

O USO DOS BRIQUETES DE CAVACOS DE USINAGEM NA FUNDIÇÃO

1. Introdução



Nos últimos anos, notadamente devido ao crescimento acelerado da economia chinesa, os preços dos insumos para a indústria de fundição apresentaram um aumento significativo .

A China, de fornecedor de materias primas passou a ser um comprador voraz principalmente de sucata de aço e ferro fundido no mercado internacional.

Também os ferros ligas apresentaram um aumento significativo de preços, decorrente do aumento de consumo e também do aumento do custo da energia, insumo básico na produção da maioria dos ferros ligas utilizados na indústria de fundição.

Uma vez que a operação de fusão representa uma grande parte do custo de produção de peças fundidas, a redução dos custos de fusão terá um grande impacto positivo sobre o custo final dos fundidos.

Uma fonte alternativa de insumo metálico para uso na fundição, são os cavacos gerados em operação de usinagem, tanto de aço como de ferro fundido.

Estes cavacos podem ser utilizados soltos ou na forma de briquetes, com uma série de vantagens técnicas e econômicas.

É importante poder quantificar estas vantagens de modo a permitir o cálculo do retorno do investimento em um sistema de briquetagem auxiliando na tomada de decisão pela adoção ou não de uma briquetadora.

É preciso mudar o conceito de que cavaco é um resíduo para considerá-lo uma materia prima nobre (tem a mesma composição dos retornos da fundição).

2. Fabricação de briquetes

O uso de cavacos briquetados, pressupõe uma etapa de processamento que é a briquetagem.

O mercado hoje disponibiliza máquinas de briquetagem de cavacos com vários tipos de tecnologia, capacidades diversas, consumo reduzido de energia elétrica e facilidades de operação.

2.1. Requisitos da tecnologia das máquinas

As prensas para a fabricação de briquetes devem ser capazes de fornecer a qualidade desejada em processos automáticos e com disponibilidade para a operação em três turnos. São requisitos indispensáveis os baixos custos com consumo de energia elétrica, com custos viáveis de manutenção e de substituição de peças (incluindo as sobressalentes e as de desgaste). Os briquetes devem:

- Ser firmemente prensados e apresentar alta resistência ao manuseio;
- Ter uma baixa friabilidade (alta resistência ao desgaste e estabilidade dos cantos);
- Possuir uma baixa umidade residual (menor que 2%);
- Alcançar a maior densidade possível (pelo menos acima de 5 t/m³ para briquetes de cavaco de ferro fundido).

Para produzir briquetes com esta qualidade, existe a necessidade de aplicar uma pressão de compressão específica acima de 3.000 kgf/cm² (correspondente a 300 MPa ou 3.000 bar). A densidade dos briquetes pode ser aumentada elevando-se a pressão de compressão específica, que se aproxima de um valor máximo na faixa de 5.000 kgf/cm². Este valor alcança cerca de 80% da densidade de uma peça fundida maciça. Geralmente, as densidades usuais dos briquetes de cavacos de usinagem de peças fundidas são de 5,2 a 5,7 kg/dm³. Para satisfazer estes requisitos de propriedade, é necessário empregar uma tecnologia de máquinas de alta qualidade. Ao lado da avaliação da tecnologia de máquinas, o usuário da instalação deve valorizar uma assistência técnica abrangente. É importante também a oferta de aparelhos periféricos para a prensa propriamente dita, como por exemplo, os funis de carga do mesmo fornecedor, além de uma rápida disponibilidade de peças sobressalentes e do pessoal de serviço. Também deve existir a possibilidade de colocar, por um tempo limitado, instalações de aluguel à disposição da fundição, para permitir que sejam feitos ensaios de fusão. Para alcançar a rentabilidade máxima, deve ser possível adaptar o tamanho da máquina à produção necessária, com base nos modelos de instalação. Instalações superdimensionadas resultam em custos de investimento desnecessariamente alto.

Realização:

PENTA ASSESSORIA LTDA.

www.pentaassessoria.com.br

Fone: (47) 3027-2765



3. Uso na Fundição

3.1. Forno Cubilô

O uso de cavaco solto no forno cubilô, embora seja tecnicamente possível, resulta em um arraste muito grande dos cavacos. A quantidade arrastada depende da velocidade dos gases efluentes dentro do forno, do tamanho do cavaco e da densidade da carga no forno.

Altas velocidades de gás associado a cavaco de pequena dimensão e baixa densidade de carga pode levar a perdas inaceitáveis de cavaco, acúmulo de material no sistema de limpeza de gases, inviabilizando a utilização de cavacos soltos no forno cubilô. Além disso, ocorre a oxidação dos cavacos gerando um aumento significativo do volume de escória, aumento da queima de silício e manganês e alto risco de ferro oxidado.

Assim, a única maneira, com garantia de metal de qualidade e com retorno econômico, é a utilização de cavacos de ferro fundido somente após terem sido submetidos a um processo de briquetagem.

3.2. Forno Elétrico

No caso do uso de cavaco no forno elétrico, a utilização do cavaco solto não apresenta o inconveniente de arraste como no caso do forno cubilô.

Existe, dependendo da técnica utilizada no carregamento do cavaco e da quantidade utilizada, o risco potencial de formação de ponte com possibilidade de explosão do forno devido ao superaquecimento do metal.

O uso de cavaco briquetado no forno elétrico, além de evitar riscos de acidente, resulta em economia de energia no processo de fusão, como se discutirá adiante.

4. Aspectos Metalúrgicos

4.1. Oxidação do Si e Mn no metal fundido

4.1.1. Forno Cubilô

Genéricamente a maior ou menor velocidade de oxidação dos metais depende da relação superfície/volume em contato com o meio oxidante (ar, água, etc.). Como o cavaco de usinagem apresenta uma elevada superfície por unidade de massa, é um material facilmente oxidável, mesmo em se tratando de cavacos de ferro fundido.

No processo de fusão em fornos cubilô, a utilização de carga metálica oxidada traz as seguintes consequências:

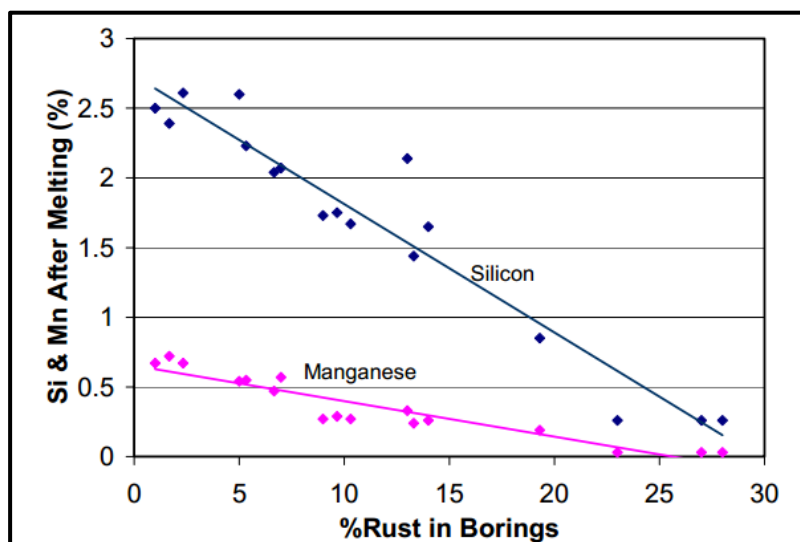
- Aumento do consumo de energia necessária para reduzir os óxidos;
- Redução do Pick-up de carbono, decorrente da reação entre o O₂ dos óxidos e o C do metal;
- Aumento da queima do Si e Mn presentes no material dos cavacos e dos demais componentes da carga metálica;
- Aumento no volume de escória e conseqüentemente do aumento do consumo de coque;
- Maior ataque ao refratário do forno.

Entretanto a utilização de briquetes de cavaco, permite a estocagem do material numa condição tal que minimiza a oxidação dos cavacos, quando comparado a estocagem dos mesmos na forma de cavacos soltos. Isto se deve ao fato de que a superfície exposta ao ar do briquete é acentuadamente menor que no caso do cavaco solto.

Na figura 1, temos um gráfico obtido para forno cubilô, mostrando a queima do Si e Mn em função do grau de oxidação do cavaco.

Como estes elementos reagem com o oxigênio do cavaco oxidado, a sua perda resulta em aumento da necessidade de adição de ferro liga para corrigir a composição final do metal.

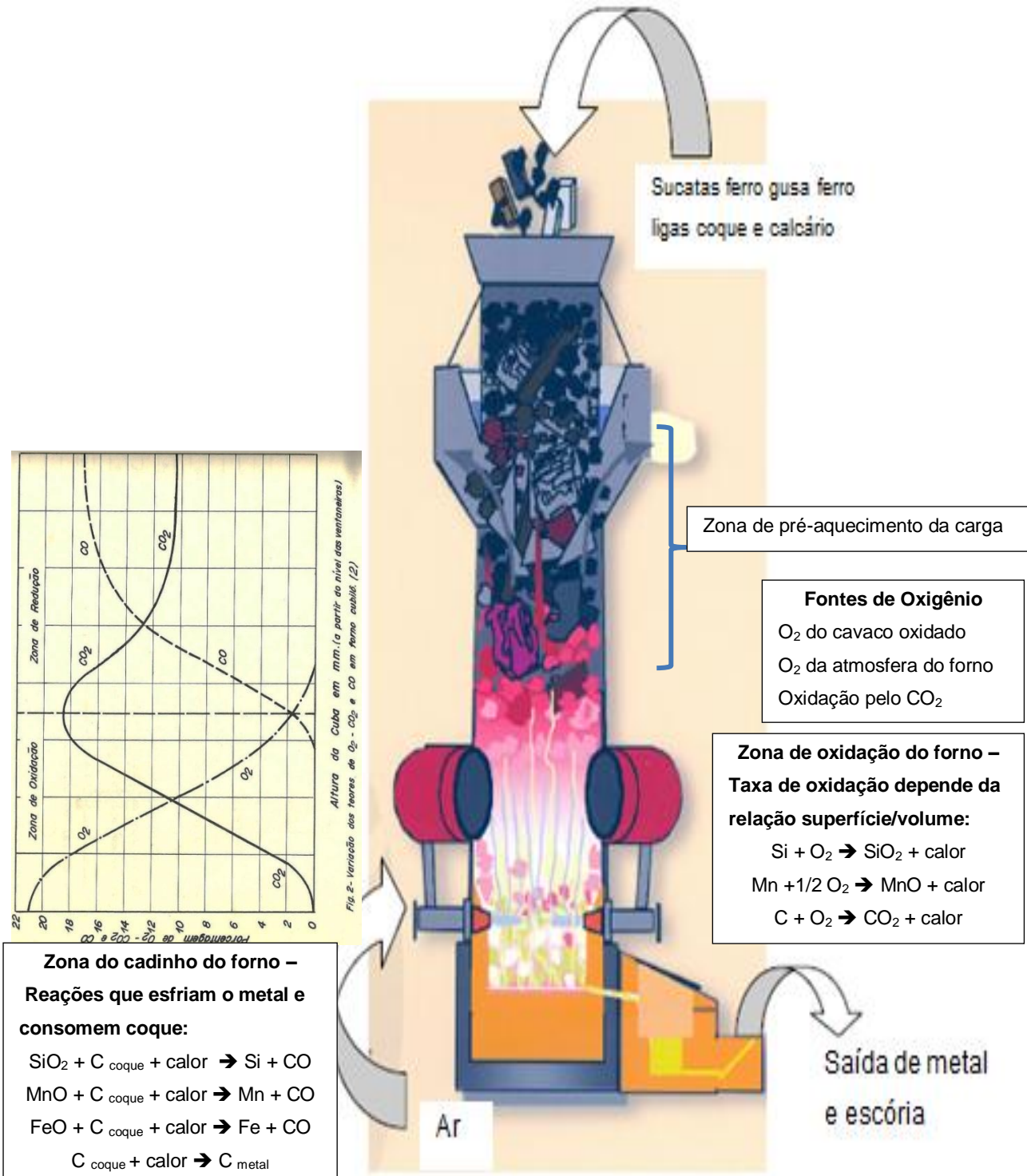
Figura 1- Teor final de Si e Mn em função do grau de oxidação do cavaco.



Fonte: Katz S. **Concepts for Reducing Cupola Charge Material Costs** - AFS Transactions – 2005; pág. 1-10

A figura 2, apresenta as principais zonas de características do forno cubilô e as principais reações que ocorrem nestas regiões.

Figura 2 - Forno cubilô – zonas características e principais reações do cavaco de usinagem



Realização:

PENTA ACESSORIA LTDA.

www.pentaassessoria.com.br

Fone: (47) 3027-2765

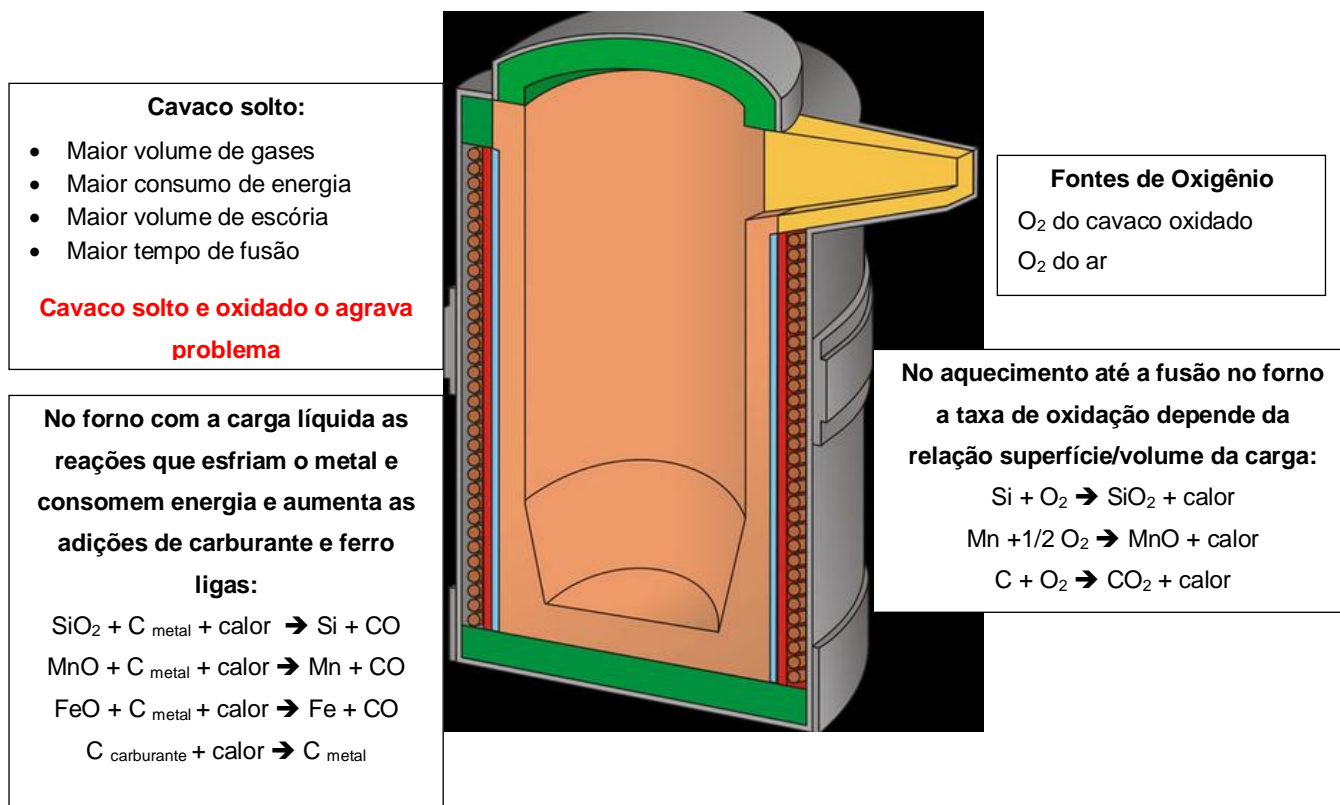
4.1.2. Fusão elétrica

No processo de fusão em fornos elétrico de indução, a utilização de carga metálica oxidada traz as seguintes consequências:

- Aumento do consumo de energia necessária para reduzir os óxidos;
- Aumento no consumo de combustível decorrente da reação entre o O₂ dos óxidos e o C do metal;
- Aumento da queima do Si e Mn presentes no material dos cavacos e dos demais componentes da carga metálica;
- Aumento no volume de escória e consequentemente aumento do consumo de energia;
- Maior ataque ao refratário do forno.

No forno elétrico se verifica o mesmo processo que ocorre no cubilô, resultando no aumento do consumo de energia elétrica, aumento do volume de escória gerada, desgaste do refratário e necessidade de correção da liga metálica, pois é difícil avaliar o grau de oxidação dos cavacos apenas visualmente. Na figura 3, apresenta-se esquematicamente as reações químicas com o cavaco no interior do forno de indução.

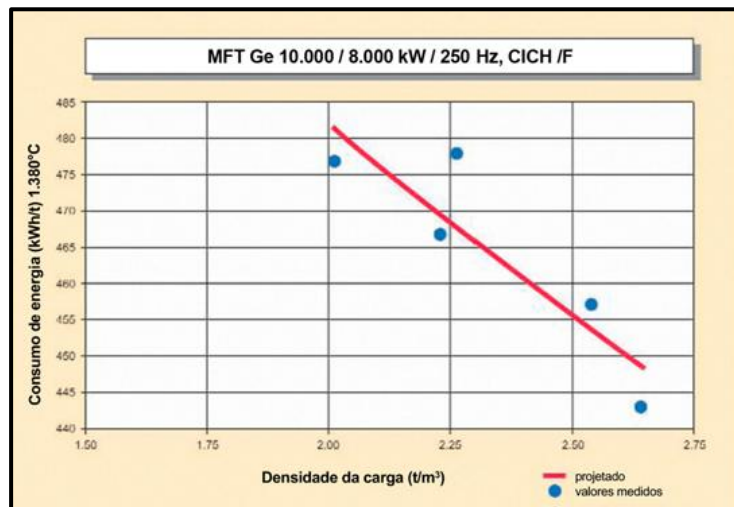
Figura 3 - Forno de indução – principais reações do com o cavaco de usinagem



Além disso, um dos aspectos mais importantes no consumo de energia para fusão de cargas metálicas em forno elétrico é a densidade da carga.

Quanto maior a densidade da carga, menor o consumo de energia, como pode ser observado no gráfico da figura 4.

Figura 4 - Consumo de energia em função da densidade da carga do forno elétrico



Fonte: Technical report of the IfG gGmbH “Energy efficiencet foundry”

Como pode ser observada no gráfico, uma redução na densidade da carga de 2,5 t/m³ para 2,0 t/m³ resultou num aumento da ordem de 25 kWh/t de metal fundido.

Como já citado, os briquetes de cavaco apresentam uma densidade média da ordem de 5,5 t/m³, contra uma densidade de 2,0 a 2,2 t/m³ do cavaco solto quando adensado e entre 1,5 a 1,8 t/m³ sem adensamento.

No carregamento do forno elétrico, a carga metálica em pedaços gera vazio, que eventualmente podem ser preenchidos com cavacos, mas mesmo o acúmulo desse cavaco nos vazios, como os mesmos apresentam uma densidade baixa, não implica em aumento significativo da densidade da carga. Entretanto, com a utilização de briquetes, como estes apresentam maior densidade que o cavaco solto e apresentam uma forma adequado ao máximo empilhamento, a densidade da carga aumenta acentuadamente, resultando em economia de energia.

5. Dados experimentais

5.1. Estudo realizado na Escola Técnica Tupy

Foi realizado um estudo experimental na Escola Técnica Tupy, visando observar o comportamento de cavaco briquetado em comparação ao cavaco solto, em fusão em forno elétrico de indução. Foram submetidos ao processo de briquetagem os cavacos com um dia, 3 dias, 5 dias e 15 dias após a sua geração e comparado com cavaco solto. A briquetagem foi realizada em uma Prensa Briquetadeira Hidráulica TECNOBRIQ modelo PBH-135T. Neste trabalho foram avaliados os seguintes parâmetros em função do tempo de estocagem do cavaco antes da briquetagem:

- Determinada a densidade dos briquetes produzidos e do cavaco solto;
- Rendimento metálico da utilização do cavaco (solto e briquetado) em relação a uma carga semelhante sem utilização de cavaco;
- Consumo de energia na fusão e superaquecimento até 1450 °C em comparação com a carga sem cavaco de usinagem;
- Tempo de fusão, ou seja a produtividade do forno

5.1.1. Resultados Obtidos

A tabela 1 mostra os resultados referentes à densidade do briquete em cada condição de estocagem

Tabela 1- Densidade Cavaco Solto e Briquetado

Material	Raio (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Peso (g)	Densidade (g/cm ³) Briquete	Densidade (g/cm ³) F. Cinzento	Relação Densidade Briquete./ F. Cinzento.
Briquete 1 dia de estocagem	3,45	5,5	205,66	1150	5,59	7,25	77%
Briquete 5 dias de estocagem	3,4	4,9	177,95	1020	5,73	7,25	79%
Briquete 15 dias de estocagem	3,45	4,65	173,88	990	5,69	7,25	78%
Cavaco Solto	2,5	12,1	237,58	391	1,65	7,25	23%

Realização:

PENTA ASSESSORIA LTDA.

www.pentaassessoria.com.br

Fone: (47) 3027-2765



Como se observa, na tabela 1, a briquetagem elevou a densidade dos cavacos de 1,65 t/m³ para até 5,73 t/m³.

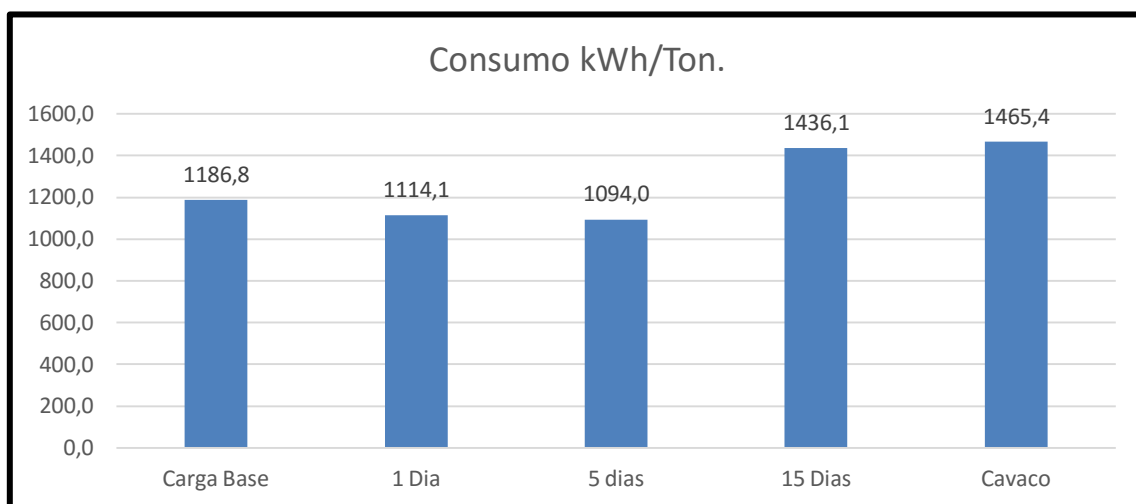
Com relação aos testes de fusão, foram realizadas 5 fusões com a mesma composição química final do metal, e mesma carga metálica, tendo-se substituído parcialmente o retorno de fundição por cavaco de usinagem (solto com 15 dias de estocagem em local coberto ou briquetado com diferentes dias de estocagem do cavaco, também em local fechado e coberto). As cargas de cada fusão tinham as composições mostradas na tabela 2.

Tabela 2 - Composição das cargas

Fusão	Gusa (%)	Sucata (%)	Retorno (%)	Cavaco briquetado (%)	Cavaco solto (%)	Total
Carga base	40	15	45	0	0	100
Briquete com 1 dia de estocagem	40	15	25	20	0	100
Briquete com 5 dias de estocagem	40	15	25	20	0	100
Briquete com 15 dias de estocagem	40	15	25	20	0	100
Cavaco solto com 15 dias de estocagem	40	15	25	0	20	100

O gráfico da figura 5 mostra o consumo de energia por tonelada de metal medido em cada fusão.

Figura 5 - Consumo de energia em kWh/t de metal fundido



Considerando como base 100 o consumo de energia para fundir uma tonelada da carga base, observa-se que o consumo de energia para fundir a carga com briquetes estocados durante 1 dia, foi reduzido em 6,5%.

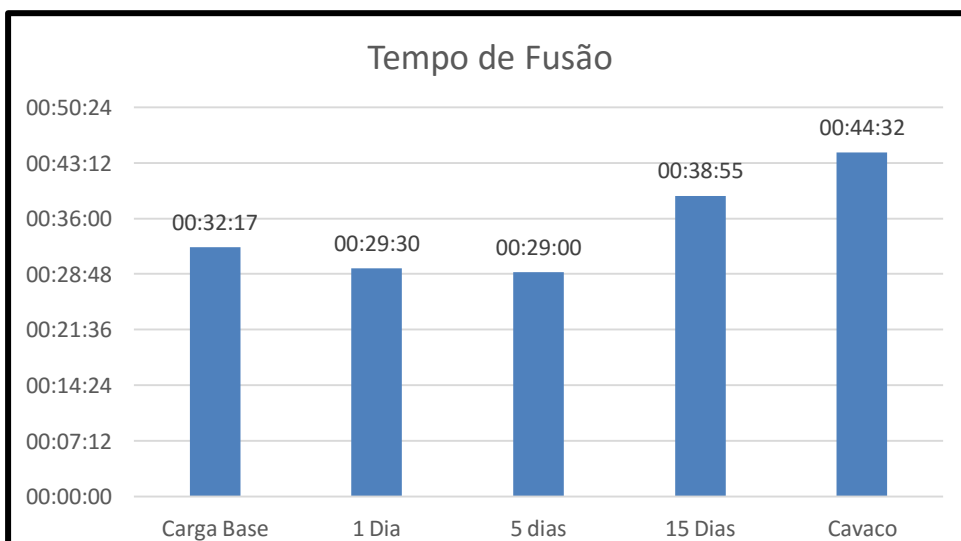
Para fundir com cavaco estocado por 5 dias, o consumo foi reduzido em 8,5%. Esta diferença entre 1 e 5 dias (2%) pode se dever a pequenos atrasos na alteração de capacitores do forno (o forno é antigo com banco de capacitores e não tiristores).

Já para o material estocado por 15 dias houve um aumento da ordem de 17,5%, bem como um aumento da ordem de 19,0% quando da fusão de cavaco solto. Estes resultados evidenciam o efeito da briquetagem sobre o uso de cavaco solto (maior densidade de carga, menor oxidação do cavaco, etc.)

No teste com briquetes produzidos com cavacos com quinze dias de estocagem verificou-se uma flotação dos mesmos no banho metálico e uma dificuldade grande de fusão. Este fenômeno foi também observado em diferentes fundições que empregam briquetes de cavaco em sua carga de forno de indução. Este fenômeno pode se dever ao fato de que o cavaco já estava oxidado (embora não visível a olho nu) antes da briquetagem resultando em um briquete com menor capacidade de fusão pelo campo magnético do forno e menores velocidades de dissolução do briquete pelo metal líquido, dando tempo para sua flotação. Embora o briquete tenha elevada densidade, é menor que do metal líquido ($5,7 \text{ t/m}^3$ do briquete contra mais que $6,8 \text{ t/m}^3$ do banho líquido).

O gráfico da figura 6 mostra o tempo despendido e medido em cada fusão, que pode ser associado ao efeito da briquetagem sobre a produtividade do forno.

Figura 6 – Tempo de fusão



Novamente tomando por base a carga sem cavaco de usinagem (32 minutos e 17 segundos) esse forno teria a capacidade de produção de 185,9 kg/h. O uso de briquetes com cavacos de 1 dia de estocagem produziria 203,4 kg/h enquanto com briquetes com cavacos de 5 dias de estocagem atingiria uma produção de 206,9 kg/h. Isso mostra que a produtividade do forno seria aumentada em até 11,2% com emprego de cavaco briquetado com até 5 dias de estocagem.

Já para briquetes produzidos com cavacos com tempo de estocagem de 15 dias mostraram uma perda de produtividade do forno. O forno com briquetes de 15 dias de estocagem teria uma capacidade de 154,2 kg/h, ou seja, uma perda de 17,1%. Essa perda de produção se deveu principalmente pela flotação intensa dos briquetes com consequente aumento na dificuldade de fusão e dissolução do metal no banho líquido.

Com o emprego de cavaco solto, o forno produziu apenas 136,8 kg/h, ou seja, uma redução de 26,4%. Neste caso, além da perda de densidade da carga que implicou em aumento do consumo de energia também resultou na perda de produtividade do forno devido a também maior dificuldade de fusão de um material parcialmente oxidado (além do tempo de estocagem que provoca oxidação durante o aquecimento na fusão se tem uma intensa oxidação pelo oxigênio do ar presente e pela maior cinética da reação de oxidação pelo aumento da temperatura).

5.2. Estudos realizados na Tecnobriq

A Tecnobriq realizou um levantamento da recuperação do óleo de usinagem durante a briquetagem de cavacos com diferentes dias de estocagem.

A partir de um mesmo lote de cavacos de usinagem, obtido em uma tradicional empresa de Joinville, a Tecnobriq realizou um quarteamento da pilha inicial de 1.500 kg para a separação em 15 lotes de 100 kg cada. Todos os lotes foram acomodados em um galpão fechado, com uma lona plástica sob os cavacos.

De cada lote foram briquetados 70 kg de cavaco de usinagem, coletado da parte superior de cada pilha para não pegar óleo já acumulado na base das pilhas separado por gravidade, com três níveis de pressão de briquetagem (P1 = 3.800 kgf/cm², P2 = 3.000 kgf/cm², e P3 = 2.600 kgf/cm²), com 1 dia de estocagem, 2 dias de estocagem 3 dias de estocagem e 7 dias de estocagem.

A tabela 3 mostra os resultados obtidos de coleta de óleo durante a briquetagem de cada condição.

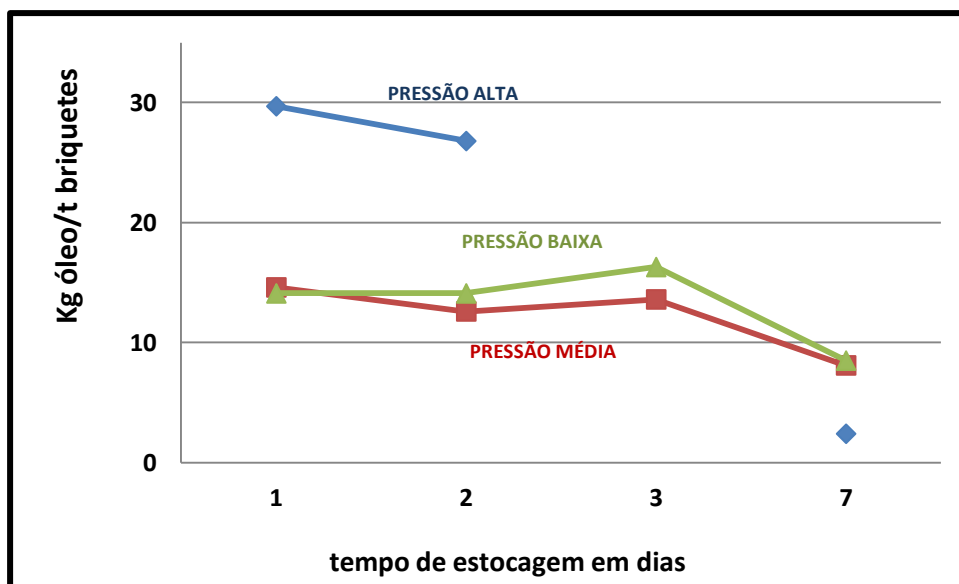
Tabela 3 – Quantidade de óleo recuperado para diferentes pressões de briquetagem e diferentes tempos de estocagem do cavaco após sua geração.

Dias de estocagem do cavaco antes de briquetar	P 1 - pressão alta			P2 – pressão média			P3 – pressão baixa		
	Peso Inicial	Peso Final	Massa de óleo +água coletada	Peso Inicial	Peso Final	Massa de óleo +água coletada	Peso Inicial	Peso Final	Massa de óleo +água coletada
	g	g	%	g	g	%	g	g	%
1	70.000	67.920	2,97	70.000	68.980	1,46	70.000	69.010	1,41
2	70.000	68.125	2,68	70.000	69.120	1,26	70.000	69.015	1,41
3	-	-	-	70.000	69.050	1,36	70.000	68.860	1,63
7	70.000	69.830	0,24	70.000	69.430	0,81	70.000	69.408	0,85

OBS:- Não foi executado a briquetagem com pressão alta com cavacos com 3 dias de estocagem

O gráfico da figura 7 mostra a recuperação de emulsão (óleo de usinagem + água) em função da pressão de briquetagem e tempo de estocagem do cavaco antes de briquetar.

Figura 7 – Recuperação da emulsão óleo de usinagem + água, em função do tempo de estocagem e pressão de briquetagem



Realização:

PENTA ASSESSORIA LTDA.

www.pentaassessoria.com.br

Fone: (47) 3027-2765

Como se observa na figura 7, o emprego da pressão de 3.800 kgf/cm² apresentou nos primeiros dias de estocagem uma recuperação de óleo acentuadamente maior que para as pressões média e baixa, onde não se verificou grande diferença entre uma e outra.

Com o tempo de estocagem, verifica-se uma tendência de queda até três dias de estocagem e depois uma queda acentuada para todas as pressões empregadas. Isso se deve a decantação da emulsão (óleo + água) contida no cavaco durante a estocagem na pilha. Como o óleo de usinagem, embora contenha água, forma uma barreira à oxidação do cavaco, a decantação do óleo para o fundo da pilha, expõe os cavacos da pilha o maior contato com o ar e, portanto maior oxidação após alguns dias de estocagem. Desta forma, pelos resultados obtidos, cavacos, dependendo das condições de estocagem, com mais de 3 a 5 dias de estocagem podem apresentar maiores níveis de oxidação com os problemas já discutidos anteriormente.

6. Aspectos ambientais

Embora quantitativamente não se possam avaliar os ganhos econômicos ambientais, podemos avaliar qualitativamente para o caso do forno elétrico de indução os benefícios de utilização de briquetes de cavacos em substituição ao uso de cavacos soltos. Na figura 8 pode-se verificar a diferença entre o volume de fumos evoluídos durante a fusão de cavacos soltos e cavacos briquetados em testes efetuados na Escola Técnica Tupy.

Figura 8 – Comparativo do volume de fumos gerados durante a fusão de cargas com 20% de cavacos de usinagem, sendo (a) briquetado e (b) solto:

(a) 20% carga briquetes



(b) 20% carga cavaco solto



O problema ambiental interno à fundição, com a intensa geração de fumos pode ser minimizado pela secagem dos cavacos soltos, mas que certamente aumenta o nível de oxidação dos mesmos. Para as fundições que dispõe de sistema de captação de fumos do forno elétrico, pode ter danos ou pelo menos redução do tempo de vida dos elementos filtrantes devido a presença do óleo dos cavacos nos fumos exauridos.

Para a simples venda dos cavacos gerados, a responsabilidade do transporte e deposição final deste material, continua sendo do gerador, no caso a fundição.

7. Análise econômica

De modo a preliminarmente dar uma indicação quantitativa das vantagens econômicas do investimento em uma unidade de briquetagem, podemos imaginar uma fundição hipotética média com produção mensal de cerca de 2,000 t de fundidos, com usinagem própria gerando cerca de 15% de cavaco de ferro fundido ou seja, 300 t/mês. Para o caso da fundição trabalhar apenas em dois turnos briquetando, a capacidade da unidade de briquetagem seria de:

- 16 horas de trabalho x 5 dias/semana x 4 semana/mês = 320 horas/mês.
- 300 t/mês de cavaco / 320 horas/mês = +/- 1,0 t/hora capacidade da briquetadora.
- Briquetadora selecionada = PBH-S-290 T
- Investimento na unidade = R\$ 700.000,00
- Consumo de energia elétrica = 50 kWh/t briquete

Há duas possibilidades de fusão nesta fundição hipotética: Forno de indução ou forno cubilô.

7.1. Fundição com forno de indução

O administrador desta fundição tem três opções de utilização do cavaco de ferro fundido a saber:

- a. Vende o cavaco gerado e compra sucata de ferro fundido;
- b. Usa o cavaco solto como carga do forno de indução;
- c. Compra uma unidade de briquetagem e usa o cavaco briquetado como carga do forno de indução.

Caso alternativo **a.**

Preço médio de venda do cavaco de usinagem = R\$ 200,00/t

Preço médio de compra de sucata de ferro fundido = R\$ 700,00/t

Resultado mensal líquido = R\$ 500,00 X 300 = **R\$ 150.000,00/mês**

Caso alternativo **b.** – Situação padrão - Índice 100%

Caso alternativo **c.** – Valores médios apresentados neste trabalho

Variação do custo em relação ao caso padrão e também alternativa **a.**, por tonelada de metal:

✓ Fabricação do briquete

- Energia elétrica = 50 kWh X 543,80 R\$/MWh/1000= R\$ 27,19/t briquete
- Mão de obra = semelhante à carga padrão (o cavaco ao invés de ser transferido para baias de carga é transferido para o funil dosador)
- Manutenção da briquetadeira 5% investimento ao ano/produção anual = (R\$ 700.000,00 x 5%) / (300 X 12) = R\$ 9,73/t briquete
- Custo total briquetagem = R\$ 36,91/t briquete

✓ Economia de energia na fusão

- Média nacional de consumo de energia para fusão em forno elétrico de indução moderno = 850 kWh/t metal
- Redução do consumo de energia elétrica pelo uso de briquete na carga do forno em relação a carga sem briquete e sem cavaco solto (alternativa **a.**) = 8 % (figura 4)
- Redução do consumo de energia elétrica pelo uso de briquete na carga do forno em relação à carga com cavaco solto (alternativa **b.**) = 24% (figura 4), embora adotaremos 18% devido ao fato de que na Escola Técnica o forno era de pequena capacidade (100 kg)

- ✓ Recuperação de óleo de usinagem
 - Briquetagem dos cavacos com até 3 dias de estocagem e com pressão elevada recupera no mínimo 27 kg de emulsão de óleo de usinagem + água/t briquete (considerado emulsão com relação 1:20), ou seja uma economia de $27,00 \times R\$ 14,00/20 = R\$ 18,90$.

- ✓ Economia em ferros liga e carburante
 - Embora, como discutido acima, a recuperação de Si e Mn e redução da necessidade de carburante na carga do forno para uma dada composição, não serão estes ganhos contabilizados nesta avaliação por ser muito dependente da composição química do ferro fundido empregado e das condições de oxidação dos cavacos.

- ✓ Resultado líquido mensal do uso de briquetes comparado com a alternativa **a.**
 - $-(R\$ 36,91 \times 300) + (850 \times 2.000 \times 8\% \times R\$543,80/1.000) + R\$18,90 \times 300 = R\$ 68.553,80$
 - Gasto adicional pela venda cavaco e compra sucata de ferro fundido = R\$ 150.000,00
 - Total ganho mensal em relação a alternativa **a.** = R\$ 218.553,80/mês
 - Tempo de retorno do investimento: $R\$700.000,00/R\$ 218.553,80 = 3,2$ meses
 - Taxa de retorno = $R\$218.553,80/R\$700.000,00 \times 100 = 31,2\%$

- ✓ Resultado líquido mensal do uso de briquetes para alternativa **c.**
 - $-(R\$ 36,91 \times 300) + (850 \times 2.000 \times 18\% \times R\$543,80/1.000) + R\$18,90 \times 300 = R\$ 160.999,80$
 - Tempo de retorno do investimento: $R\$700.000,00/R\$ 160.999,80 = 4,35$ meses
 - Taxa de retorno = $R\$160.999,80/R\$700.000,00 \times 100 = 23,0\%$

Uma planilha eletrônica encontra-se em anexo, para permitir o ajuste dos custos para a condição específica de cada fundição.

7.2. Fundição com forno cubilô

Neste caso, a utilização de cavaco de usinagem solto não se considera pois como citado anteriormente, o uso econômico desta matéria prima somente se viabiliza estando briquetado.

Assim, o administrador desta fundição tem somente duas opções de utilização do cavaco de ferro fundido a saber:

- a. Vende o cavaco gerado e compra sucata de ferro fundido;
- b. Compra uma unidade de briquetagem e usa o cavaco briquetado como carga do forno de cubilô.

Considerando as mesmas premissas adotadas na análise do forno de indução, ou seja, mesmo custo de briquetagem, mesmo valor de recuperação de óleo de usinagem e mesma recuperação da diferença entre o preço da sucata de ferro fundido e o valor de venda do cavaco solto teremos o seguinte resultado econômico:

- ✓ Resultado líquido mensal do uso de briquetes comparado com a venda simplesmente do cavaco e compra de sucata de ferro fundido:
 - - (R\$ 36,91 X 300) + R\$18,90 X 300 = - **R\$ 5.403,00** (custo briquetagem – recuperação emulsão)
 - Gasto adicional pela venda cavaco e compra sucata de ferro fundido = R\$ 150.000,00
 - Total ganho mensal com uso de briquetes de cavaco = R\$ R\$150.000,00 – R\$5.403,00 = R\$ 144.597,00/mês
 - Tempo de retorno do investimento: R\$700.000,00/R\$ 144.597,00 = 4,8 meses
 - Taxa de retorno = R\$ 144.597,00/R\$700.000,00 X100 = 20,7%

8. Considerações finais

Tendo em vista, que cada fundição tem suas próprias peculiaridades, que necessariamente levarão a uma análise específica, pode-se fazer as seguintes considerações quanto ao uso de cavacos de ferro fundido briquetados em comparação com o uso de cavaco solto:

A- Fusão em forno elétrico

- 1- O uso de cavacos de ferro fundido na forma de briquetes em até 20% da carga, na fusão em forno elétrico, pode resultar em uma redução no consumo de energia elétrica na faixa de 20 a 35 %, quando comparado com o uso de cavaco solto;
- 2- O uso de cavacos de ferro fundido na forma de briquetes, em até 20%, reduz o tempo de fusão em torno de 10 a 25%, quando comparado com o uso de cavaco solto;
- 3- Os cavacos briquetados permitem uma estocagem por um tempo maior, com mínima oxidação, o que significa redução na queima do silício, manganês e carbono desta matéria prima;
- 4- Aumento da produtividade do forno, devido a redução do tempo de fusão, redução do volume de escória e menor necessidade de correção da liga;
- 5- A composição do briquete de cavaco gerado internamente é conhecida da fundição, comportando-se nos cálculos de carga como retorno de fundição;
- 6- Redução do consumo de ferro liga para correção da composição, bem como carburante;
- 7- Redução do risco de acidente pela formação de ponte com o cavaco solto;
- 8- Redução do volume de fumaça, quando comparado com o uso de cavaco solto que não foi previamente secado;
- 9- Eliminação de processo de secagem dos cavacos, devido a extração do óleo de usinagem no processo de briquetagem;
- 10- Eliminação do risco ambiental no transporte de cavaco, no caso de venda externa;

B- Fusão em Cubilô

- 1- Volume arrastado de cavaco quando usado na forma solta pode tornar antieconômico o uso de cavaco de ferro fundido;
- 2- Risco de entupimento do sistema de coleta de gases do forno;
- 3- Geração elevada de escória;
- 4- Queima elevada de Si e Mn, devido à oxidação dos cavacos.
- 5- Aumento acentuado do consumo de coque e fluxante
- 6- Eventualmente o uso de cavaco de usinagem solto pode resultar em metal líquido com elevado teor de oxigênio dissolvido (metal oxidado)
- 7- O uso de briquete de cavaco terá comportamento semelhante a retorno de fundição (canais e massalotes)

C- Briquetagem

Devido aos problemas decorrentes da oxidação dos cavacos antes da briquetagem, as seguintes observações podem ser feitas;

- 1- Os cavacos devem ser briquetados o mais rápido possível após a sua geração;
- 2- O tempo máximo de estocagem em local protegido, esta em torno de 3 a 5 dias;
- 3- A aquisição de cavacos de outras unidades geradoras deve ser preferencialmente na forma de briquetes que tenham sido briquetados no tempo indicado anteriormente;

FIM