo com a criação de novas tecnologias. Assim, estudos de viabilidade econômica devem ser realizados com o intuito de implementar processos mais eficientes na indústria. O presente artigo se trata do levantamento da rota de fabricação da rota de fabricação das cordas de violão, que auxiliará para posteriores estudos de engenharia econômica.

Palavras-chave: Fabricação, rota de fabricação, corda de violão.

1. INTRODUÇÃO

Na obra Dicionário Musical Brasileiro, Mário de Andrade definiu o violão através do seguinte verbete: “Instrumento de cordas dedilhadas, constituído por uma caixa de ressonância de fundo chato, em forma de oito, e um braço dividido em trastos em cuja extremidade suas seis cordas são fixadas e afinadas por cravelhas” (Andrade, 1989). A história do violão, também denominado de guitarra, remonta há quase 2.000 a.C. e tem duas vertentes principais aceitas por estudiosos e violonistas. A primeira teoria afirma que o instrumento teve sua origem no alaúde árabe e foi levado por mulçumanos para a península Ibérica. Já a segunda, sustenta que o violão derivou-se da cítara romana e teve seu uso expandido com a dominação do Império Romano.

As cordas de um violão são compostas, basicamente, por duas partes: a interior, chamada de núcleo ou alma e a exterior, denominada capa ou revestimento. Tem-se à disposição diversos tipos de materiais que podem ser utilizados na fabricação de um jogo de cordas: fibras naturais, fibras sintéticas e metais ou ligas metálicas. Assim, o material usado na manufatura das cordas implica diretamente nas propriedades mecânicas, acústicas e no custo final do produto.

No encordoamento de nylon, o núcleo da corda é composto de nylon e há a diferenciação das cordas mais agudas para as mais graves através do revestimento. As cordas mais agudas não são revestidas e as demais são envolvidas com bronze. Neste tipo de encordoamento o som é mais suave e como as cordas são mais macias, o conforto para tocar o instrumento é maior. No entanto, devido às propriedades mecânicas do nylon, o desgaste das cordas é maior (Darezzo, 2017).

Por sua vez, nas cordas de aço não há revestimento nas três primeiras cordas e nas seguintes o núcleo de aço é encapado com aço inoxidável, níquel, bronze e outros elementos. A combinação destes materiais implica no volume mais alto, timbre mais estridente e som mais agudo e potente

deste tipo de encordoamento. Todavia, o conforto é bem inferior às cordas de nylon e o custo é superior.

No presente texto, optou-se por exibir uma rota de fabricação do encordoamento de aço. Assim, pretende-se evidenciar as etapas da manufatura do produto desde a extração do minério de ferro e calcopirita. Salienta-se que devido aos inúmeros processos produtivos e maquinários disponíveis, a rota apresentada é apenas uma das possibilidades. Os processos citados ainda são utilizados até hoje para obtenção de diversos produtos na indústria mesmo existindo processos mais tecnológicos e com maior controle sobre a fabricação, mas devido a custos mais elevados, viabilidade econômica e cultura das empresas, os empresários ficam receosos em adotar procedimentos mais novos.

O presente trabalho tem o objetivo de estudar e traçar a rota de fabricação da corda de violão, evidenciando os insumos e processos produtivos para a produção deste produto. Este trabalho servirá como base para estudos de viabilidade econômica sobre este produto.

2. METODOLOGIA

O presente artigo se trata de uma revisão bibliográfica a apresenta dados coletados de fontes secundárias com parâmetros qualitativos, com o intuito de identificar a rota de fabricação da corda de violão revestido. Foram inicialmente pesquisados os processos metalúrgicos do aço desde a extração do minério de ferro até o trefilamento, posteriormente os processos de obtenção dos fios de bronze e, por fim, foi descrito os processos de encordoamento da corda do violão a partir dos fios de aço e bronze.

3. RESULTADOS

Dentre as partes que o compõe, as cordas têm papel inquestionável na usabilidade do instrumento e implicam diretamente na qualidade acústica. Propõe-se então, explicitar uma rota de fabricação para o encordoamento de aço. O processo de manufatura inicia-se na extração do minério de ferro para fabricação do aço, além disso, tem-se a conformação plástica para obtenção dos fios de aço, extração e processamento do cobre para obtenção do bronze para posterior revestimento do núcleo da corda e alocação do pino.

Todos os materiais e processamentos envolvidos são determinantes para que as propriedades deste produto sejam atendidas: a resistência mecânica à tensão e torção, a maleabilidade, a boa qualidade acústica e baixo peso.

A primeira etapa na manufatura da corda de violão é a extração do minério de ferro para posterior fabricação do aço. O ferro é obtido na natureza em forma de óxidos: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$) e siderita (FeCO_3). Parte-se então, para os processos que transformarão estes óxidos nas denominadas fontes de ferro primário: pelotas, sinter e minério granulado (Silva, 2017).

O minério granulado já possui as dimensões ideais para inserção no alto forno, em torno de quarenta milímetros. Todo o material que possui dimensão inferior a 30 mm precisa passar pelos processos de pelotização ou sinterização, que vão lhes conferir o tamanho necessário para inserção de camadas no forno (Silva, 2017).

Já em posse do minério nas formas citadas, pode-se iniciar a eliminação do oxigênio e obtenção de ferro puro líquido no alto forno. Para tal, é necessário coque e calcário. O coque é o produto sólido originado da destilação de uma mistura de carvão mineral, esta queima ocorre na ausência de ar e em torno de 1100 °C. Basicamente, o coque tem a função de fornecer o calor necessário às necessidades térmicas do processo de obtenção do ferro gusa. Por sua vez, o calcário, extraído de rochas sedimentares com teor de 30% a 40% de carbonato de cálcio, age como fundente no processo.

No topo do forno são despejados o coque, o calcário e o ferro em camadas alternadas de minério granulado, pelotas e sinter. Na parte inferior do forno ar quente é injetado por ventaneiras e, inicia-se a reação com a carga sólida carregada no topo do forno que desce constantemente por gravidade. Acontecidas todas as reações químicas, o que leva de 6 a 8 h aproximadamente, todo o material obtido fica depositado no fundo do forno (cadinho) e é vazado em intervalos regulares de tempo. Os produtos

do alto forno são o ferro gusa, a escória e gases de topo e particulado. Na Fig. 1, segue o esquema do alto forno e das reações químicas que ocorrem em seu interior.

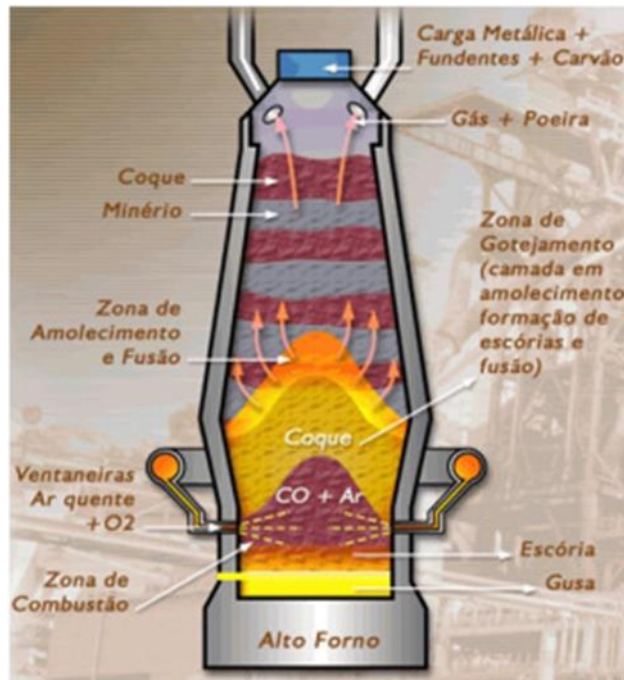


Figura 1 – Esquema do alto forno (Infomet, 2018).

O ferro gusa líquido apresenta teor de aproximadamente 4% de carbono, no entanto, ainda estão presentes elementos com teores indesejados: silício, enxofre, fósforo e manganês. Assim, há uma fase de pré-tratamento do gusa, onde são removidos o enxofre, o silício e o fósforo e também reduzidos os teores de cromo, vanádio, titânio e manganês.

Agora, em posse do ferro gusa líquido previamente tratado, parte-se para a fabricação do aço de fato, esta fase é denominada refino do aço e acontece em aciarias a oxigênio ou elétricas. Na primeira, denominada conversor LD a carga é líquida e na segunda, de forno elétrico a arco a carga é predominantemente sólida e possibilita a reciclagem da sucata. As Fig. 2 e 3 representam o funcionamento básico de um conversor LD e de uma aciaria, respectivamente:



Figura 2 – Esquema do conversor LD (Silva, 2017).

Após a fase de refino na aciaria, o aço ainda passa pelos processos de metalurgia da panela e degaseificação antes de ser lingotado. A metalurgia da panela tem como função ajustar a composição e temperatura do aço, remover óxidos, fósforo e outros materiais indesejados, possibilitando a

posterior adição de elementos de liga. Já a desgaseificação remove gases residuais como oxigênio, nitrogênio e oxigênio.

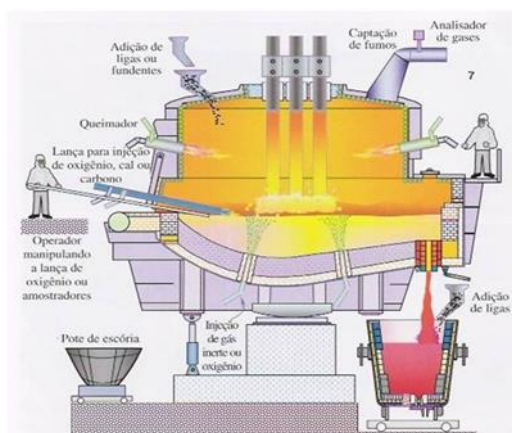


Figura 3 – Esquema básico da aciaria elétrica (Figueira, 2018).

Finalmente, o aço líquido está pronto para ser lingotado. O processo de lingotamento mais utilizado é o contínuo, no qual o aço é vazado continuamente para um molde de cobre refrigerado à água e, após solidificado, apresenta-se na forma de tarugos, perfis ou placas (Benini, 2017).

Agora, parte-se para o processo de trefilação, no qual o tarugo será submetido a tensões afim de transformá-lo em fios. Este processo de conformação plástica caracteriza-se pelo estiramento do metal através de uma matriz em forma de canal, a fieira, através de uma força de tração aplicada no lado de saída da matriz. Todo o processo ocorre à frio ou seja, abaixo da temperatura de recozimento. Essa força de tração provoca o aparecimento de uma força de compressão no contato entre matriz e material assim, o escoamento plástico é produzido. Como o processo deve ocorrer abaixo da tensão de escoamento, é preciso fazer inúmeros passes até que se obtenha o diâmetro desejado. No caso das cordas de violão, que apresentam diâmetros de 0,2 mm a 0,3 mm e são considerados arames especiais (fios capilares), deve-se atentar ao número de passes, ao sistema de lubrificação utilizado durante o processo e, se necessário, ao tratamento térmico para que sejam reduzidos os efeitos de encruamento (Benini, 2017).

Finalizado o processo de conformação do aço, parte-se para a obtenção do bronze que será utilizado no revestimento das cordas. As ligas de bronze são compostas basicamente por cobre e estanho e apresentam variados teores de níquel, zinco, alumínio ou outros metais, conforme as propriedades desejadas. Assim, como passo inicial, é necessário extrair o cobre. O cobre é extraído da calcopirita que é um mineral sulfurado com baixíssimo teor de cobre, em torno de 2%. Para que o teor de pureza seja elevado, o mineral é moído e depois passa por uma fase denominada flotação (Ribeiro, 2001).

Na moagem, o mineral é processado mecanicamente, geralmente em moinhos de bolas, afim de reduzir sua granulagem. Posteriormente, há a fase de classificação do minério: a flotação. Nesta fase, ocorre a separação dos elementos que são desejáveis à fabricação do bronze em um equipamento chamado célula de flotação. Neste equipamento, obtém-se um concentrado de cobre através de reações físico-químicas que ocorrem quando o mineral está em contato com uma suspensão aquosa. Esta suspensão apresenta reagentes específicos que permitem que os materiais desejados estejam em adsorção em bolhas de ar. Assim, após filtragem e secagem destas bolhas de ar tem-se um concentrado com 25% a 35% de cobre (Ribeiro, 2001).

Feita a flotação, parte-se para o processamento metalúrgico do cobre. Optou-se aqui pelo processo pirometalúrgico, mas salienta-se que há outros processos possíveis e também muito utilizados: o processo hidrometalúrgico e o processo SX-EW. No processo pirometalúrgico, o concentrado advindo da flotação é introduzido em um forno e, acontecidas as devidas reações, obtém-se o mate com teor de 40% a 60% de cobre, esta fase é conhecida como ustulação. Posteriormente,

faz-se o insuflamento de gás oxigênio visando separar o cobre do enxofre e do ferro. Na última etapa de purificação, o cobre será fundido em forma de placas que serão usadas como anodos no processo de eletrólise. Para tal, estas placas são alocadas na célula eletrolítica circundadas por uma solução de cobre com ácido sulfúrico e posicionadas entre finas chapas de cobre eletrolítico ou aço inoxidável, denominadas chapas de partida (Ribeiro, 2001). Por fim, adicionam-se os elementos de liga desejáveis, faz-se o lingotamento e posteriormente as sucessivas trefilações, atentando-se para os esforços envolvidos visando a obtenção do diâmetro desejado (Benini, 2017).

Finalizado o processo pirometalúrgico e a conformação plástica do bronze é possível finalizar a fabricação das cordas de violão. Conforme acima mencionado, as três primeiras cordas não recebem o revestimento de bronze. Assim, é colocado os pinos (ponteiras) em cada corda. Com a pinça aberta, coloca-se o pino e com o fechamento da mesma, a corda se prende à ponteira. Na Fig. 4, pode-se observar este processo.



Figura 4 – Processo de colocação das ponteiras (a) início; (b) corda e ponteira já ejetadas (Stagliano, 2013).

Posteriormente, enrola-se a alma com um fio de bronze. Para isso a corda é colocada em outra máquina onde cada uma reveste o revestimento. O mesmo equipamento confere se a corda foi revestida por completo e sensores controlam a velocidade e a tensão durante o processo. Este procedimento pode ser visualizado na Fig. 5. Na Fig. 6, pode-se ver o esquema do fio de bronze enrolado no fio de aço.



Figura 5 – Processo de enrolamento do fio de bronze na alma (Stagliano, 2013).

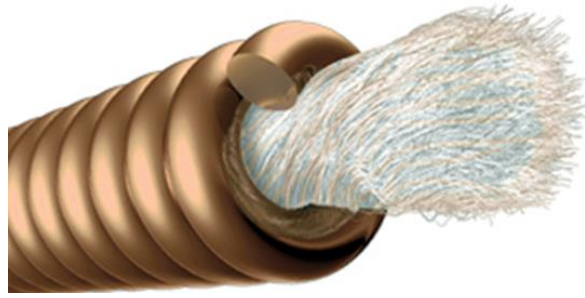


Figura 6 – Fio com enrolamento de bronze (Via Musical, 2018).

Posteriormente, a corda pode ser submetida a uma aspersão de líquido que evita corrosão e embalada com neutralização a gás. Finalmente, tem-se a corda de violão pronta para o consumidor final. Na Fig. 7, apresenta-se o fluxograma da rota de fabricação do encordoamento a aço do violão. Neste fluxograma podemos ter uma visão sistêmica da rota de fabricação da corda de violão, as diferentes cores representam os três subprocessos presentes na rota. As cores do fluxograma marrom (parte superior do fluxograma), azul (parte central do fluxograma) e verde (parte inferior do fluxograma) representam os processos metalúrgicos do aço, encordoamento e processo metalúrgico do bronze, respectivamente (Fig. 7).

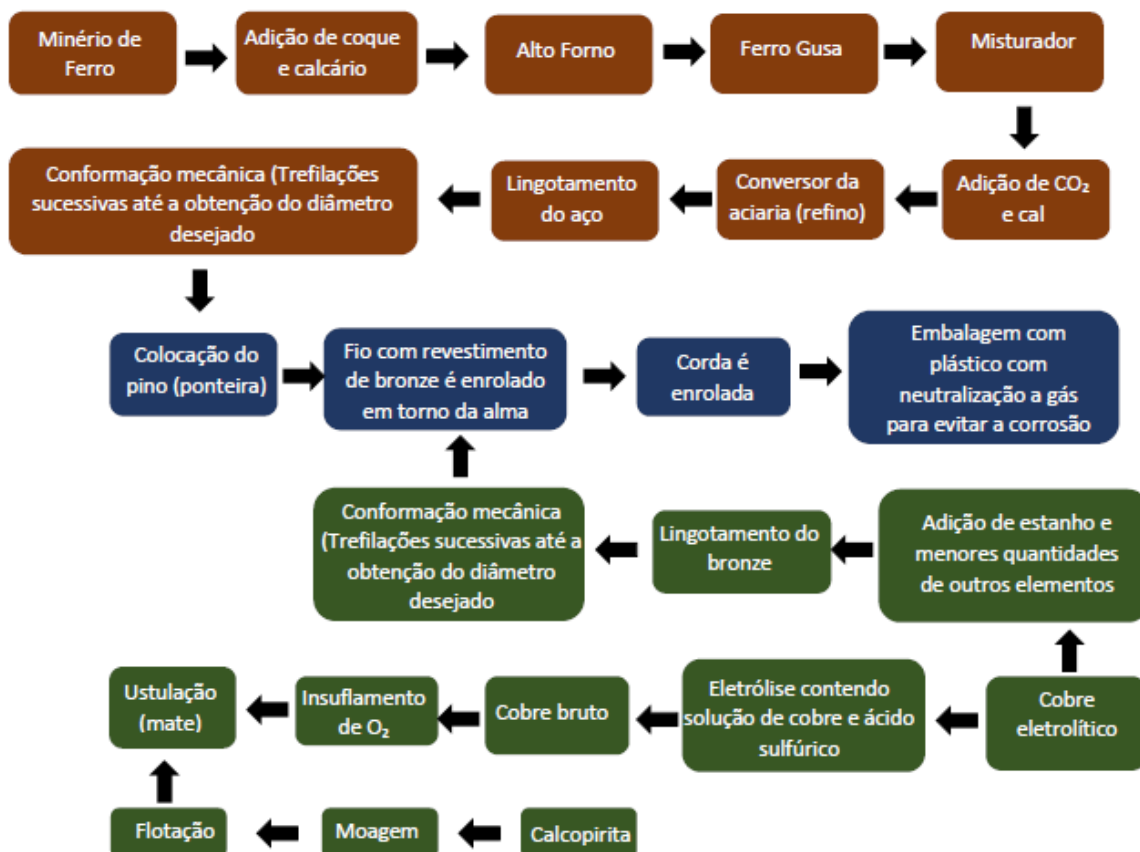


Figura 7 – Fluxograma da rota de fabricação do encordoamento do violão.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado uma possível rota de fabricação de uma corda de violão. Foram discutidos os processos envolvidos bem como os consumíveis. Com isto, conclui-se que:

- A rota de fabricação de encordoamento de violão, apresentada no presente trabalho, denota um conjunto de passos complexos que inicia-se na extração do minério de ferro e do cobre para, após os devidos processamentos, darem origem ao aço e bronze, respectivamente. Assim,

realizados os processos de conformação plástica destes metais, é possível envolver o núcleo de aço com o bronze, alocar o pino, proteger o encordoamento com material plástico e, finalmente, encaminhá-lo para a venda.

- Um conjunto de encordoamento é vendido no mercado, em média, por R\$ 30,00. Fica perceptível que, apesar de um produto comum e de baixo custo, sua fabricação não é trivial. Todo o processo envolvido demanda de maquinário complexo, alto gasto de energia e utilização de uma gama de materiais.
- Ressalta-se ainda que o fato da produção de aço e bronze ser em alta escala contribui diretamente para o preço final, pois, caso contrário, o custo do processo seria exorbitante. Certamente, ao conhecer os processos de fabricação e determinar a rota de manufatura deste produto tem-se um novo olhar quanto a todas as variáveis existentes na obtenção de um produto de qualidades mecânicas e acústicas que possibilitarão o uso do instrumento pelo consumidor final.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. “Dicionário Musical Brasileiro”. 1 ed. Villa Rica, 1989, 701 p.

BENINI, L. “Notas de Aula – Processos de Conformação Plástica”. 2017.

CASTELLI, F; MUSSATO, G.A. “Tensão, Calibre e Frequência das Cordas de Instrumentos”. Rev. Bras. Ensino Fís. v. 36, n. 1. p. 1-6, 2014.

DAREZZO, D. “Material das Cordas de Violão”. Disponível em: <<http://violaoparainiciantes.com/material-das-cordas-do-violao/#sthash.5p8Nmc6x.dpbs>> Acesso em: 21 de setembro de 2018.

FIGUEIRA, R. M. “Notas de Aula – Aciaria Elétrica”. 2018.

RIBEIRO, J. A. S. “Balanço Mineral Brasileiro 2001”. 2001.

SILVA, C. L. “Notas de Aula – UFV”. 2017.

STAGLIANO, E. “Como são Feitas as Cordas de Guitarra e Violão”. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=eumIXOafdPg&t=8s>> Acesso em: 22 de setembro de 2018.