

### **Introdução**

Mesmo quando os métodos de fabricação eram bastante rudimentares os artesãos da Antigüidade, na Ásia e, mais tarde, na Europa medieval, conseguiam fabricar o aço. O aço daquela época chamava-se “aço de cementação”. Era uma liga de ferro e carbono obtida aquecendo-se o ferro em contato com um material carbonáceo durante um longo tempo. O aço de Wootz, da Índia, o aço de Damasco e os aços de Toledo, na Espanha, são exemplos desse tipo de aço.

Como você deve se lembrar, o problema desses artesãos era que eles não conseguiam produzir o ferro e, consequentemente, o aço em larga escala. O grande salto da Revolução Industrial foi, exatamente, desenvolver os métodos corretos para fabricar aços de melhor qualidade e em quantidades que atendessem às novas necessidades das indústrias que surgiam.

A partir das pesquisas, foram criadas várias maneiras de se transformar o ferro gusa em aço. Na verdade, para que isso aconteça, uma série de reações e modificações químicas acontecem dentro do gusa e elas são sempre as mesmas. O que muda é o ambiente onde essas reações acontecem e a maneira como elas são provocadas. Vários tipos de fornos são usados nesses processos. Quais são esses fornos e o que acontece dentro deles é o que você vai estudar nesta lição.

### **O ar dá a sua graça**

Na aula passada, você estudou que o produto que sai do alto-forno é o ferro-gusa, uma matéria-prima com grandes quantida-

des de carbono e impurezas normais, como o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre. Por causa disso, o gusa é duro e quebradiço.

Para transformar o gusa em aço, é necessário que ele passe por um processo de oxidação - combinação do ferro e das impurezas com o oxigênio - até que a concentração de carbono e das impurezas se reduza a valores desejados.

Até que se descobrisse como fazer isso, os engenheiros deram tratos à bola. A idéia apresentada, simultaneamente, por um inglês, Henry Bessemer, e por um americano, William Kelly, em 1847, foi injetar ar sob pressão a fim de que ele atravessasse o gusa. Esse processo permitiu a produção de aço em grandes quantidades.

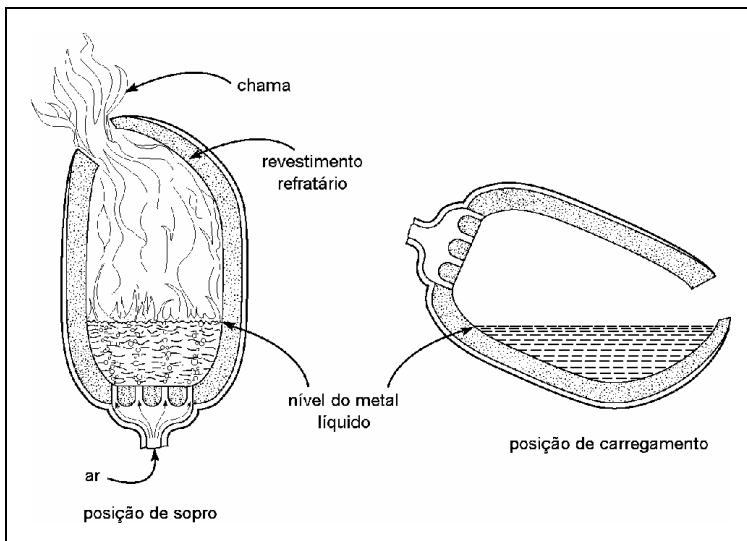
Os fornos que usam esse princípio, ou seja, a injeção de ar ou oxigênio diretamente no gusa líquido, são chamados "conversores" e são de vários tipos. Os mais conhecidos, nós vamos estudar juntos. Eles são:

- Conversor Bessemer
- Conversor Thomas
- Conversor LD (Linz Donawitz)

O primeiro conversor sobre o qual vamos falar é o Bessemer. É constituído por uma carcaça de chapas de aço, soldadas e rebitadas. Essa carcaça é revestida, internamente, com uma grossa camada de material refratário, isto é, aquele que resiste a altas temperaturas. Seu fundo é substituível e é cheio de orifícios por onde entra o ar sob pressão. A grande sacada desse forno é seu formato (os livros técnicos dizem que ele se parece a uma pêra bem estilizada) que permite seu basculamento. Quer dizer, ele é montado sobre eixos que permitem colocá-lo na posição horizontal, para a carga do gusa e descarga do aço, e na posição vertical para a produção do aço.

Este forno não precisa de combustível. A alta temperatura é alcançada e mantida, devido às reações químicas que acontecem quando o oxigênio do ar injetado entra em contato com o carbono

do gusa líquido. Nesse processo, há a combinação do oxigênio com o ferro, formando o óxido de ferro ( $FeO$ ) que, por sua vez, se combina com o silício (Si), o manganês (Mn) e o carbono (C), eliminando as impurezas sob a forma de escória e gás carbônico. Esse ciclo dura, em média, 20 minutos e o aço resultante desse processo tem a seguinte composição: 0,10% (ou menos) de carbono, 0,005% de silício, 0,50% de manganês, 0,08% de fósforo e 0,25% de enxofre.



O outro conversor é o Thomas, bastante semelhante ao Bessemer: ele também é basculante, também processa gusa líquido e também usa ar nesse processo. A diferença está no revestimento refratário desse conversor, que é feito com um material chamado dolomita, que resiste ao ataque da escória à base de cal e, por isso, esse material permite trabalhar com um gusa com alto teor de fósforo.

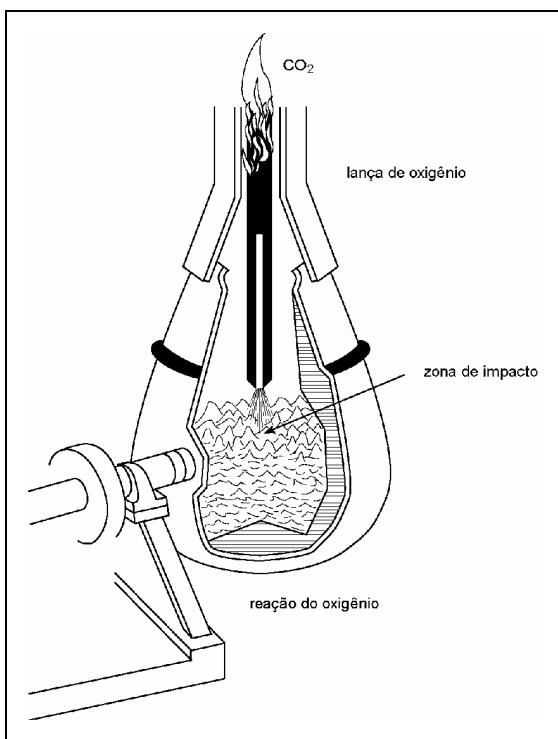
As reações químicas que acontecem dentro desse conversor são as mesmas que acontecem no conversor Bessemer, ou seja, oxidação das impurezas, combustão do carbono e oxidação do ferro. Esse processo, porém, tem duas desvantagens: não elimina o enxofre do gusa e o revestimento interno do forno é atacado pelo silício. Assim, o gusa deve ter baixo teor de silício.

O conversor LD usa também o princípio da injeção do oxigênio. A diferença é que o oxigênio puro é soprado sob pressão na super-

fície do gusa líquido. Essa injeção é feita pela parte de cima do conversor. Como é isso? Vamos explicar.

Esse tipo de conversor é constituído de uma carcaça cilíndrica de aço resistente ao calor, revestido internamente por materiais refratários de dolomita ou magnesita. A injeção do oxigênio é feita por meio de uma lança metálica composta de vários tubos de aço. O jato de oxigênio é dirigido para a superfície do gusa líquido e essa região de contato é chamada de zona de impacto.

Na zona de impacto, a reação de oxidação é muito intensa e a temperatura chega a atingir entre 2.500 e 3.000°C. Isso provoca uma grande agitação do banho, o que acelera as reações de oxidação no gusa líquido. Nesse conversor, a contaminação do aço por nitrogênio é muito pequena porque se usa oxigênio puro. Isso é um fator importante para os aços que passarão por processo de soldagem, por exemplo, pois esse tipo de contaminação causa defeitos na solda.



O uso de conversores tem uma série de vantagens: alta capacidade de produção, dimensões relativamente pequenas, simplicidade de operação e o fato de as altas temperaturas não serem

geradas pela queima de combustível, mas pelo calor que se desprende no processo de oxidação dos elementos que constituem a carga de gusa líquido.

Por outro lado, as desvantagens são: impossibilidade de trabalhar com sucata, perda de metal por queima, dificuldade de controlar o processo com respeito à quantidade de carbono, presença de considerável quantidade de óxido de ferro e de gases, que devem ser removidos durante o vazamento.

**Vazamento** é a operação de descarga do aço do conversor.

Dos conversores, saem aços usados na fabricação de chapas, tubos soldados, perfis laminados, arames.

Bem, já temos bastante informações para você estudar. Dê uma parada antes da segunda parte da lição. Nela vamos estudar a transformação do aço em outros tipos de fornos. O assunto é “eletrizante”, já que vamos falar de fornos elétricos.

Antes que as informações se acumulem demais, é melhor dar esta paradinha para estudar. Ao fazer isso, não se esqueça de fazer anotações do que você achar importante. Isso ajuda a memorizar as informações

## Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:
  - a) Por que o ferro-gusa é duro e quebradiço?
  - b) Como o gusa se transforma em aço?
  - c) Qual foi a idéia que permitiu a oxidação e a produção do aço em grandes quantidades?
  - d) Como são chamados os equipamentos que injetam ar ou oxigênio diretamente no gusa líquido?
  - e) Cite duas vantagens dos conversores.
  - f) Cite as desvantagens dos conversores.

2. Associe o nome do conversor, da coluna da esquerda, ao conjunto de características, da coluna da direita:

- |             |                                                                                                                                                                                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) Thomas   | 1. ( ) Seu formato permite colocá-lo na posição horizontal, para a carga do gusa e descarga do aço. Não utiliza combustível e seu revestimento refratário é de sílica.                      |
| b) Bessemer | 2. ( ) Na zona de impacto do oxigênio com o gusa, a temperatura chega a atingir entre 2.500°C e 3.000°C.                                                                                    |
| c) LD       | 3. ( ) A injeção de oxigênio sob pressão, no gusa líquido, é feita pela parte de cima do conversor, por meio de uma lança metálica. A contaminação do aço, por nitrogênio, é muito pequena. |
|             | 4. ( ) O revestimento refratário é feito com material chamado dolomita que resiste ao ataque da escória à base de cale ainda permite trabalhar com gusa com alto teor de fósforo.           |

### Dá para fazer aço de sucata?

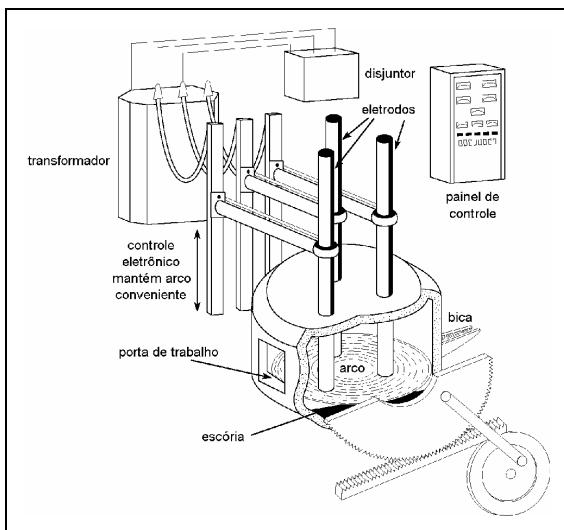
Essa é uma boa pergunta, já que na primeira parte da nossa aula falamos sobre como transformar o gusa em aço. Isso poderia dar a falsa impressão de que só o gusa é matéria-prima para sua fabricação. Se apenas isso fosse possível, os ferros-velhos não existiriam. E quem ainda não vendeu sua sucatazinha lá no ferro-velho do bairro, para ganhar uma grana extra? Pois é, a gente pode fabricar aço a partir de sucata, sim. Só que tem que usar outro tipo de forno.

É nos fornos elétricos que se transforma sucata em aço. Por esse processo, transforma-se energia elétrica em energia térmica, por meio da qual ocorre a fusão do gusa e da sucata, sob condições

controladas de temperatura e de oxidação do metal líquido. É um processo que permite, também, a adição de elementos de liga que melhoram as propriedades do aço e lhe dão características excepcionais. Por causa disso, esse é o melhor processo para a produção de aços de qualidade.

Os fornos elétricos são basicamente de dois tipos: a arco elétrico e de indução. O forno a arco elétrico é constituído de uma carcaça de aço feita de chapas grossas soldadas ou rebitadas, de modo a formar um recipiente cilíndrico com fundo abaulado. Essa carcaça é revestida na parte inferior (chamada soleira) por materiais refratários, de natureza básica (dolomita ou magnesita) ou ácida (silílica), dependendo da carga que o forno vai processar. O restante do forno é revestido com tijolos refratários silicosos. Os eletrodos responsáveis, juntamente com a carga metálica, pela formação do arco elétrico estão colocados na abóbada (parte superior) do forno.

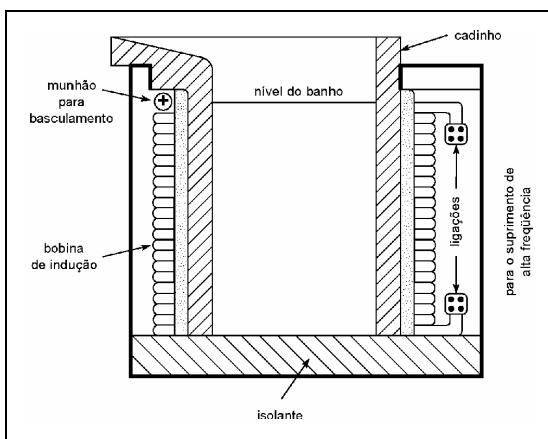
A carga de um forno a arco é constituída, basicamente, de sucata e fundente (cal). Nos fornos de revestimento ácido, a carga deve ter mínimas quantidades de fósforo e enxofre. Nos fornos de revestimento básico, a carga deve ter quantidades bem pequenas de silício.



Durante o processo, algumas reações químicas acontecem: a oxidação, na qual oxidam-se as impurezas e o carbono, a desoxidação, ou retirada dos óxidos com a ajuda de agentes desoxidantes.

tes, e a dessulfuração, quando o enxofre é retirado. É um processo que permite o controle preciso das quantidades de carbono presentes no aço.

Outro forno que usa a energia elétrica para a produção do aço é o forno de indução, que também processa sucata. O conjunto que compõe esse forno é formado de um gerador com motor de acionamento, uma bateria de condensadores e uma câmara de aquecimento. Essa câmara é basculante e tem, na parte externa, a bobina de indução. O cadinho é feito de massa refratária socada dentro dessa câmara, onde a sucata se funde por meio de calor produzido dentro da própria carga.



Para a produção do aço, liga-se o forno, e os pedaços de sucata que devem ser de boa qualidade vão sendo colocados dentro do forno, à medida que a carga vai sendo fundida. Depois que a fusão se completa e que a temperatura desejada é atingida, adiciona-se cálcio, silício ou alumínio, que são elementos desoxidantes e têm a função de retirar os óxidos do metal.

As vantagens da produção do aço nos fornos elétricos são: maior flexibilidade de operação; temperaturas mais altas; controle mais rigoroso da composição química do aço; melhor aproveitamento térmico; ausência de problemas de combustão, por não existir chama oxidante; e processamento de sucata.

Por outro lado, as principais desvantagens são o custo operacional (custo da energia elétrica) e a baixa capacidade de produção dos fornos.

O aço produzido nos fornos elétricos pode ser transformado em chapas, tarugos, perfis laminados e peças fundidas.

Para ajudar a organizar todas as informações desta aula na sua cabeça, preparamos um quadro que resume o que você leu até agora.

Tipo de forno	Combustível	Tipo de carga	Capacidade de carga	Vantagens	Desvantagens
Conversor Bessemer	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido.	10 a 40 ton.	Ciclo curto de processamento (10 a 20 minutos).	Impossibilidade de controle do teor de carbono.  Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço.  Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor Thomas	Injeção de ar comprimido.	Gusa líquido, cal.	Em torno de 50 ton.	Alta capacidade de produção.  Permite usar gusa com alto teor de fósforo.	O gusa deve ter baixo teor de silício e enxofre.  Elevado teor de óxido de ferro e nitrogênio no aço.  Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Conversor LD	Injeção de oxigênio puro sob alta pressão.	Gusa líquido, cal.	100 ton.	Mínima contaminação por nitrogênio.	Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória.
Forno a arco elétrico.	Calor gerado por arco elétrico.	Sucata de aço + gusa, minério de ferro, cal.	40 a 70 ton.	Temperaturas mais altas. Rigoroso controle da composição química. Bom aproveitamento térmico.	Pequena capacidade dos fornos.  Custo operacional.
Forno de indução	Calor gerado por corrente induzida dentro da própria carga.	Sucata de aço.	Em torno de 8 ton.	Fusão rápida. Exclusão de gases. Alta eficiência.	Pequena capacidade dos fornos. Custo operacional.

Nesta aula, você viu que o modo de se fabricar o aço depende da matéria-prima que você tem à disposição: gusa líquido pede fornos com injeção de ar; sucata pede fornos elétricos. O tipo de aço que você tem, após a fabricação, também depende desses processos: fornos a ar produzem aços-carbono comuns; fornos elétricos produzem aços de melhor qualidade, cuja composição química pode ser mais rigorosamente controlada.

Uma coisa sobre a qual não falamos, foi a respeito dos elementos que podem ser acrescentados a esses aços, para que eles tenham suas propriedades melhoradas. Esse é o assunto da nossa próxima aula. Aguarde!

Esta segunda parte da aula trouxe informações importantes. Estude-as, dedicando especial atenção ao quadro que resume as informações de toda a aula. Depois, faça os seguintes exercícios.

### **Exercícios**

- 3.** Escreva **V** para as frases verdadeiras e **F** para as frases falsas. Depois, corrija as erradas e as escreva corretamente no seu caderno.

  - a) ( ) O gusa é a única matéria-prima utilizada na fabricação do aço.
  - b) ( ) É nos fornos elétricos que ocorre a transformação da sucata em ferro.
  - c) ( ) Nos fornos elétricos, a fusão do gusa e da sucata ocorre sob condições controladas de temperatura e oxidação do metal líquido.
  - d) ( ) O processo de transformação da sucata em aço permite, também, a adição de elementos de liga que melhoraram as propriedades do aço.
- 4.** a) Qual a principal diferença entre forno a arco elétrico e o forno de indução?

b) Na sua opinião, qual a maior vantagem e a maior desvantagem dos fornos elétricos? Por quê?

**5.** Responda às seguintes perguntas:

- a)** Que nome se dá ao processo que transforma o gusa em aço?
- b)** Qual dos elementos que compõem o ferro-gusa, torna-o duro e, portanto, quebradiço? Por quê? (Lembre-se das propriedades dos materiais.)
- c)** O que é um conversor e qual a principal diferença entre ele e um forno elétrico?
- d)** Escreva, com suas palavras, as vantagens de utilização de um conversor Bessemer e de um forno elétrico de indução.
- e)** Escreva, com suas palavras, as desvantagens do forno a arco elétrico e do conversor LD.
- f)** Que tipos de aços são produzidos por:
  - 1.** Conversores: .....
  - 2.** Fornos elétricos: .....

### **Gabarito**

- 1.**
  - a)** Pela presença de grandes quantidades de carbono e impurezas como o silício, o manganês, o fósforo e o enxofre.
  - b)** Passando por um processo de oxidação.
  - c)** Injetar ar sob pressão, para atravessar o gusa.
  - d)** Conversores.
  - e)** Alta capacidade de produção e simplicidade de operação, por exemplo.
  - f)** Impossibilidade de se trabalhar com sucata, perda de metal por queima, dificuldade de controlar o processo com respeito à quantidade de carbono etc.
- 2.**
  - a)** 4
  - b)** 1
  - c)** 2, 3

3. a) F (Não! O aço também pode ser fabricado a partir da sucata.)  
b) V (É nos fornos elétricos que ocorre a transformação da sucata.)  
c) V  
d) V
4. a) No forno elétrico a arco, o calor é gerado pelo arco elétrico formado nos eletrodos e, no forno a indução, o calor é gerado na própria carga.  
b) A maior vantagem dos fornos elétricos está no fato de que há maior flexibilidade de operação. A principal desvantagem é o custo operacional (custo da energia elétrica).
5. a) Oxidação ou redução.  
b) É o carbono, porque o ferro gusa é uma matéria-prima com grandes quantidades de carbono.  
c) É um equipamento que tem a função de transformar o ferro em aço através da injeção de oxigênio ou ar no gusa. A diferença entre o conversor e um forno elétrico é que o conversor não utiliza energia e o forno elétrico, sim.  
d) As vantagens de uso de um conversor Bessemer é o ciclo curto de processamento que fica entre 10 e 20 minutos e de um forno elétrico de indução é a fusão rápida - exclusão de gases - e a alta eficiência.  
e) As desvantagens são: Forno a arco elétrico - Pequena capacidade dos fornos e custo operacional. Conversor LD - Gera poeira composta de óxido de ferro, gases e escória e não permite flexibilidade de produção.  
f) 1. Conversores - Aços-carbonos comuns com baixo teor de carbono.  
2. Elétricos - Aços de melhor qualidade com composição química controlada.