

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA WIDIA POR DIAMANTE NO DESEMPENHO DA TREFILAÇÃO ÚMIDA

THE INFLUENCE OF REPLACEMENT OF WIDIA BY DIAMOND ON THE PERFORMANCE OF WET WIREDRAWING

Pedro Diniz Mendes (IBMEC)

<pedrodmendes@gmail.com>

Paulo Henrique Campos Prado Tavares (IBMEC – FEAMIG)

<paulo.tavares@ibmec.edu.br>

Marcelo Lemos de Medeiros (IBMEC)

<marcelo.medeiros@ibmec.edu.br>

Carlos Alberto da Silva Miranda (IBMEC)

<carlos.miranda@ibmec.edu.br>

Andréa Cristina Pereira Pardini (FEAMIG)

<andrea.pardini@feamig.br>

RESUMO

A atual competitividade entre as empresas tem gerado uma busca por novas estratégias de mercado e pela redução nos custos operacionais. O presente trabalho analisou, através do método pesquisa exploratória, o processo de trefilação em uma planta de produção de arames para soldas. O objetivo foi verificar se a substituição de todos os núcleos de widia nas feiras pelo diamante industrial geraria redução nas paradas de máquina, aumentando a produtividade e justificando os custos extras dessas feiras. A planta produtiva estudada já utilizava a feira de diamante no último passe da trefilação para que o arame tivesse maior polimento e acabamento superficial. Os resultados mostraram que houve um aumento na vida útil das feiras, reduzindo em torno de 84 % as perdas de parada de máquina por troca dos jogos de feiras. Além disso, houve uma redução de aproximadamente 66 % no custo das feiras por tonelada de arame trefilado.

Palavras-chave: Trefilação. Feira. Arames. Produtividade.

ABSTRACT

The current competition between companies has led to a search for new market strategies and the reduction in operating costs. This study analyzed, through exploratory research method, the drawing process in a wire production plant for welding. The goal was to determine whether the replacement of all cores of widia dies in the industrial diamond would generate a reduction in machine breakdown, increasing productivity and justifying the extra costs of these dies. The productive plant studied already used the diamond die in the last step of the wire drawing so that the wire had greater polishing and surface finishing. The results showed that there was an increase in the useful life of the spinnerets, shortening the machine downtime by 84% by changing the spinneret sets. In addition, there was an approximately 66% reduction in the cost of spinners per ton of drawn wire.

Keywords: Wire drawing. Spinneret. Wire. Productivity.

Correspondência/Contato

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

http://www.feamig.br/revista

Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa

wilsoncosta@feamig.br

Raquel Ferreira de Souza

raquel.ferreira@feamig.br

1 INTRODUÇÃO

Em consequência dos avanços da globalização e competitividade entre empresas, onde as mudanças são rápidas e constantes, as organizações têm adotado modernos sistemas de gestão, visando criar uma vantagem competitiva. A estruturação da vantagem competitiva fundamentada na eficiência operacional ocorre a partir de uma análise interna detalhada dos processos da organização (PORTER, 1990). Com o detalhamento dos processos industriais, é possível identificar pontos de melhoria para que a empresa possa alcançar uma eficiência operacional superior, fortalecendo a posição competitiva no mercado (HAYES; UPTON, 1998).

O setor de arames para solda vem sofrendo os efeitos da globalização do mercado. Esse fenômeno é evidenciado pela forte entrada de produtos chineses, coreanos e indianos no mercado mundial (CARDOSO JUNIOR, 2011). Assim, para garantir a sua competitividade, é essencial que sejam adotados novos métodos de redução dos custos operacionais, eliminação das ineficiências, maximização dos recursos, além da constante busca pela melhoria contínua dos processos, serviços e produtos (PORTER, 1997).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo será analisar, através de testes realizados em uma empresa do setor de arames para solda, se o custo extra das fieiras com núcleos de diamante será suplantado pela redução nas perdas de parada de máquina e o aumento de produtividade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Relação entre custo e produtividade

Slack *et al.* (2009) argumentam que quanto menor o custo de se produzir os bens e serviços de uma empresa, menor pode ser o preço a seus consumidores. O baixo custo é um objetivo procurado por todas as organizações, uma vez que podem se tornar mais lucrativas ou mais competitivas, oferecendo produtos com menor preço. Por consequência, para analisar o sucesso de uma operação, é necessário verificar sua produtividade. Para Slack *et al.* (2009), produtividade é a razão entre o que é produzido por uma operação e o que é necessário para essa produção. Martins e Laugeni (2005) expõem que a administração da produtividade corresponde ao processo formal de gestão, envolvendo tanto os níveis gerenciais como os colaboradores, com a finalidade de reduzir os custos de produção. Dessa

forma, para que haja um aumento na produtividade, é necessário produzir mais, utilizando cada vez menos recursos e em menos tempo.

2.2 Setup

Segundo Moura e Banzato (1996), *setup* é toda a tarefa necessária desde o momento em que se completou a última peça do lote anterior até o momento em que se tenha produzido a primeira peça do lote posterior. Assim, a redução do tempo de *setup* tem como foco reduzir as despesas para elevar a produtividade. Conforme alega Shingo (1996), existem dois tipos de *setup*:

- *Setup* interno: a preparação dos equipamentos pode ser executada apenas quando a máquina estiver parada e;
- *Setup* externo: a preparação dos equipamentos pode ser executada enquanto a máquina estiver em operação.

O autor ressalta que um fator essencial para reduzir o tempo de parada de máquina e o consequente aumento da produtividade é a conversão de *setup* interno em externo.

Pimenta *et al.* (2016) mostraram que métodos de otimização, como o *Simplex* e a simulação de *Monte Carlo*, permitiram a obtenção de arames de aço trefilados com maior qualidade, devido à capacidade de predição dos resultados e ajustes prévios do *setup* dos equipamentos. A necessidade de espera para os ensaios mecânicos dos lotes de produção foi reduzida, devido à menor quantidade de defeitos e refugos, diminuindo-se os tempos de parada de máquina.

2.3 Trefilação

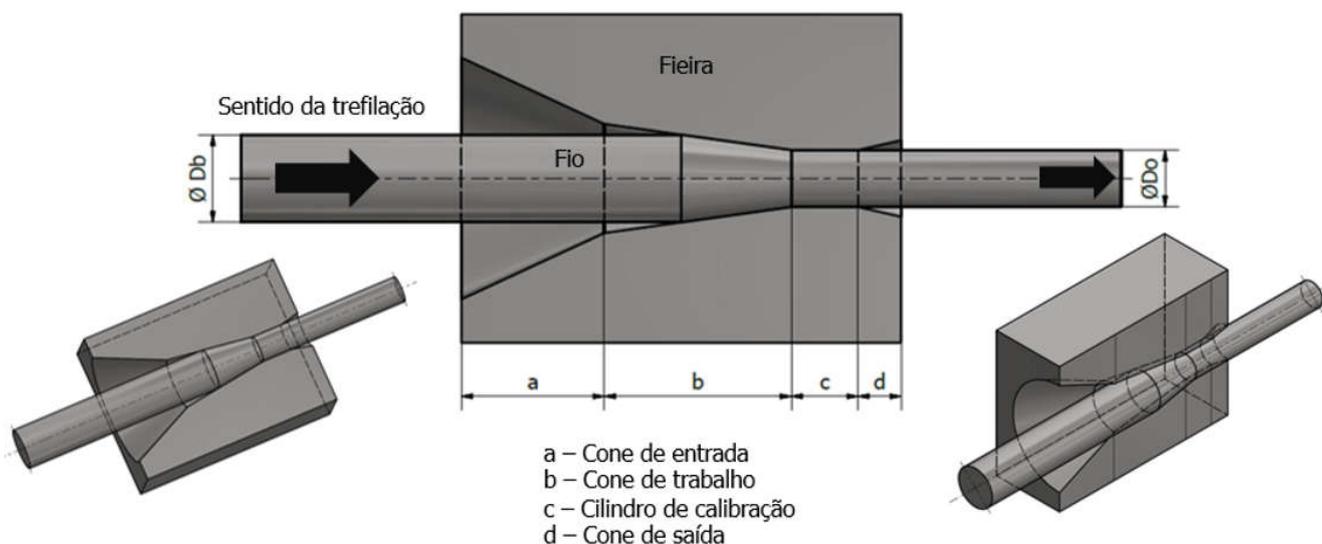
A trefilação é um dos processos mais antigos de conformação de metais. Os adornos de ouro em forma de arame trabalhado foram incorporados aos adornos pessoais dos faraós egípcios, quase 3.000 a.C. No século XIV, foi inserido na indústria o primeiro equipamento mecânico de trefilação, que era movido a água. De 1850 a 1870, devido à difusão do telégrafo e à consequente demanda por fios condutores, a trefilação sofreu um grande avanço (MACHADO, 2009).

Junker (2014) destaca que após o desenvolvimento da tecnologia que aumentou a qualidade final do produto, a indústria de trefilação de fios máquina, barras e perfis se consagrou como uma das mais importantes dentre os processos de conformação mecânica.

Button (2001) salienta que o ato de treftar consiste na tração de um material através de uma matriz de dimensão conhecida e controlada. Segundo Gerbase Filho (1976), ocorre a tração axial do material (fio máquina) através de uma ferramenta, chamada fieira, que possui um furo cônico de diâmetro final menor do que o diâmetro inicial do material. Um exemplo pode ser visto no esquema representativo da figura 1.

Dessa forma, quando o material passar pela fieira, ocorrerá a redução da seção transversal e respectivo aumento no comprimento do material.

Figura 1 – Exemplo de fieira para obtenção de fios cilíndricos



Fonte: Adaptado de Lima (2006)

2.4 Fieira

De acordo com Cetlin (1995), o material mais utilizado em fieiras para trefilação de arames de aço é o carbeto de tungstênio sinterizado em uma matriz de cobalto. Esse material também é conhecido como widia. As fieiras desse material, por sua extrema dureza e resistência ao desgaste, mesmo em altas temperaturas, viabilizaram a trefilação praticamente contínua existente nos dias atuais. Entretanto, um dos problemas desse material é a sua fragilidade sob tensões de tração. Dessa forma, as fieiras são inseridas em carcaças de aço (Figura 2), que podem suportar as tensões aplicadas durante o processo de trefilação.

Figura 2 – Interior de uma fieira de widia



Fonte: Os autores (2017)

Para arames finos utilizam-se também fieiras com núcleo de diamante industrial, que apresentam um desgaste muito pequeno, mas um custo mais elevado, em torno de nove vezes maior. A utilização deste material fica restrita, principalmente, pelas limitações de tamanho, devido ao alto custo necessário para a fabricação de fieiras maiores. Entretanto, o material pode superar o metal duro de 10 a 200 vezes na durabilidade, podendo acarretar uma melhor relação custo/benefício, apesar do alto custo de fabricação (ASM, 1996).

Machado (2009) ressalta que o desgaste após o processo de trefilação não indica o fim da vida útil da fieira. Tanto as fieiras de metal duro quanto as de diamante podem ser recalibradas e polidas novamente, para que sejam utilizadas na trefilação de fios com maiores diâmetros.

Outro aspecto importante na trefilação é a lubrificação do material. Button (2001) salienta que o objetivo principal da utilização de lubrificantes é evitar o contato entre as superfícies da fieira e do material que passará por ela, formando uma película estável sob as condições de processo, diminuindo o atrito e prevenindo o desgaste da matriz. Como a fieira é cônica, o ângulo de entrada é sempre maior do que o ângulo de trefilação para permitir que haja lubrificação, de forma a facilitar a passagem do material pela fieira. Apesar da importância técnica, a etapa de lubrificação pode implicar em danos ao meio ambiente, quando o lubrificante é a base de óleo. Qualquer processo, para ser viável, deve ser sustentável em todas as etapas, incluindo o descarte e o armazenamento adequado dos resíduos. Wang *et al.* (2018) obtiveram sucesso ao testar núcleos de fieira com depósito de filmes de diamante, trefilando em alta velocidade ligas de alumínio. Além do bom acabamento superficial, a técnica substituiu o lubrificante à base de óleo por uma emulsão ambientalmente correta a base de água.

2.5 Trefilação úmida

No processo de trefilação úmida, as fieiras e o fio ficam completamente imersos em uma solução de água e lubrificante. A máquina utilizada nesse tipo de trefilação é a cônica. Segundo Machado (2009), “os cones são formados por anéis de diâmetros diferentes dispostos em um mesmo eixo. Os anéis têm diâmetros crescentes, à medida que aumenta a redução, pois as velocidades angulares são as mesmas e as periféricas aumentam com o diâmetro do anel”. Esse tipo de máquina é comum na trefilação de arames médios e finos, geralmente com bitolas abaixo de 2 mm.

Os principais benefícios da trefilação úmida são: a refrigeração das fieiras, melhor dissipação de calor, lubrificação homogênea, melhor acabamento superficial do fio trefilado e a possibilidade de reduções em menores bitolas.

Figura 3 – Exemplo de tanque de trefilação úmida



Fonte: Os autores (2017)

3 METODOLOGIA

O presente estudo utilizou o método de pesquisa exploratória em uma empresa de produção de arames para soldas na região metropolitana de Belo Horizonte. Gil (2008) ressalta que esse tipo de pesquisa é desenvolvido para proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato. Dessa forma, consegue-se uma maior familiaridade com o problema, exploração das alternativas de solução e descoberta de novas ideias para estudos posteriores. Como característica desse método, as pesquisas foram flexíveis para permitir a análise dos diferentes aspectos inerentes ao tema. Os dados foram obtidos por meio de testes realizados nas máquinas de trefilação úmida e acompanhados por grupos de discussão.

Quanto aos meios, esse estudo pode ser classificado como uma pesquisa de campo, sendo coletados nos relatórios arquivados da empresa dados qualitativos e quantitativos acerca do desempenho histórico das linhas de produção. Para detectar gargalos e dificuldades

na etapa da trefilação também foi feito o contato direto com funcionários de diversos setores da empresa. Paralelamente, foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos, livros e revistas relacionados ao tema visando o melhor entendimento dos conceitos técnicos envolvidos e direcionando as ações de melhoria. Lakatos e Marconi (2010) afirmam que a realização concomitante da pesquisa de campo e da revisão bibliográfica é uma importante ferramenta para os trabalhos de estudo de caso.

No período estudado foram medidos e analisados os tempos de *setup* interno das máquinas, a frequência dessa operação e a capacidade produtiva das feiras tanto com núcleo de widia, quanto de diamante. Também foi realizado um comparativo entre o custo dos dois tipos de feiras.

O foco desse experimento foi na produção de arames com bitola final 1,18 mm. A tabela 1 mostra que o jogo utilizado era composto por oito feiras, sendo as sete primeiras com núcleo de widia e a última com núcleo de diamante industrial, devido à necessidade de melhor polimento e acabamento superficial do arame.

Tabela 1 – Feiras utilizadas para trefilação de arames com bitola decrescente

Fieira	Bitola (mm)
1	2,02
2	1,88
3	1,74
4	1,58
5	1,46
6	1,34
7	1,22
8	1,18 (diamante)

Fonte: Os autores (2017)

Dessa forma, para a realização dos testes foram utilizadas as mesmas bitolas acima, todas com o núcleo de diamante industrial.

Para a aferição do jogo de feiras, sempre que houve retirada de produção, foram medidas as bitolas dos arames após cada fieira, utilizando micrômetro. Assim foi possível identificar a ocorrência de abertura de bitola acima do especificado em feiras pontuais e substituí-las antes que todo o jogo fosse prejudicado.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 A empresa

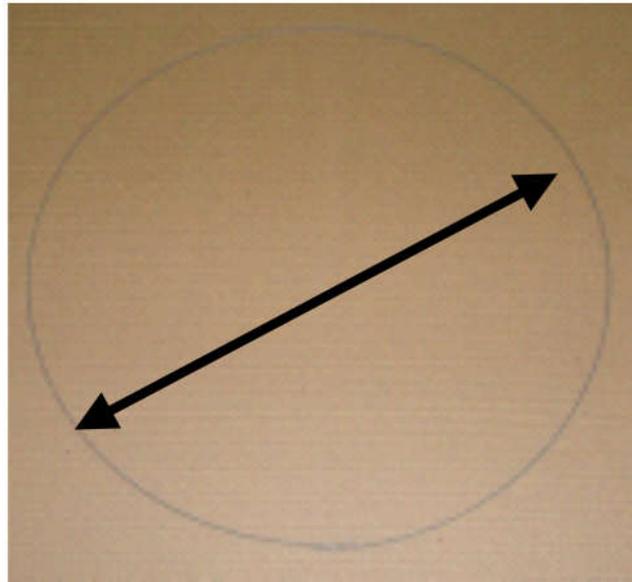
A empresa na qual a pesquisa exploratória foi conduzida é uma produtora de arames trefilados para indústria, agropecuária e construção civil. Está dividida em nove unidades, distribuídas em três estados brasileiros.

A planta produtiva desse estudo de caso está localizada em Contagem-MG e é especializada na produção de arames para solda. Dentre os setores atendidos pelos seus produtos estão: indústria automotiva, implementos rodoviários, construção pesada, gasodutos, indústria ferroviária e naval, estruturas metálicas, utilidades domésticas e aplicações gerais.

4.2 O processo

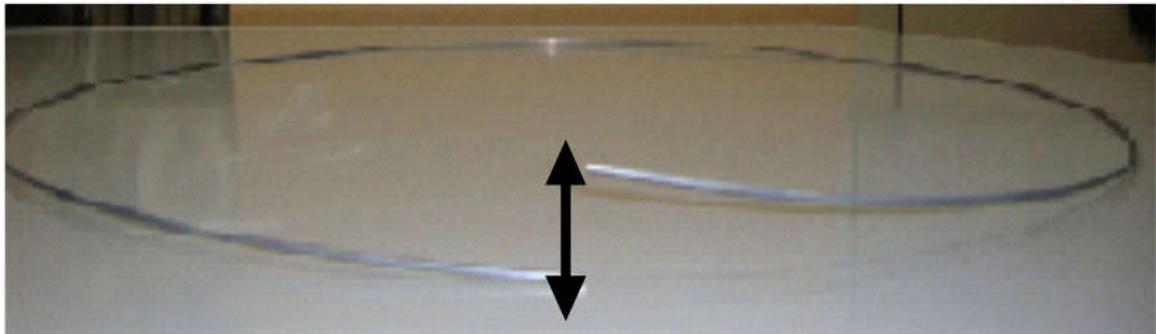
A área da fábrica analisada nesse trabalho foi a trefilaria úmida. O arame para solda produzido nesse local é o arame MIG (*Metal Inert Gas*) cobreado, que será futuramente reenrolado em carretéis ou barricas. Primeiramente, os arames são trefilados submersos em uma solução de água e sabão. Após a trefilação, esses arames passam por um tanque com ácido sulfúrico para o processo de ativação do aço, permitindo que uma camada de cobre possa aderir sobre a superfície do arame. No tanque de cobreamento, ocorre o contato do arame com a solução de sulfato de cobre e ácido sulfúrico, promovendo a deposição. Na sequência é feito o banho do *skin pass*, quando o arame passará pela última fieira e receberá o polimento necessário. Por último, esse arame cobreado passará por desempenadeiras, para que o *Cast* (medida do diâmetro que a espira de arame assume ao ser enrolada) e o *Helix* (distância entre as pontas da espira) sejam regulados de acordo com os padrões pré-estabelecidos de 600 a 1500 mm e de 0 a 25 mm, respectivamente, sendo finalmente enrolado em carretéis de 600 kg. Nas figuras 4 e 5 podem ser observados exemplos de *cast* e *helix*.

Figura 4 – Exemplo de *Cast*



Fonte: Os autores (2017)

Figura 5 – Exemplo de *Helix*



Fonte: Os autores (2017)

4.3 Motivos que impulsionaram a mudança

A quantidade de feiras utilizadas por tonelada de arame trefilado é um ponto crítico no processo produtivo da empresa em questão. Assim, o principal motivo que impulsionou a mudança foi o alto consumo de feiras na trefilação úmida. Como evidência desse fato, há um distanciamento da meta de gastos com feiras estabelecida em R\$ 9,90 por tonelada de arame trefilado e o atual gasto com o insumo em questão de R\$ 18,30 por tonelada.

Outro ponto é a frequência em que o *setup* das máquinas ocorre. Na empresa estudada, cada operador controla quatro máquinas de trefilação úmida, o que ocasiona problemas de interferência, com máquinas paradas esperando o operador enquanto ele prepara outra máquina.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O jogo de feiras de diamante, em substituição ao de widia, foi inserido na máquina no dia 09/05/2017. Como mostra o quadro 1, ocorreram cinco trocas de feiras, que somadas às oito unidades iniciais totalizam treze feiras utilizadas.

Quadro 1 – Trocas de feiras e motivos

Quantidades		Controle de feiras		
Inicial	8	Data	Bitola	Motivo
1º	1	15/5/17	1,22	Núcleo estourado
2º	1	6/6/17	1,18	Aspecto do material
3º	1	7/6/17	2,02	Abertura de bitola elevada
4º	1	21/6/17	1,22	Abertura de bitola elevada
5º	1	5/7/17	1,22	Abertura de bitola elevada
TOTAL	13			

Fonte: Os autores (2017)

No total, foram produzidas 109,9 toneladas de arame cobreado com as feiras de diamante. Na tabela 2 fica evidente o atingimento da meta de gastos com feiras de R\$ 9,90 por tonelada de arame trefilado.

É importante ressaltar que o jogo de feiras com núcleo de widia possui uma frequência média de substituição a cada 3,7 toneladas de arame trefilado. Já a feira de diamante, utilizada no *skin pass*, é substituída em média a cada 7,4 toneladas de arame.

Tabela 2 – Comparativo entre os custos da trefilação com feiras de widia e diamante

Material	Nº feiras widia	Nº feiras diamante	Custo feira widia (R\$/un)	Custo feira diamante (R\$/un)	Custo total (R\$)	Custo por ton de arame (R\$/ton)
Widia	7	0,5	8,00	72,00	92,00	24,86
Diamante	---	13	---	72,00	936,00	8,52

Fonte: Os autores (2017)

Na tabela 3 está explícito o comparativo entre os tempos de parada de máquina para troca dos jogos de feiras de widia e diamante. O tempo de 1099 minutos gastos com a troca do jogo de widia foram necessários para trefilar as mesmas 109,9 toneladas de arame do jogo

de diamante, considerando que uma troca de jogo de feiras de widia gasta, em média, 37 minutos.

Tabela 3 – Comparativo dos tempos de parada de máquina para troca dos jogos de feiras

Material	Tempos de <i>setup</i> (min)
Widia	1099
Diamante	172

Os autores (2017)

As principais vantagens da mudança foram:

- Redução em torno de 84 % nas perdas de parada de máquina por troca dos jogos de feiras;
- Economia próxima de 66 % com custo de feiras por tonelada de arame trefilado, e o consequente atingimento da meta.

De acordo com o que foi observado durante os testes, constatou-se que no jogo de feiras com núcleo de diamante ocorreu o acúmulo de resíduos na saída das feiras, antes da abertura de bitola das mesmas. Esse fato pode gerar alterações no aspecto da camada superficial do arame, como escurecimento, falhas no cobreamento, deslocamento da camada de cobre, entre outros. Dessa forma, é necessário que o acompanhamento do aspecto superficial do arame seja atrelado à possibilidade de retirada das feiras para limpeza em lavadoras ultrassônicas, com as mesmas imersas em uma solução de água morna e sabão.

Durante o teste, as feiras foram retiradas três vezes e enviadas para a polissagem para serem lavadas (Figura 6). Com isso, é importante que se mantenha o estoque de feiras sempre atualizado, para que se tenha feiras disponíveis para serem inseridas na máquina em substituição àquelas que foram retiradas para a limpeza.

Figura 6 – Lavadora ultrassônica para limpeza das fieiras



Fonte: Os autores (2017)

Outro ponto é o treinamento dos operadores para que eles compreendam a importância de medir as bitolas das fieiras e, quando necessário, trocarem somente a fieira que estiver com bitola acima da tolerância de 2 pontos. Dessa forma, é possível que a vida útil do jogo de fieiras seja estendida ao máximo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu o seu objetivo de mostrar como o custo extra das fieiras de diamante foi suplantado pela redução nas perdas de parada de máquina e pelo aumento de produtividade. O estudo evidenciou também que como a vida útil das fieiras com núcleo de diamante industrial é bem maior do que as fieiras de widia, bem como que ocorre um acúmulo de resíduos na saída das fieiras. Desse modo, é necessário que essas fieiras sejam retiradas para limpeza, para que, em seguida, possam retornar ao tanque de trefilação. Foi constatada a necessidade de manter o estoque de fieiras de diamante sempre atualizado, para que ocorra a substituição das mesmas quando o jogo for retirado para limpeza.

A metodologia aplicada nesse estudo pode ser replicada para outra máquina ou até mesmo expandida para outras bitolas. A sua aplicação permite uma visualização do comportamento das fieiras com núcleo de diamante industrial na trefilação úmida de arames e a consequente necessidade de adaptações antes da efetiva implementação desse insumo na produção.

REFERÊNCIAS

- ASM. Wire, Rod, and Tube Drawing. **ASM Handbook: Forming and Forging**. Volume 14, 4ª ed., 1996.
- BUTTON, S. T. **Trefilação: Programa de Educação Continuada**. São Paulo: ABM, 2001.
- CARDOSO JUNIOR, Ronaldo. Produtividade no cliente. **Revista Solução**. Contagem, 15ª ed., 2011. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/solucao_magazine/upload/revista_solucao_15.pdf>. Acesso em: 02/10/2017.
- CETLIN, Paulo R. **Trefilação Básica**. Departamento de Engenharia Metalúrgica, UFMG. Belo Horizonte, 1995.
- GERBASE FILHO, José. **Método de medição de força de trefilação de arames**: avaliação da variação do coeficiente de atrito em trefilação de arames de aço. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1976.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HAYES, Robert; UPTON, David. Operations based strategy. **California Management Review**. Oakland: v. 40, n. 4, p. 8-25, 1998.
- JUNKER, Friedhelm. Steel Wire, Bar, and Profile Drawing Lubrication. **Encyclopedia of Lubricants and Lubrication**. Weinheim: Springer, v. 1, p. 1978-1988, 2014.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2010. ISBN: 8522457581.
- LIMA, Vinícius Torres. **Trefilação**. FESURV – Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica. Rio Verde, 2006.
- MACHADO, Marcelo Lucas Pereira. **Conformação dos Metais**: fundamentos e aplicação. IFES – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Vitória, 2009.
- MARTINS, Petrônio G; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MOURA, Reinaldo A.; BANZATO, Eduardo. **Redução do Tempo de Setup**: troca rápida de ferramentas e ajustes de máquinas. São Paulo: Editora IMAM, 1996.
- PIMENTA, C. D.; SILVA, M. B.; COSTA, A. F. B., SALOMON, V. A. P. Otimização e escolha de modelos probabilísticos no processo de tratamento térmico em arames de aço temperados e revenidos. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 8, n. 1, p.640-652, Jul./Dez. 2016. ISSN: 1983-9952. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18407/issn.1983-9952.2016.v8.n1.p640-652>> Acesso em: 21/10/2018.
- PORTER, Michael E. Os caminhos da lucratividade - como implementar uma verdadeira vantagem competitiva. **Revista Management - Informação e Conhecimento para Gestão**

Empresarial. São Paulo: Editora HSM, ano 1, número 1, p. 88-94, março/abril de 1997. Disponível em: <http://www.catho.com.br/curso/elearning/biblioteca/adm/porter_vantagem_competitiva.pdf>. Acesso em: 12/09/2017.

PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva:** Criando e sustentando um desempenho superior. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

SHINGO, Shingeo. **Sistemas de Produção com Estoque Zero:** o sistema shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman. 1996.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WANG, Xinchang; WANG, Chengchuan; SHEN, Xiaotian; SUN, Fanghong. High-Speed Drawing of Al Alloy Wire by Diamond-Coated Drawing Die Under Environmentally Friendly Water-Based Emulsion Lubrication. **Manuf. Sci. Eng**, 140(12), 05 out. 2018. doi: 10.1115/1.4041477.