



## INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

**Título do Trabalho:** “Adição de coque de petróleo às misturas de carvão mineral para a produção de coque metalúrgico”.

**Autores:** Carlos Carvalho, Guilherme Liziero, Alfredo Carlos, Paulo Domelas, Tamires Portilho.

**Palavras-chave:** Coque Verde de Petróleo; Misturas de carvão; Coque Metalúrgico.

**Campus:** IFMG - Ouro Branco

**Área do Conhecimento (CNPq):** Engenharia de Materiais e Metalúrgica.

**Tipo de bolsa:** PIBIC

**Financiador:** IFMG

## RESUMO

Uma tendência no setor siderúrgico é a busca de aditivos, que reduzam o custo de produção do coque, conservando e aprimorando sua qualidade. Neste contexto, o coque verde de petróleo (CVP) apresenta disponibilidade, viabilidade técnica. A quantidade e a granulometria das adições de CVP nas misturas de carvão mineral, apresentam grande influência em diversos parâmetros relevantes na qualidade do coque metalúrgico produzido. Foi possível concluir a partir deste estudo que o CVP, embora reduzindo a fluidez da mistura em escala exponencial, é um excelente aditivo quando utilizado em uma granulometria mais fina ( $100\% < 2,83\text{mm}$ ). Este trabalho provou que adições de até 20% de CVP ( $100\% < 2,83\text{mm}$ ) além de atuar como redutor de cinza, mantém a qualidade do coque resultante igual ou superior em relação à mistura apenas de carvões.

**Palavras-chave:** Coque Verde de Petróleo; Misturas de carvão; Coque Metalúrgico.

## INTRODUÇÃO:

Para manter a competitividade no mercado, o setor siderúrgico busca alternativas para reduzir os custos referentes às matérias-primas, essencial para a sobrevivência das organizações. Segundo Silva (2008), o carvão mineral onera em 30 a 40% o custo do aço, e desenvolver matérias primas alternativas torna-se primordial para garantia da perpetuidade do setor siderúrgico.

O desafio da produção de coque está em projetar misturas de carvões que produzam coque a custo baixo e com elevada qualidade. Neste contexto, um possível aditivo é o Coque Verde de Petróleo (CVP), um subproduto do petróleo, que possui características bem próximas ao carvão mineral coqueificável.

É notória a importância das pesquisas na área, tendo em vista o fato de que a tendência da produção de petróleo no Brasil é de crescimento, o que irá gerar um aumento na disponibilidade do CVP. O CVP então poderá ser utilizado na siderurgia reduzindo o custo de produção do coque metalúrgico e minimizando o impacto ambiental causado pela falta de aplicação desse subproduto.



Dessa forma o presente trabalho desenvolveu misturas alternativas utilizando CVP, variando granulometria e a dosagem do aditivo para estudar as alterações nas características do coque metalúrgico (resistência mecânica, reatividade ao CO<sub>2</sub>) através dos testes DI (drum index – resistência a frio do coque) e CSR (coke strength after reaction – resistência do coque após a reação), a fim de obter dados que mostrem a viabilidade técnica do Coque Verde de Petróleo.

## METODOLOGIA:

Os enfiamentos foram feitos com 250 kg de mistura base (MB) de carvão mineral (composta por carvões baixo, médio e alto voláteis importados (Austrália, Estados Unidos e Canadá) e coque verde de petróleo (nacional – Petrobrás) em variadas proporções. Foram analisadas as propriedades físicas e químicas.

Segue abaixo relação dessas características, Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização das misturas enfiadas

	MV (%)	Cinza (%)	S (%)	Fluidez log (ddpm)	Reflectância	Vitrinita
<b>Mistura base</b>	23,46	6,97	0,63	2,6	1,12	62,2
<b>CVP</b>	11,9	0,35	0,78	-	-	0

Tabela 2. Química da Cinza em (%).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO
<b>Mistura base</b>	52,38	33,21	8,13	2,69	1,29	0,32	0,53	1,45
<b>CVP</b>	50,21	25,32	6,19	2,62	0,85	0,69	1,13	0,63

Foram realizados 07 enfiamentos - em um forno piloto (aquecido por resistências elétricas) com capacidade de comportar até 500kg de coque - compostos pela mistura base (MB) e diferentes porcentagens de coque de petróleo (CVP) em variadas faixas granulométricas. As composições estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização das misturas

Mistura	MB (kg)	CVP (kg)	CVP < 2,83mm (%)
1	250,0	0,0	-
2	237,0	12,5	100,0
3	225,0	25,0	100,0
4	200,0	50,0	100,0
5	237,0	12,5	80,0
6	225,0	25,0	80,0
7	200,0	50,0	80,0

Os ensaios foram realizados a uma temperatura de 1200° C e o tempo de coqueificação foi de 20h para cada experimento. Após o período de coqueificação, o coque foi resfriado com água e em seguida foram



coletados 80kg de coque para a composição de cada amostra. Os materiais coletados foram enviados ao laboratório onde foram realizadas as análises do coque metalúrgico.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

### Fluidez

Para as análises de fluidez, foram analisadas quatro amostras. A primeira era composta apenas pela mistura base pura, enquanto que a segunda, a terceira e a quarta amostras eram compostas pela mistura base com adição de 5%, 10% e 20% de coque de petróleo, respectivamente. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.

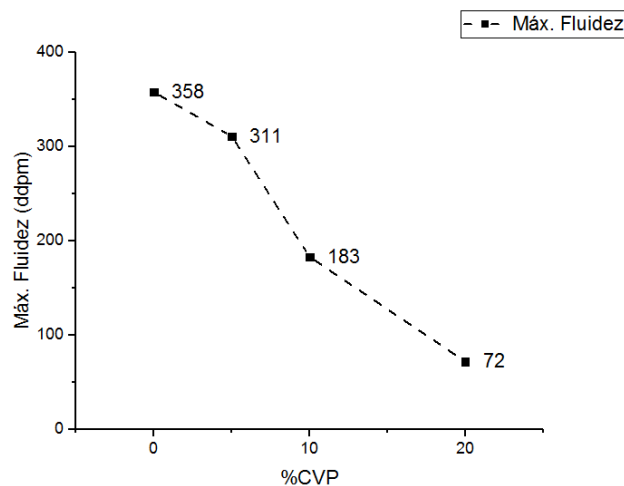


Figura 1. Variação da máxima fluidez com a adição do CVP.

Pelo fato de o coque de petróleo ser um material inerte, já era esperada a queda da fluidez. Apesar de a perda de fluidez ser um ponto negativo, outros fatores foram analisados para se perceber o quão prejudicial ela realmente pode ser.

### CSR (resistência do coque após a reação)

A variação do CSR com a adição do coque de petróleo pode ser observada na Figura 2.

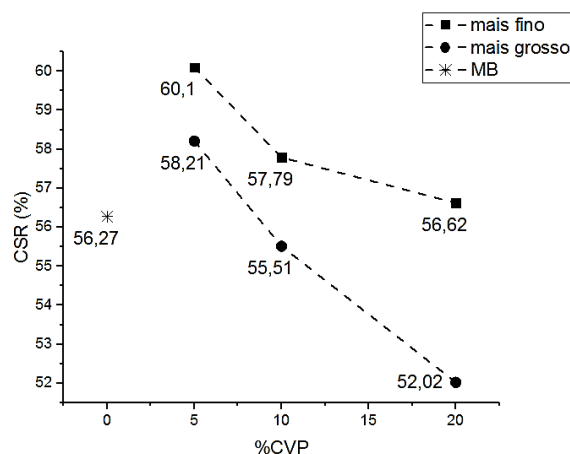


Figura 2. Variação do CSR com a adição do CVP.



Analisando os resultados, nota-se que em relação à mistura base, o melhor resultado obtido foi com a adição de 5% de CVP em ambas as faixas granulométricas. A partir dos 5% de CVP podemos notar um decréscimo no valor do CSR, mas é importante ressaltar que, a mistura com CVP Fino obteve um resultado satisfatório até mesmo com os 20%, uma vez que seu valor foi maior do que o da mistura base. Os resultados obtidos comprovam que a granulometria influencia, uma vez que todos os valores obtidos com adição de CVP Fino estão sempre acima dos resultados obtidos com adição do CVP Grosso. É de se notar também que o delta entre os valores obtidos nas diferentes faixas granulométricas aumenta gradativamente com a adição de CVP na mistura.

### DI (resistência a frio do coque) e teor de cinza

Os resultados obtidos para o teste de DI são apresentados na Figura 3.

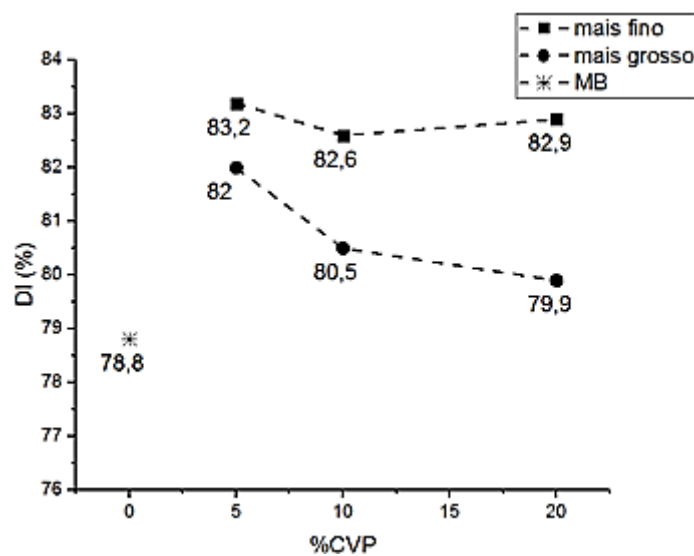


Figura 3. Variação de DI com a variação da adição de CVP.

Nota-se que em ambas granulometrias, em todas as faixas de adição de CVP, houve uma melhora no DI, tendo a adição de 5% como melhor resultado, após 5% de CVP, ocorreu uma redução. Este acontecimento pode ter ocorrido porque a mistura apresentava um déficit de inertes, que foi preenchido quando se adicionou 5% de CVP. Porém, quando se adicionou mais CVP, extrapolou-se o a quantidade de inertes que a mistura poderia absorver, reduzindo o valor de DI.

No caso do teor de cinza, todos os resultados obtidos das análises de cinza foram positivos. Nota-se na Figura 4 que a distribuição granulométrica não interferiu nos resultados, houve uma boa correlação entre as diferentes faixas granulométricas.

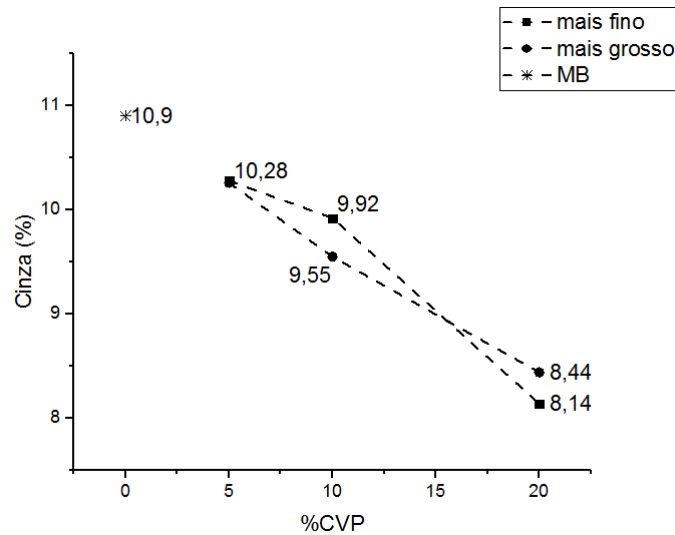


Figura 4. A redução do teor de cinza quando é adicionado o CVP.

### CRI (reatividade do coque)

No caso do CRI, pode-se dizer que houve uma melhora do mesmo em todas as situações, porém essa melhora foi ainda maior na situação em que se utilizou o CVP fino, visto que, com as ligações mais intensas entre o material fino e o carvão mineral, tem-se um coque metalúrgico com menor porosidade, o que reduz os valores de CRI, já que a superfície de contato entre o coque metalúrgico e o  $\text{CO}_2$  é menor.

Além disso, é bom destacar que nos dois casos, CVP fino e CVP grosso, quanto maior a porcentagem do coque de petróleo, melhores são os valores para o CRI, chegando-se a obter uma redução de 13% no valor do CRI para a mistura com 20% CVP mais fino.

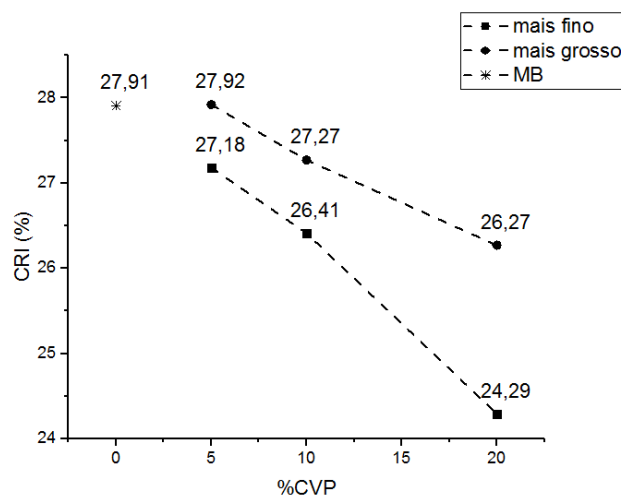


Figura 5. Reatividade do coque metalúrgico com a adição de CVP na mistura.

### Teor de enxofre

Notou-se que não houve uma variação significativa no teor de enxofre em todas as amostras analisadas, todos os resultados se aproximaram do teor de enxofre da mistura base.

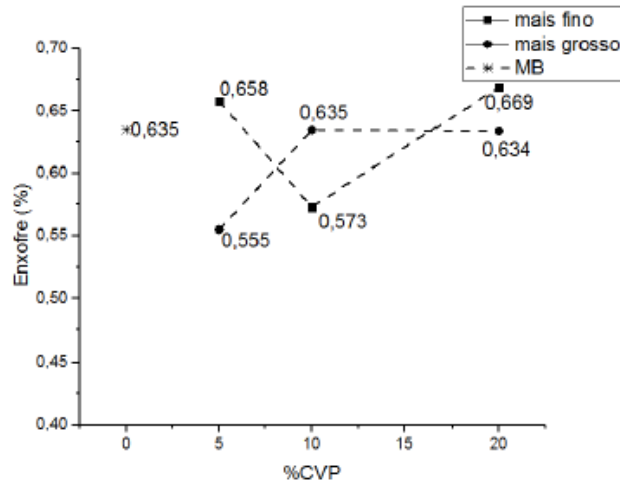


Figura 6. Comportamento do teor de enxofre com a adição de CVP na mistura.

## CONCLUSÕES:

A adição de CVP às misturas provocou uma redução da fluidez em escala exponencial, mas essa redução não afetou significativamente as propriedades do coque resultante. Os resultados apresentados pelas misturas composta pelo CVP (100% < 2,83mm) sempre foram melhores quando comparados com o CVP Grosso (80% < 2,83mm), com exceção do DI.

Em relação à CSR, CRI e DI a adição de CVP fino obteve-se uma evolução nos parâmetros quando comparados à mistura base.

Com relação ao teor de cinza foi possível perceber que a granulometria do coque de petróleo não interferiu nos resultados e que quanto maior a proporção do coque de petróleo, menor é o teor de cinza final.

Assim, a partir dessas conclusões, é possível afirmar que o coque de petróleo, mesmo reduzindo a fluidez da mistura de carvões, é um ótimo aditivo, já que, quando utilizado em granulometria mais fina, consegue manter a qualidade do coque metalúrgico igual ou superior a do coque metalúrgico sem adição do coque de petróleo, mesmo nas proporções de 20%. Além disso, ele contribui para reduzir o teor de cinza e o custo da mistura, o que pode contribuir para o aumento da competitividade da empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2639 – 08: Standard Test Method for Plastic Properties of Coal by the Constant Torque Gieseler Plastometer, West Conshohocken, USA, 2008

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5341-99(2010)e1: Standard Test Method for Measuring Coke Reactivity Index (CRI) and Coke Strength After Reaction (CSR), West Conshohocken, USA, 2010

MENÉNDEZ, J.A.; DíEZ, M.A.; PUENTE, G.; FUENTE, E. ALVAREZ, R.; PIS, J.J. Thermal Behaviour and Reactivity of Green Petroleum Cokes used as Additives in Metallurgical Cokemaking. 1997. Disponível em: <[http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws_home)>. Acesso em: 27 ago. 2012.



PIS, J.J.; MENÉNDEZ, J.A.; PARRA, J.B.; ÁLVAREZ, R. Relation between Texture and Reactivity in Metallurgical cokes obtained from Coal using Petroleum Coke as Additive. 2002. Disponível em: <[http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws_home)>. Acesso em: 27 ago. 2012.

RUIZ, O.; ROMERO-PALAZÓN, E.; DÍEZ, M.A.; MARSH, H. Co-carbonization of Green Petroleum Cokes with Cortonwood Coal: Influence on Structure, Reactivity and Microstrength of Resultant Cokes.1990. Disponível em: <[http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws_home)>. Acesso em: 22 nov. 2012.

SILVA, O. J. Caracterização tecnológica de carvões para coqueria [dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Área de concentração: Processos de fabricação. 2008.

**Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:**

Apresentação oral - Semana Nacional de Ciência e Tecnologia IFMG – Ouro Branco em 2014 e no Simpósio de Iniciação Científica e Extensão IFMG – Ouro Branco em 2016.

Apresentação pôster - Graduate Student Poster Contest - AISTech 2017, em Nashville, Estados Unidos.

Apresentação oral - V Congresso Brasileiro de carvão mineral – Criciúma, Santa Catarina, Brasil. 29 de maio a 01 de Junho de 2017.