

SEPARAÇÃO DE MATERIAIS METÁLICOS PELO MÉTODO DE FAGULHA: DIAGNÓSTICO DE MISTURAS NO ESTOQUE DE EMPRESAS SIDERÚRGICAS *

Gustavo Henrique Sousa¹
Igor Cuzzuol dos Santos²
Athos Fernandes Araujo³
Jorgimara de Oliveira Braga⁴
Guilherme Vitor de Araújo⁵
Marcelo Alves Fonseca⁶

Resumo

O objetivo deste estudo é a utilização de processos mais ágeis para avaliação e diagnóstico de mistura de materiais metálicos em empresas siderúrgicas, trazendo eficiência e maior controle na gestão de estoques. Para atingir os objetivos, foram realizados testes de fagulha em quatro tipos de aços, ferro fundido e latão, onde foram analisadas suas principais características de fagulha, visando a otimização de separação desses materiais metálicos. A metodologia mostrou-se uma ferramenta importante, pois, ao ser aplicada nos estudos propostos, gerou eficiência, rapidez e confiabilidade para a separação dos materiais. Dessa forma, aumentou-se o conhecimento e a confiabilidade do método de fagulha para diagnosticar e separar misturas de materiais metálicos em estoques de empresas siderúrgicas.

Palavras-chave: Teste de fagulha; Mistura de materiais; Estoque de aço.

SEPARATION OF METAL MATERIALS BY THE SPARK METHOD: DIAGNOSIS OF MIXTURES IN THE STOCK OF STEEL COMPANIES

Abstract

The main goal of this study is the use of processes for a quick evaluation and diagnosis of metallic materials mixtures in steel companies, bring an efficient and better control of the company inventory. In order to reach the study goals, spark tests were carried out on four types of steel, cast iron and brass, where their main spark characteristics were analyzed, aiming the optimization in the separation of these metallic materials. The methodology is proved to be an important tool because the results of materials separation presented to be efficiently, speedily and reliably. In this way, there is a better understanding and reliability of the spark processes to be use in the diagnose of separate mixtures of metallic materials in steel companies' inventories.

Keywords: Spark method; Mixture of materials; Steel stock.

¹ Engenharia Metalúrgica, Mestrando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, Doutorando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Engenharia Metalúrgica, Mestrando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Engenharia Química, Doutoranda, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁵ Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

⁶ Engenharia Metalúrgica, Msc. Professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica da UEMG, João Monlevade, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de processos alternativos para a resolução de problemas de controle e gestão de estoques. O gerenciamento do estoque é um fundamento considerado básico nas empresas, mas ainda apresenta falhas ou oportunidades de melhoria. Empresas metalúrgicas incumbidas pela fabricação e distribuição de aços, têm buscado processos alternativos ao enfrentarem problemas quanto a mistura de materiais, seja no estoque de cilindros de laminação, matérias-primas ou de produtos acabados. De acordo com [1], as indústrias siderúrgicas estão realizando investimentos em tecnologias de inspeção para a qualificação de seus colaboradores na verificação dos produtos acabados, tendo o objetivo de reduzir ou eliminar quaisquer incidências relacionadas a problemas causados pela mistura de diferentes tipos de aços ou outros materiais metálicos no pátio de acabados.

A metodologia do teste de fagulha para a identificação rápida e eficaz na etapa final dos produtos é uma sistemática que foi abordada neste trabalho, uma vez que essa exige menos recursos financeiros e de equipamento, além de otimizar o tempo para lograr o diagnóstico do material em questão [2]. Essa metodologia é uma alternativa aos usuais ensaios mecânicos e químicos utilizados para identificar essas misturas, pois esses são destrutivos, requerem equipamentos caros e demandam muito mais tempo para obter o diagnóstico [3].

Portanto, a técnica empregada mostra-se como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de alternativas de separação de materiais metálicos em indústrias diversas. Para uma maior confiabilidade do método, a separação dos materiais metálicos pela técnica da fagulha foi comparada com análises microestruturais e dureza das amostras. Os resultados do estudo indicam uma grande eficiência da técnica, visto que foram obtidos 100% de acerto de separação. O estudo proposto conclui que a técnica de fagulha produz eficiência, rapidez e confiabilidade, aumentando o conhecimento do processo de otimização para separação de materiais metálicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram analisados 6 materiais metálicos com composições químicas diferentes. Os materiais selecionados foram SAE 1020, 1045, 1080, aço inox, ferro fundido e latão, como mostra a Tabela 1, que apresenta a composição química das amostras utilizadas no trabalho. Os testes foram realizados utilizando o equipamento Moto Esmeril 5" modelo ME-5. Nesse teste, cada amostra foi fagulhada em um tempo médio de 5 minutos, no qual foram analisadas: as quantidades de estalos, que é comumente chamado de "estrelinhas"; tamanho do feixe de luz; quantidade de fagulha e cor. Os resultados obtidos pela técnica da fagulha, foram confirmados por análise microestrutural e teste de dureza. As amostras foram lixadas e polidas para obtenção de uma superfície espelhada. Para as análises microestruturais, foi utilizado um microscópio ótico (M.O.) da marca LEICA, equipado com uma câmera digital com resolução de 640 x 480 pixels e software analisador de imagens Leica MW. Para os testes de dureza, foi utilizado um Durômetro de Bancada Digimes 400.007, com carga de 500 gf e tempo de penetração de 15 segundos.

Tabela 1 - Composição química dos materiais utilizados

Materiais	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Zn
SAE 1020	0,20	0,23	0,38	0,022	0,007	0,06	0,06	0,01		
SAE 1045	0,47	0,24	0,63	0,013	0,023	0,13	0,06	0,02		
SAE 1080	0,805	0,21	0,515	0,008	0,008	0,0168	0,0123	0,0031		
Aço Inox	0,01	0,5	1	0,04	0,03	17,5	1	1,75		
Ferro Fundido	3,8	2,4	0,2	0,07	0,02					
Latão									68	Restante

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização das análises do comportamento das fagulhas foi necessário a observação de suas principais características, que são a quantidade de fagulhas geradas, o formato da trajetória descrita pelas fagulhas e a cor das fagulhas. De acordo com [1], um feixe de fagulhas pode ser dividido em três zonas, que podem ser descritas segundo suas características:

1ª Zona: É a mais próxima do rebolo. Os aspectos mais importantes a observar nessa zona são: a coloração dos raios; intensidade luminosa e quantidade de fagulha.

2ª Zona: Onde inicia-se a observação de feixes de fagulhas, embora seja uma zona de transição e sem limite preestabelecido. É onde começa o aparecimento das bifurcações e explosões de carbono (“estrelinhas”). Observando-se a quantidade e tamanho das explosões, tem-se uma ideia do teor de carbono.

3ª Zona: é a mais afastada do ponto gerador e onde apareceu o maior número de “estrelinhas”.

As imagens dos ensaios obtidas complementam os trabalhos de [2] e [3], que também investigaram o comportamento das fagulhas em alguns aços. Os autores desse trabalho, analisaram o formato das fagulhas na medida com que o teor de carbono se eleva. O SAE 1020, ao ser esmerilhado, apresentou longos feixes de fagulhas de cor alaranjada, onde poucas “estrelinhas” foram observadas no final das fagulhas, como é indicado por setas pretas na Figura 1a e esquematizado na Figura 1b. Isso, de acordo com [3], é devido a quantidade de carbono presente no material ensaiado, que para o SAE 1020 é 0,20% de carbono (C). Segundo Sousa [3], dentre os elementos presentes nos aços, o carbono é o que mais influencia a formação e aspecto das fagulhas, cuja frequência de explosões distintivas aumenta com o teor de carbono. E como o SAE têm apenas 0,20% de carbono, poucas “estrelinhas” apareceram.

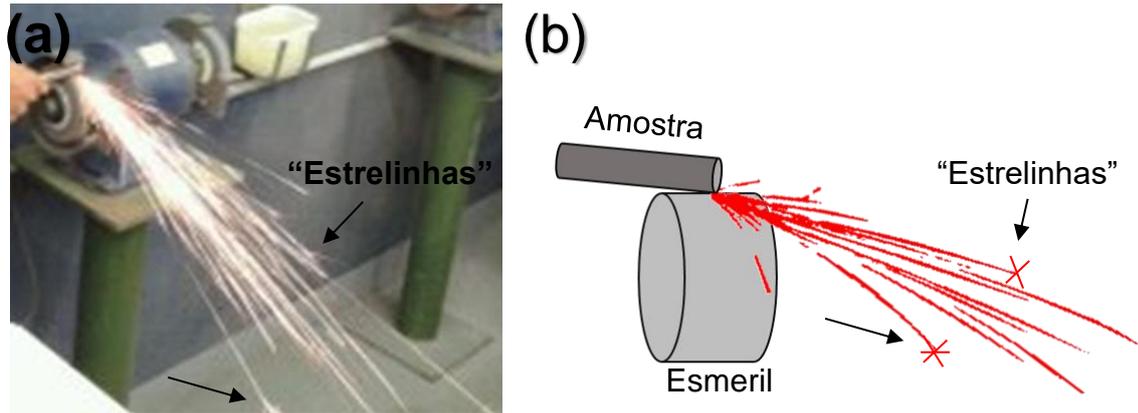


Figura 1. (a) Aspecto da fagulha na amostra do aço SAE 1020 e, em (b) representação esquemática da fagulha obtida.

O SAE 1045, ao ser esmerilhado, também apresentou longos feixes de fagulhas de cor alaranjada, onde o comportamento diferente foi no aparecimento mais significativo das “estrelinhas ao longo de cada filete de fagulha, como exibido na Figura 2a e esquematizado na Figura 2b. Além disso, essas “estrelinhas” começaram a aparecer mais próximas ao rebolo do esmeril, onde o material era desbastado.

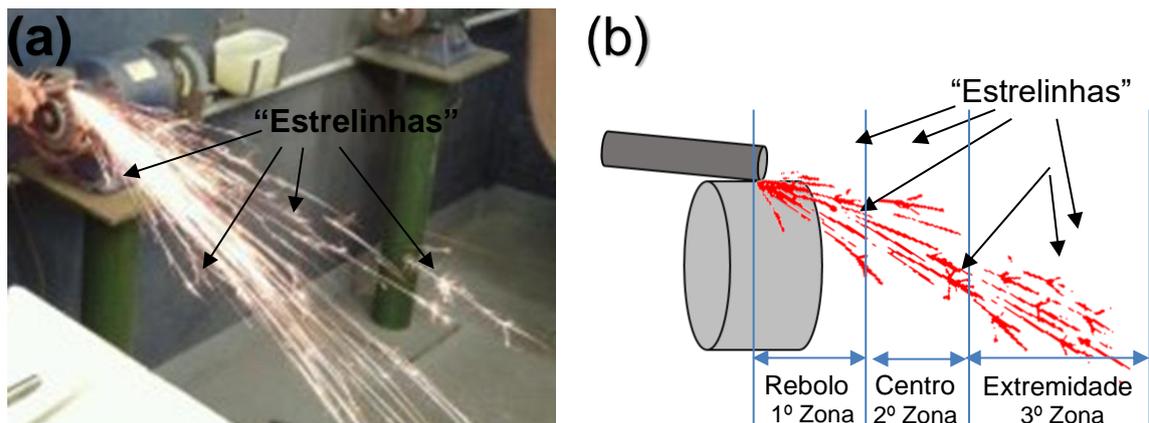


Figura 2. (a) Aspecto da fagulha na amostra de aço SAE 1045 e, em (b) representação esquemática da fagulha obtida.

A Figura 3a apresenta o comportamento do SAE 1080 ao ser esmerilhado e a Figura 3b, sua respectiva representação esquemática. Nesse material, os filetes alaranjados de fagulhas ficaram mais curtos em relação ao SAE 1020 e 1045, como também foi possível observar uma maior quantidade de “estrelinhas” em cada filete, que foram aparecendo ainda mais próximas ao rebolo. Portanto, as características foram mudando em relação ao aumento da porcentagem de carbono na composição de cada SAE.

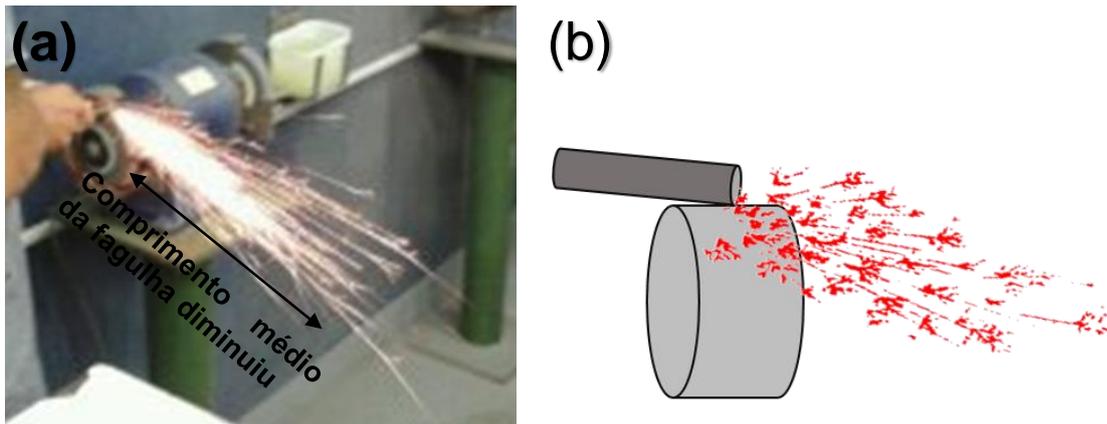


Figura 3. (a) Aspecto da fagulha na amostra de aço SAE 1080 e em (b) representação esquemática da fagulha obtida.

Para o aço inox notou-se um comportamento bem diferente ao ser esmerilhado durante o ensaio, onde apenas algumas fagulhas apareciam aleatoriamente, com praticamente nenhuma “estrelinha”, como mostram as Figuras 4a e b, evidenciado que a quantidade de carbono neste material é muito pequena. A partir dessa característica da fagulha, o Aço Inox pode ser diferenciado facilmente dos outros materiais.

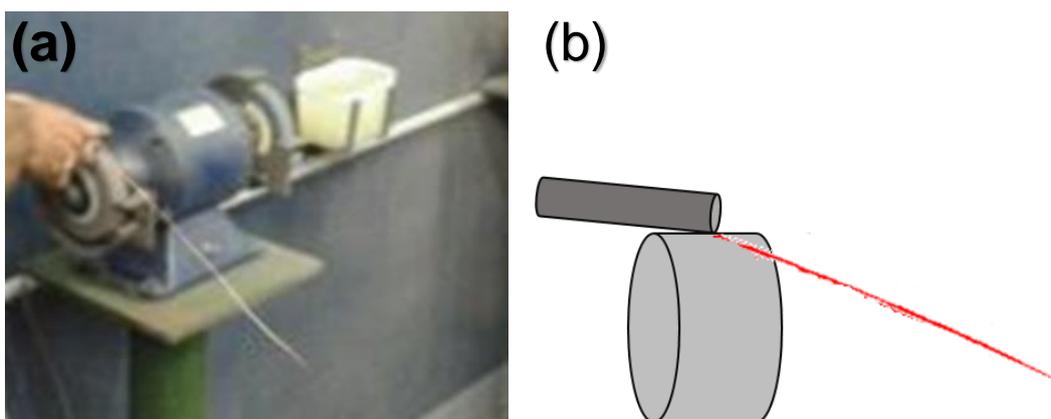


Figura 4. (a) Aspecto da fagulha do Aço Inox e em (b) sua respectiva representação esquemática.

Analisando as fagulhas do Ferro Fundido esmerilhado, notamos fagulhas mais grosseiras e irregulares, apresentando uma cor mais avermelhada e com inúmeras “estrelinhas” ao longo dos filetes de fagulha, mas em maiores concentrações perto ao rebolo. Isso indica um maior teor de carbono desse material. As Figuras 5a e b mostram esse aspecto diferente apresentado pelas fagulhas de Ferro Fundido, que é um fator de diferenciação entre os outros materiais.

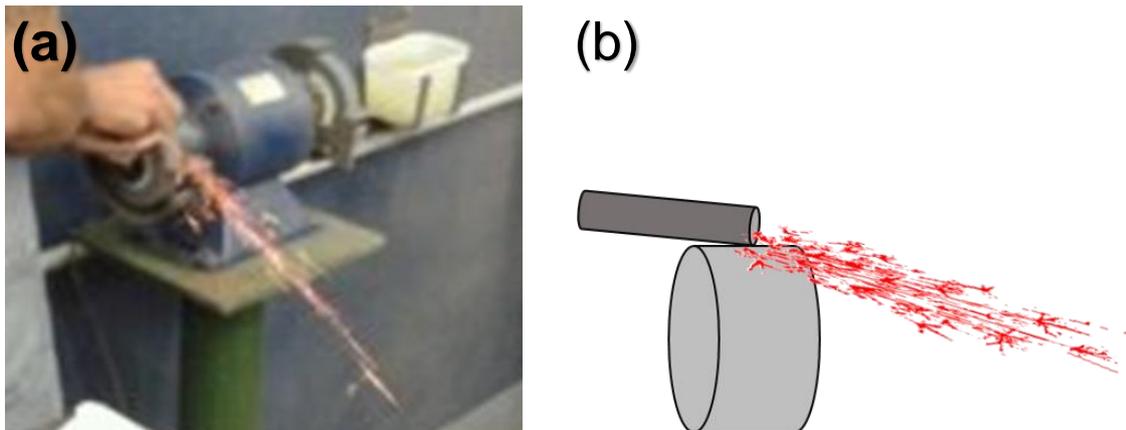


Figura 5. (a) Aspecto da fagulha do ferro fundido e em (b) representação esquemática da fagulha obtida.

Devido a composição do latão ser constituída principalmente de Zinco e Cobre, sem a presença de carbono, foi observado que durante o atrito desta amostra no processo de esmerilhamento não houve nenhuma fagulha, como mostra a Figura 6. Fato crucial que pode ser usado em caso de suspeita de mistura de perfis de latão em meio ao estoque de perfis aços, por exemplo.



Figura 6. Ausência de fagulha no esmerilhamento da amostra de latão.

De acordo com a análise dos resultados do teste de fagulha realizados, notamos o efeito do carbono como o fator que modifica as quantidades de “estrelinhas”, tamanho do feixe de luz e cor, que podem ser usadas para diferenciar os materiais. Em suma, uma maior quantidade de carbono aumenta o número de “estrelinhas” e diminui o comprimento total da fagulha. As amostras dos aços SAE 1020, 1045 e 1080 se diferenciam quanto ao tamanho da fagulha e número de “estrelinhas” que aparecem durante o atrito. Conclui-se que uma separação de mistura de perfis de 1020 com 1080, com base nos resultados, seria de mais fácil detecção. Aços com teores de carbono mais próximos podem ser difíceis de separar, como poderia ocorrer em uma mistura acidental de perfis de aços 1045 com 1080. Neste caso, o comportamento das fagulhas foi semelhante, mas, ainda assim, possíveis de serem separadas. Neste caso, seria necessário um maior treinamento dos profissionais que utilizarão a técnica.

Os resultados obtidos pelos testes de fagulhas foram confirmados por análises microestruturais e Dureza Brinell (HB). Os resultados das microestruturas obtidas por microscopia ótica são apresentados na Figura 7 e os resultados de Dureza

Brinell na Figura 8. Através das microestruturas foi possível diagnosticar a característica de cada aço no qual foi observado, entre os aços SAE, a quantidade de perlita. Na Figura 7a é possível visualizar grãos na maioria ferríticos e alguns poucos grãos perlíticos. Na Figura 7b, nota-se uma predominância de grãos perlíticos, devido a quantidade de carbono, com poucos grãos ferríticos e a Figura 7c apresenta uma microestrutura totalmente perlítica devido a sua quantidade de carbono, cerca de 0,8%. Portanto, analisando a quantidade de perlita em relação a ferrita, é possível fazer a separação desses aços como sendo: Figura 7 (a) SAE 1020; (b) SAE 1045 e (c) SAE 1080. Como descrito na Tabela 1, o aço inox quase não tem carbono e é um material que apresenta uma microestrutura ferrítica, como mostrado na Figura 7d. O ferro fundido também tem uma microestrutura bem característica, onde o carbono se apresenta na forma de grafita [5], como mostrado na Figura 7e. Portanto, dentre esses materiais, o ferro fundido seria facilmente identificado pelas análises metalográficas. O latão, por não ter carbono, também apresenta uma estrutura diferente dos demais materiais estudados. Sua microestrutura pode ser diferenciada pela presença de glóbulos. Como o chumbo não se combina com o cobre, nem com o zinco, nem com qualquer elemento de liga secundário, ele se apresenta nessas ligas sobre a forma de partículas (glóbulos) que se distribuem aleatoriamente na microestrutura do latão (Figura 7f) [6]. Em adicional, também foi feita a avaliação de dureza de cada amostra. Comparando os valores médio de dureza obtidos, Figura 8, com as tabelas de durezas desses materiais, aço SAE 1020, 1045 e 1080 [7]; aço Inox [8]; Ferro Fundido [9] e Latão [10], foi possível identificar cada um.

O tempo estimado para identificar essas amostras por fagulhas foi de 35 minutos, já por microscopia foi exigido quase 8 horas, onde os processos envolveram o corte das amostras no pátio, preparação de cada uma com lixamento, polimento, ataques e identificação no microscópio. Para a análise da dureza desses materiais e identificação, o processo envolveu cerca de 2 horas, contando com o corte das amostras e preparação. Além disso, para esses testes, foram exigidas máquinas de corte, lixas de várias granulometrias, panos de polimento, 3 tipos de pastas de diamante, máquinas de polimento, microscópios, durômetro e profissionais qualificados em metalografia. O que torna essas análises onerosas e que podem ser inviáveis para algumas empresas, visto que estas análises deveriam ser feitas em todo o estoque com suspeita de mistura.

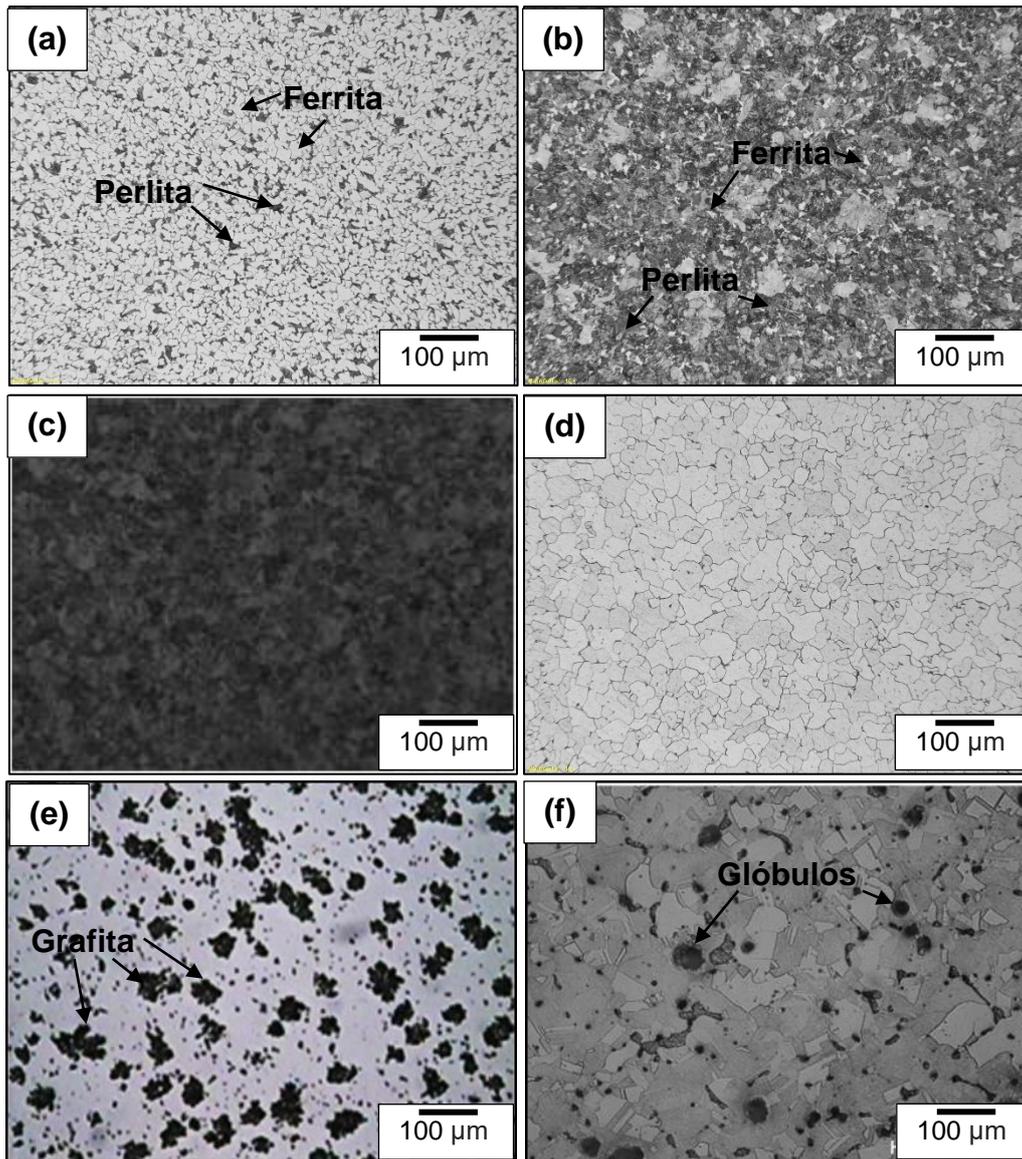


Figura 7. Detalhes metalográficos do (a) SAE 1020, (b) SAE 1045, (c) SAE 1080, (d) Aço Inox, (e) Ferro Fundido e (f) Latão. Seção transversal – Aumento 100x.

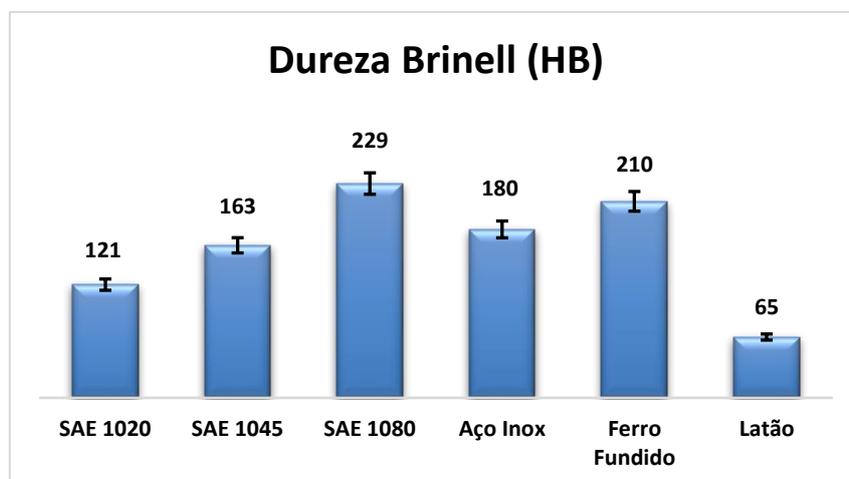


Figura 8. Dureza dos materiais estudados.

Pode-se então concluir que a separação dos materiais metálicos realizados pelos ensaios de fagulha, são confiáveis. A classificação dos materiais por meio dos testes de fagulha foi confirmada pelos resultados de dureza e metalografia. O método se mostrou sólido na etapa de verificação e por esta razão ele é aceito em diversas empresas, como mostra os gráficos sequenciais das Figura 9 e 10. Esses dois gráficos foram plotados a partir de uma coleta de dados da frequência de utilização do teste de fagulha feito em duas empresas, uma multinacional e uma de médio porte, utilizando dados desde 2012. Fica evidenciado em ambas empresas a importância do método de fagulha, com utilização deste teste em praticamente todos os dias de produção. Os testes pilotos deste trabalho foram feitos em um esmeril, porém, em escala industrial, os testes podem ser feitos por uma retífica móvel. Assim sendo, o operador pode ir até as barras e tarugos e fazer os testes ali mesmo. O teste de fagulha dura em média 5 minutos e não é destrutivo. Em uma suspeita de mistura no pátio de produtos acabados, a melhor e mais ágil opção, passa a ser a fagulha. Caso contrário, seria necessário cortar amostras de todo estoque em suspeita de mistura para fazer análises metalográficas e ensaios mecânicos para identificar a mistura. Isso exige estrutura de laboratório, equipamentos mais caros, profissionais especializados, tempo e dinheiro. O que talvez não seja acessível para algumas empresas de pequeno e médio porte. Além disso, o inspetor treinado em fagulhamento poderá ser útil em outras áreas onde se faça necessário a separação e/ou identificação rápida de um aço pelo método qualitativo, como na expedição e ou recebimento de materiais, classificação de sucata, entre outros.

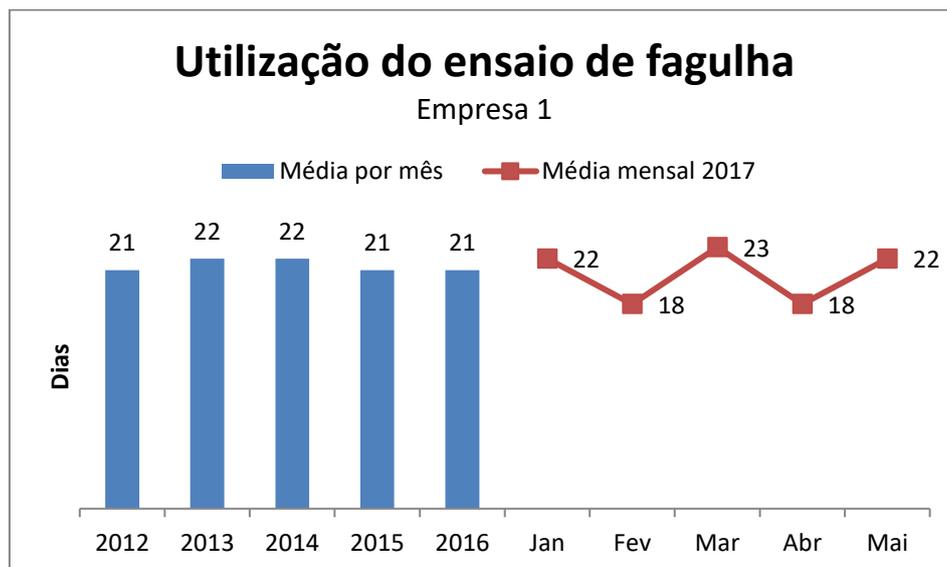


Figura 9. Gráfico sequencial da utilização do ensaio de fagulha em empresa de médio porte.

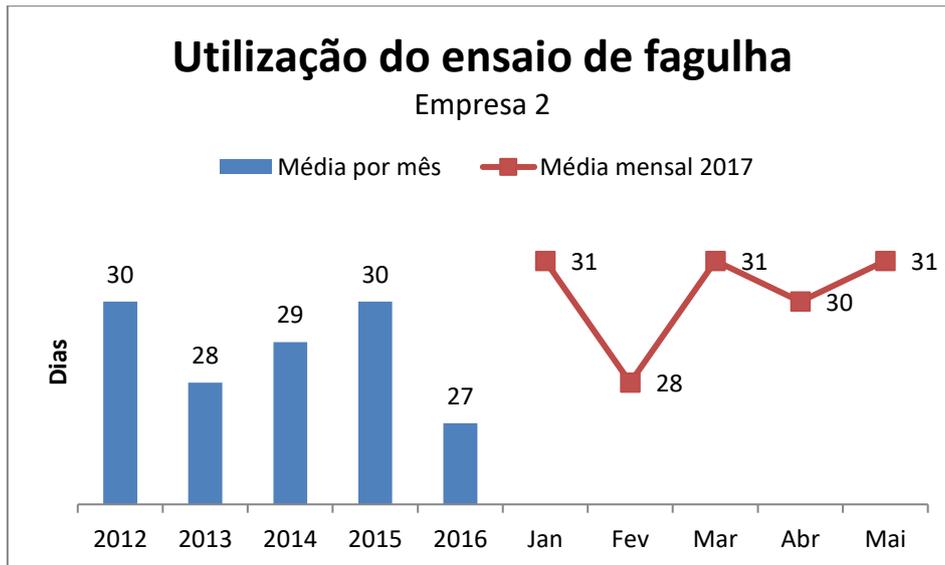


Figura 10. Gráfico sequencial da utilização do ensaio de fagulha em empresa de grande porte.

Assim como todos os testes, há vantagens e desvantagens na utilização dos testes de fagulha. As principais vantagens são: a rapidez na execução do teste, sendo possível inspecionar grande volume de material, gerando uma alta produtividade; equipamentos simples, tornando o ensaio claro e econômico e; desnecessária preparação de corpo de prova. As principais desvantagens são: probabilidade de erro em análise devido a análise humana (semelhança entre as fagulhas de determinadas composições de aço pode ser de difícil identificação) e; ambientes com excesso de claridade podem causar dificuldade na análise visual do teste.

4 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados foi possível chegar as seguintes conclusões:

1. O teste de fagulha permite fazer verificações sem ensaios em laboratórios. As formas das fagulhas emitidas do esmeril forneceram importantes informações sobre o experimento, e às vezes, podem ser os únicos economicamente viáveis em certos setores da indústria, por serem expedidos e realizáveis sem aparelhamento especial.
2. O objetivo do trabalho, processo para otimizar o diagnóstico do material em estoque com confiabilidade de técnicas para detecção de mistura de materiais, foi plenamente alcançado através da utilização da fagulha.
3. São análises qualitativas importantes, pois as empresas têm aplicações específicas para seus materiais e uma utilização incorreta de diferentes materiais pode ocasionar prejuízos diversos.

REFERÊNCIAS

- 1 MENDES, Gustavo Morey. Separação de diferentes composições químicas de aço pelo método de correntes parasitas: otimização dos parâmetros de ajuste. 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- 2 SALIS, TuribioTanus. Aplicações de visão computacional na indústria siderúrgica: problemas, soluções e estudos de caso. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 3 SOUSA, Gustavo Henrique; ARAUJO, Guilherme Vitor. Processos para otimizar o diagnóstico do material em estoque. 2017. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Metalúrgica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade.
- 4 Espaço capacitar GERDAU – Apostila de Treinamento FAG-000-Capacitação em Ensaio Não Destrutivo Fagulha. Charqueadas, 2006.
- 5 CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos. Abm, 1977.
- 6 INFOMET. Metais & Ligas, Latão, Informações Técnicas. Biblioteca Infomet. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=63>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.
- 7 ARCELORMITTAL AÇOS LONGOS. Guia do Aço. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.
- 8 VILLARES METALS. Catálogo de inoxidáveis. Disponível em: <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aco_inox.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2019.
- 9 SPECTRU. Durezas HB Ferro Fundido. Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/Nova%20pasta2/cinz.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.
- 10 SHOCKMETAIS. Propriedades Mecânicas do Latão. Disponível em: <<http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/latao/pmec>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.