

AVALIAÇÃO DE COMBUSTÃO, DE EMISSÃO DE POLUENTES GASOSOS E BALANÇO ENERGÉTICO EM FORNOS DE COQUE

¹Ademar Hakuo Ushima
²Carlos Henrique Sampaio d'Andréa
³Celso Yukio Nakashima
⁴Donizete Macedo Costa
⁵José Maria Clemente
⁶Marcos Azevedo Tackla
⁷Mário Liévana
⁸Odilon José da Silva
⁹Orlando Brandenberger Valente
¹⁰Paulo Guilherme Mazza

Resumo: A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) produz todo o coque metalúrgico consumido em suas instalações e, para isso, dispõe de 3 baterias de produção de coque. Em maio de 2003, o Agrupamento de Engenharia Térmica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT – AET) realizou o monitoramento das emissões de CO, CO₂, O₂, NO_x e SO₂ nos gases de combustão nessas baterias de fornos de coque. O objetivo destas medições foi a realização de balanços de massa e energia das baterias, a identificação de possíveis causas da formação de poluentes e a proposição de medidas para a redução das emissões de poluentes e de consumo energético das baterias de coque. Para tanto, monitorou-se os gases de escape nas caixas de fumaça, no topo dos fornos e na entrada da chaminé. Esse monitoramento foi feito continuamente durante 4 períodos de 20 horas cada, o que corresponde, aproximadamente, a 4 períodos de enformamento de coque. Além do acompanhamento das baterias, amostras de carvão, coque, alcatrão, borra de alcatrão e COG foram coletadas para serem analisadas. Dados de consumo de carvão, produção de coque, gases voláteis, alcatrão e água amoniacal foram fornecidos pela CST através de relatórios diários obtidos no sistema de gerenciamento das baterias. Testes complementares (análise do COG, água amoniacal e coque) foram feitos pela CST.

Palavras chave: emissão de poluentes, balanço energético, forno de coque

1 Engenheiro Químico – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Agrupamento de Engenharia Térmica

2, 7,8,9 Especialistas de Controle Técnico da Área de Gusa da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)

3 Engenheiro Mecânico – Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Mecânica

4 Físico - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Agrupamento de Engenharia Térmica

5 Gerente de Seção das Baterias de Coque e CDQ da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)

6 Técnico de Baterias de Coque e CDQ da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)

10 Operador de Controle Térmico das Baterias de Coque da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)

1. Introdução

Os fornos de produção de coque são responsáveis pela transformação do carvão em coque. Para que essa transformação ocorra, é necessário que o carvão seja aquecido a elevadas temperaturas na ausência de oxigênio, o que provoca uma série de reações químicas – pirólise – responsáveis pela formação do coque metalúrgico. A energia necessária ao aquecimento provém da queima do gás de coqueria – formado durante o processo de coqueificação – ou de uma mistura dos gases de coqueria com o de alto-forno. O aquecimento do carvão é feito de forma indireta, com o calor dos gases de combustão sendo transferido através das paredes dos fornos por condução. No caso de siderúrgicas como a CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão), onde todo o coque é produzido na própria planta, a grande complexidade dos processos envolvidos e a alta quantidade de energia necessária para a transformação em coque fazem com que o controle adequado das emissões e dos insumos consumidos na coqueria tenha impacto significativo sobre as emissões e consumo total da planta siderúrgica.

Em maio de 2003, o IPT-AET (Agrupamento de Engenharia Térmica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas) realizou um acompanhamento das emissões de CO, CO₂, O₂, NO_x e SO₂ nos gases de combustão provenientes dos fornos de coqueria durante 4 períodos completos de enformamento de coque. Dados adicionais como: amostras de carvão, coque, alcatrão, borra de alcatrão e COG e o consumo de carvão, produção de coque, gases voláteis, alcatrão e água amoniacal também foram coletados para análise. O objetivo foi utilizar esses dados para a realização de balanços de massa e energia das baterias, a identificação de possíveis causas da formação de poluentes e a proposição de medidas para a redução das emissões de poluentes e de consumo energético das baterias de coque.

2. Descrição das baterias de coque

A Figura 1 mostra genericamente o funcionamento de um forno de aquecimento das baterias de coque. O carvão mineral é alimentado e nivelado pelo topo das baterias e fica confinado em uma célula de coqueificação. Como mostra a Figura 2, esta célula é ladeada por fornos de aquecimento de onde calor proveniente da combustão é transferido através de condução pelas paredes para o processo de pirólise que ocorre dentro da célula. Uma bateria consiste em uma seqüência de 50 células de coque intercaladas com fornos de aquecimento. Cada forno é composto por 32 câmaras de combustão: 15 no lado de descarga do coque (LC) e 17 no lado da máquina de descarga do coque (LM), numeradas de 1 a 32 a partir do LM, como mostrado na Figura 2. Na CST, existem 3 baterias de produção de coque. A bateria 1 pode utilizar tanto o COG (gás de coqueria) ou o MG (gás misto - aproximadamente 10% de COG com 90% de gás de alto forno) como combustível. Já as baterias 2 e 3 queimam apenas COG. As células de coque possuem uma abertura maior no lado de descarga do coque (ver Figura 2) para facilitar a sua descarga. Isso significa que a parede de refratário que separa a célula do forno é mais espessa no LM do que no LC. A queima do combustível é feita em ciclos alternados: ora o ar e o combustível são admitidos pelo LM e os produtos descarregados no LC (ciclo LM→LC), ora ocorre o inverso (ciclo LC→LM). A Figura 1 ilustra o processo durante um ciclo LM→LC.

Quando o combustível queimado é o COG, o ar é admitido através de uma das caixas de fumaça (LM, no caso da Figura 1) que se encontra aberta para a atmosfera, passa através dos regeneradores LM para ser pré-aquecido e segue para a câmara de combustão. Na câmara de combustão, o COG a ser queimado é

injetado através bocais localizados na sua base e misturado com o ar quente. A mistura com o ar quente provoca a queima do COG e os gases de combustão resultantes transferem calor para as células de coqueificação. Após transferir calor ao processo, os gases, ainda com elevadas temperaturas, seguem aos regeneradores no LC que recebem e acumulam a energia restante dos gases para que seja utilizada no pré-aquecimento do próximo ciclo. Finalmente, os gases de combustão são direcionados para a caixa de fumaça e para a chaminé, onde são descarregados na atmosfera. Após vinte minutos, o ciclo se inverte através do fechamento da caixa LM e a abertura da caixa LC para a atmosfera. Assim, o ar passa a ser admitido pelo LC e a fumaça rejeitada pelo LM (ciclo LC→LM). Os regeneradores LM que antes pré-aqueciam o ar passam a acumular energia e os regeneradores LC começam a aquecer o ar com a energia acumulada no ciclo anterior. Durante o ciclo LM→LC, a combustão ocorre nas câmaras 1 a 17 e as demais recebem apenas os gases de combustão. No ciclo LC→LM, ao contrário, as câmaras 18 a 32 é que ficam ativas. A inversão de ciclo em cada bateria, durante o período de ensaio, era feita com uma defasagem de 5 minutos. Assim, cinco minutos após a inversão de ciclo na bateria 1, a bateria 2 invertia o ciclo. A bateria 3, por sua vez, invertia o ciclo cinco minutos após a bateria 2, ou dez após a bateria 1.

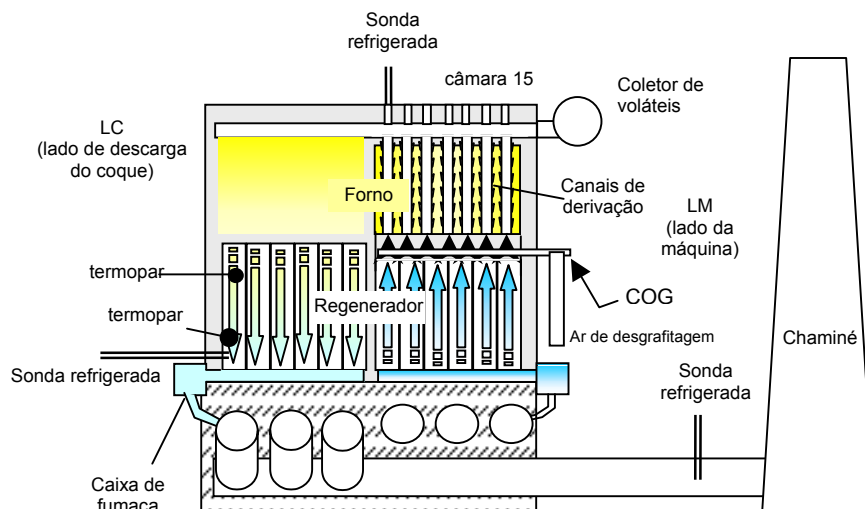


Figura 1: Desenho esquemático dos pontos de medição em uma célula dos fornos de coque.

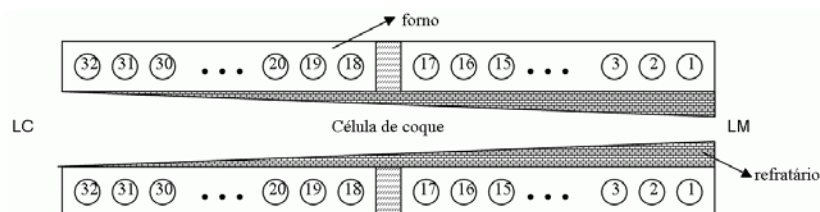


Figura 2: Distribuição das câmaras de combustão em um forno.

O carvão confinado nas células é aquecido durante cerca de 20 horas até 1000 °C, passando por um processo de pirólise que o transforma em coque. Ao fim deste período, as portas laterais da célula são abertas e o coque produzido é descarregado em carros no LC. Os carros transportam o coque incandescente até as torres de extinção, onde é resfriado e parte do calor sensível, recuperado.

Todo o processo gera, além do coque, gases e vapores, que são retirados das células através de um coletor de voláteis. Neste coletor, os gases e vapores são resfriados através da injeção direta de água. Os gases resultantes remanescentes

passam por um processo de limpeza que retira o material particulado, a amônia (gerando água amoniacal) e o naftaleno. Este gás, denominado COG, uma vez limpo, é utilizado como combustível nas próprias baterias de coque e em caldeiras de geração termelétrica da CST. O líquido condensado segue para decantadores onde é separado e limpo, gerando alcatrão, borra e licor amoniacal. O licor amoniacal produzido no processo de limpeza dos voláteis e do alcatrão é destilado e o vapor de amônia e gás sulfídrico resultantes são incinerados em uma caldeira de amônia. Os gases de combustão gerados são descarregados na chaminé. Existem duas chaminés: a chaminé 1 recebe o gás das baterias 1 e 2 e da caldeira de amônia, já a chaminé 2 recebe apenas os gases provenientes da bateria 3.

3. Avaliação das emissões

3.1. Introdução

A monitoração das emissões foi feita nas baterias 1 e 3 durante 4 períodos de 20 horas cada, o que corresponde, aproximadamente, a 4 períodos de enformamento de coque. Na bateria 1, a célula 44 foi monitorada durante 2 períodos de 20 horas, dos quais 1 período queimando COG e 1 período queimando MG. Na bateria 3, monitorou-se duas células (144 e 146) durante 20 horas cada.

Para a coleta dos gases, foram utilizadas sondas refrigeradas instaladas na saída dos gases no LC (próximo à caixa de fumaça LC), na entrada da chaminé e no topo do forno. A sonda do topo podia ser colocada em diferentes pontos do canal, sendo possível realizar uma varredura do mesmo. Durante as medições realizadas na bateria 1, notou-se que o comportamento dos fornos é diferente em cada ciclo, com emissões e temperaturas de descarga diferentes quando a admissão do ar é feita pelo LC ou pelo LM. Portanto, para a bateria 3, instalou-se um novo ponto de medição de temperatura e emissões no LM (próximo à caixa de fumaça LM).

3.2. Bateria 1 – célula 44

A Figura 3 a seguir mostra o comportamento típico dos teores de CO, O₂ e temperatura nos pontos de amostragem da célula 44 da bateria 1. Os três gráficos referem-se respectivamente às medições feitas na caixa de fumaça, câmara 20 e na entrada da chaminé. A numeração das câmaras pode ser vista na Figura 2.

Os gráficos de temperatura nas Figuras 3b e 3c mostram dois patamares de temperatura na caixa de fumaça LC. O patamar inferior indica que a combustão está ocorrendo na direção LC→LM (o ar de combustão entra pelo lado LC) e o patamar superior indica a inversão para o sentido LM→LC (o ar de combustão entra pelo lado LM). Sempre que ocorre a inversão, forma-se um pico na taxa de O₂, o que acontece porque, neste período, o gás é cortado para que o coque formado nas paredes dos fornos seja queimado. O teor de CO também apresenta um pico durante a inversão provavelmente porque a vazão de ar cai a zero antes de ser invertida enquanto que a queima, devido à alta temperatura, continua.

Ainda analisando-se os dados das Figuras 3b e 3c, pode-se perceber que há uma mudança nos valores de emissão quando se compara os valores na caixa de fumaça e na chaminé. Essa mudança é explicada pelo fato das emissões da chaminé englobarem todas as 50 células da bateria enquanto que na caixa de fumaça mede-se apenas as emissões da célula 44. Ou seja, os valores da chaminé refletem a média dos valores de emissão de todos os fornos da bateria.

Após o acompanhamento feito com o COG, houve uma troca de combustível para o MG e o monitoramento da célula 44 foi novamente realizado com o novo combustível. Qualitativamente, o comportamento das emissões é o mesmo tanto

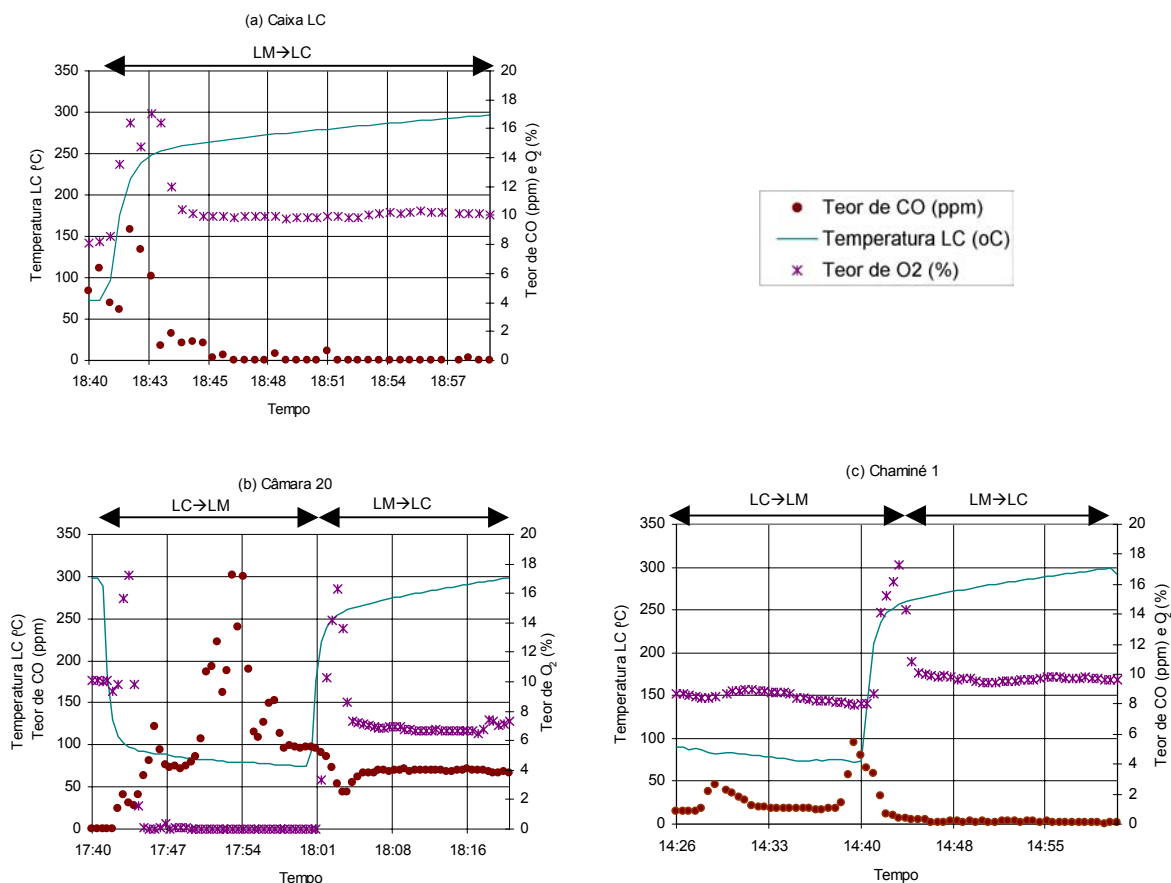


Figura 3: Composição dos gases da célula 44: a) caixa LC, b) câmara 20 e c) chaminé 1 (combustível: COG).

com o MG quanto com o COG, com emissões maiores quando o ar está entrando pelo LC e, portanto, os gráficos não serão apresentados. Os valores médios das emissões na caixa LC e na chaminé estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Observando-se essas tabelas, nota-se que existe um aumento na emissão de CO e uma diminuição na porcentagem de O₂ com a entrada do MG, tanto na caixa de fumaça LC quanto na chaminé 1. Isso ocorre porque os teores de CO e CO₂ do MG são muito elevados. A emissão de NO_x, por sua vez, diminui, o que indica que o MG possui menos componentes que favoreçam a sua formação. Já a emissão de particulado praticamente não aumenta com o MG, mesmo com o menor excesso de ar. Isso ocorre porque o MG tem teores de CO elevados e baixos valores de CH₄ e outros hidrocarbonetos, o que diminui a propensão à formação de fuligem.

Uma outra observação importante é que teor de CO na chaminé é muito maior que o teor observado na caixa de fumaça da célula 44, como pode ser visto comparando-se os valores das Tabelas 1 e 2. A única explicação possível para tais números é que, com a entrada do MG, algumas células da bateria 1 operam em condições severamente sub-estequiométricas, provocando o aumento do teor de CO na chaminé 1. Isso significa que a regulagem de cada célula varia muito, o que faz com que a mudança da tiragem para o controle das emissões seja ineficiente. A

Tabela 1: Teores médios na caixa LC: COG x MG.

Ciclo	Combustível	Teores médios dos gases					Particulado (mg/Nm ³)
		CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	
LM→LC	MG	17,7	58	159	4,1	3	43
	COG	3,9	123	170	10,1	0	36

Tabela 2: Teores médios na chaminé 1: COG x MG.

Ciclo	Combustível	Teores médios dos gases					Particulado (mg/Nm ³)
		CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	
LM→LC	MG	18,1	68	140	4,9	768	43
	COG	3,9	118	149	10,3	11	36
LC→LM	MG	19,0	78	138	4,1	798	43
	COG	4,7	114	152	8,5	26	36

diminuição da tiragem diminui as perdas da bateria mas faz com que algumas células trabalhem em condições sub-estequiométricas. Já o aumento da tiragem provoca uma redução nas emissões, porém algumas células passam a operar com muito excesso de ar, o que reduz a eficiência da bateria.

3.3. Bateria 3 – células 144 e 146

O comportamento geral observado nas células 144 e 146 é o mesmo da célula 44. O que muda são os valores médios das emissões. As Tabelas 3 e 4 a seguir mostram os dados para as células 144 e 146, respectivamente. Como dito anteriormente, nesta bateria também a caixa LM foi monitorada.

Tabela 3 – Teores de O₂ e CO médios na célula 144 (combustível: COG).

Ciclo	Ponto de medição	Teores médios dos gases					Temperatura (°C)
		CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	
LM → LC	Caixa LC	5,0	102	220	6,3	0	220-100*
	Chaminé 2	5,0	101	149	6,2	3	250
LC → LM	Caixa LM	5,7	106	227	4,8	3	200-80*
	Chaminé 2	5,3	96	145	5,3	3	240

*Máximo e mínimo

Tabela 4 – Teores médios dos gases na célula 146 (combustível: COG).

Ciclo	Ponto de medição	Teores médios dos gases					Temperatura (°C)
		CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	
LM → LC	Caixa LC	4,3	59	187	9,1	0	280-130*
	Chaminé 2	5,2	105	146	6,8	2	255
LC → LM	Caixa LM	4,9	107	236	7,3	2	370-300*
	Chaminé 2	5,4	91	148	6,2	12	245

*Máximo e mínimo

Analisando-se os teores de CO tanto nas caixas de fumaça como na chaminé, nota-se que os valores são muito menores que os medidos na célula 44, o que significa que as células 144 e 146 estão mais bem ajustadas. Além disso, com a medição da temperatura no LM, pôde-se verificar que as temperaturas dos gases de escape nas caixas de fumaça são diferentes quando se compara o LM com o LC. No caso da célula 146 essa diferença é significativa, como pode ser visto comparando-se os valores de temperatura das caixas LC e LM na Tabela 4. A maior temperatura na caixa de fumaça LM pode estar relacionada à elevação da vazão de combustível no ciclo LC→LM.

A comparação entre os valores das Tabelas 3 e 4 enfatiza a diferença de comportamento de cada célula. Apesar de os valores das emissões na chaminé 2 serem sempre muito semelhantes, indicando um comportamento constante da bateria, cada célula apresenta teores de gases e temperaturas na caixa de fumaça bastante diferentes umas das outras. Isso mostra que, apesar da bateria 3 funcionar de forma constante, sem grandes alterações de comportamento, cada célula apresenta uma regulação e um comportamento diferente.

Durante o monitoramento da célula 146, também se realizou um estudo sobre o efeito da tiragem da chaminé sobre o comportamento dos fornos. Para tanto, diminuiu-se a tiragem da chaminé 2 para verificar o seu efeito no processo de

combustão. Como mostra a Tabela 5, essa redução provocou um grande aumento nos teores de CO na chaminé 2 enquanto que, na célula 146, a redução no teor de O₂ não prejudicou as emissões. Isso significa que muitas células apresentavam regulagens com menor excesso de ar que a célula 146. Dessa forma, a redução da tiragem provocou falta de oxigênio nessas células, mas não na 146. O aumento da tiragem não acrescentou ganhos significativos em relação à tiragem normal.

Tabela 5: Influência da tiragem nas emissões da célula 146 e bateria 3.

Tiragem Normal							
	Ciclo	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	O ₂ (%)	CO (ppm)	Particulado (mg/Nm ³)*
Caixa LC	LM/LC	3,9	60	188	10,3	1	-
Chaminé 2	LC/LM	4,9	88	179	7,9	9	21
	LM/LC	4,7	100	143	8,3	1	14
Tiragem Reduzida							
Caixa LC	LM/LC	4,3	59	201	9,1	1	-
Chaminé 2	LC/LM	5,6	79	195	6,1	178	132
	LM/LC	5,0	92	155	7,5	62	31

4. Balanços de massa e energia

Para o cálculo dos balanços, considerou-se que não há infiltração de gases voláteis gerados durante a pirólise para as câmaras de combustão. Assim, existem dois fluxos materiais independentes: um do lado do carvão, que gera coque e voláteis, e outro do lado do combustível, que gera gases de combustão. Os dois fluxos trocam apenas energia na forma de calor, quando os gases gerados na combustão fornecem calor para o processo de pirólise do carvão.

No lado do carvão, todo o carvão enforado deve se transformar em coque, alcatrão, gases e licor amoniacal. O licor amoniacal segue para as colunas de destilação, onde o vapor amoniacal e gás sulfídrico são separados para serem queimados. Estas colunas também tratam o composto gerado nos lavadores de amônia que limpam os gases voláteis para que possam ser utilizados como combustível. Este composto, no entanto, não foi levado em conta nos balanços por não haver informação sobre sua produção. Considera-se que os produtos da pirólise do carvão saem todos a uma temperatura de 1000 °C, que é a temperatura aproximada dentro das células.

No lado do combustível, entram COG (ou MG) e ar nos fornos da bateria e são gerados gases de combustão que, após trocar calor com as células de carvão, são rejeitados e seguem para a chaminé. As vazões de ar e de gases de combustão não são conhecidas mas foram estimadas a partir da composição e vazão dos gases combustíveis. Considera-se que o combustível e o ar de combustão entram nos fornos à temperatura de 25 °C.

As Tabelas 6 e 7 mostram os balanços de massa do lado do carvão e do combustível. Como pode ser visto, existe uma boa concordância entre os valores que entram e saem da bateria.

A Tabela 8 mostra os valores obtidos para o balanço energético. Os valores do balanço para a câmara de combustão e célula de coqueificação são apresentados separadamente. O balanço total para a bateria 1 também está apresentado na última linha da tabela. Como pode ser visto, a diferença entre a energia sensível que entra e sai do sistema é de cerca de 34%. Já a energia química apresenta uma diferença de cerca de -14%. Isso leva a crer que a diferença no calor sensível é provocada devido a processos exotérmicos que ocorrem durante a

Tabela 6: Bateria 1: balanço de massa do lado do carvão.

Corrente	Vazão (kg/h)		
	Entrada	Saída	Erro (%)
Carvão	71088,9		
Coque		54005,5	
Voláteis		10402,2	
Alcatrão		2338,1	
Corrente Amoniacal		95,4	
Borra		44,4	
Umidade evaporada		1708,3	
Total	71088,9	68593,9	-3,5

Tabela 7: Bateria 1: balanço de massa do lado do combustível.

Corrente		Vazão	
		Kg/h	Nm ³ /h
Combustível (COG)		4237,1	9415,7
Ar*	combustão	107333,5	82804,2
	desgrafitagem**	862,4	665,4
	total	108195,9	83470,2
Gases de combustão*		112432,9	92553,8

* Calculado **Estimativa

Tabela 8: Balanço energético da bateria 1.

Fluxo		Potência (MW)	
		Entrada	Saída
Câmara de combustão			
Potência fornecida pelo combustível ($M_{\text{comb}} \cdot PCI_{\text{comb}}$)		51,4	
Calor sensível do ar de combustão		0,76	
Calor sensível dos gases de combustão			8,0
Célula de coqueificação			
Carvão	Calor sensível	0,76	
	Energia química	643,7	
Coque	Calor sensível		25,3
	Energia química		430,5
Umidade evaporada do carvão	$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}$	2,2	
Gases	Calor sensível		17,6
	Energia química		141,7
Alcatrão + Borra	Calor sensível		1,2
	Energia química		25,0
Amônia	Calor sensível		0,1
	Energia química		0,7
Diferença (Saída – Entrada)	Calor sensível	45,6	
	Energia química	-45,8	
Perdas			
Perdas para o ambiente (Q_p)			18,8
Total			
Sensível		52,9	71,0
Químico		643,8	600,1
Soma		696,7	671,1

produção do coque. Observando o total de energia sensível que sai do sistema, é possível perceber que grande parte do calor utilizado sai do sistema na forma de calor sensível associado ao coque (35%) e ao gases voláteis (24%). As perdas por ambiente (26%) também são muito elevadas. O balanço global entre tudo o que entra e sai do sistema mostra uma diferença de cerca de -3,6%.

A energia sensível que deixa o sistema associada aos gases de combustão, apesar de elevada, dificilmente poderia ser aproveitada devido à sua baixa temperatura (em torno de 200 °C). No entanto, a regulagem dos fornos para evitar temperaturas de descarga muito elevadas é importante para a economia de combustível.

5. Conclusões

Em quase todas as situações observadas, os ciclos (LM/LC e LC/LM) têm comportamento diferentes, com maiores emissões quando o ar é admitido pelo LC devido à maior injeção de combustível no ciclo LC/LM. Uma forma de evitar o aumento nas emissões é mudar a regulagem do sistema de forma a garantir que a vazão de ar no LC seja maior.

Uma outra característica que chama a atenção é o comportamento independente que cada célula apresenta. As temperaturas dos gases de combustão em cada célula são diferentes. Mesmo comparando-se os gases no LC e no LM de uma mesma célula, muitas vezes as temperaturas dos gases são diferentes. Dessa forma, as células devem ser reguladas uma a uma e para cada ciclo, de forma a reduzir a temperatura dos gases de escape. Para as condições de operação encontradas, a cada 100 °C a mais nos gases de escape há um desperdício de cerca de 5% da energia total fornecida pelo combustível. A regulagem também deve ser feita de forma a manter a temperatura dos gases de combustão nos ciclos LC/LM e LM/LC semelhantes, caso contrário a vazão de ar pode ser insuficiente em um dos lados, para uma mesma tiragem. Mantendo-se as células reguladas de forma a terem um mesmo comportamento, é possível atuar sobre a tiragem e saber qual será o efeito sobre todas as células, o que permite reduzir ao mínimo a tiragem.

O balanço energético das baterias mostra que a maior parte da energia fornecida pelo combustível é acumulada pelos produtos do processo, saindo do sistema na forma de calor sensível. Deste total, cerca de 35% da energia sai associada ao coque e 25% aos gases voláteis.

Baseado nas recomendações do IPT, a partir de agosto de 2003 os técnicos da CST passaram a utilizar um analisador de gases portátil para o controle dos gases em todas as paredes de aquecimento, tanto do lado máquina como do lado coque. O principal resultado conseguido foi uma redução na emissão média de particulado. A média dos meses de janeiro a abril em 2003 e em 2004 diminuiu de 38 para 33 mg/Nm³ na chaminé 1 e de 21 para 19 mg/Nm³ na chaminé 2, mesmo tendo havido um aumento no índice operacional (ritmo de produção) em 2004.

6. Referências bibliográficas

Perry, R.H. e Chilton, C.H., "Manual de Engenharia Química", Ed. Guanabara Dois S.A., 1980.

HOTTEL, H.C. e HOWARD, J.B., "New Energy Technology", MIT Press, Cambridge, Mass., 1971.

USHIMA, A.H., "Modelagem e Simulação de Pirólise e Secagem de Biomassa em um Gaseificador de Leito Movente Contracorrente", Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

EVALUATION OF COMBUSTION, GASEOUS POLLUTANT EMISSION AND ENERGY BALANCE IN COKE OVENS

**Ademar Hakuo Ushima
Carlos Henrique Sampaio d'Andréa
Celso Yukio Nakashima
Donizete Macedo Costa
José Maria Clemente
Marcos Azevedo Tackla
Mário Liévana
Odilon José da Silva
Orlando Brandenberger Valente
Paulo Guilherme Mazza**

Abstract: The Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) produces all metallurgical coke consumed in its steel plant by making use of 3 batteries of coke production. In May of 2003, the Institute for Technological Research's Thermal Engineering Team monitored the emissions of CO, CO², O², NO_x and SO² of the combustion products in these batteries. This monitoring aimed the calculation of mass and energy balances in the batteries, the identification of possible causes for pollutant emissions and suggestions for the reduction of pollutant emission and energy consumption in the coke batteries. For this purpose, emitted gases were monitored in the smoke boxes, at the oven top and in the chimney inlet. The monitoring was carried out continuously during 4 periods of 20 hours, which corresponds approximately to 4 periods of coking. Besides this monitoring, samples of coal, coke, tar, tar liquor and COG were collected for analysis. Consumption data for coal, coke production, volatiles, tar and ammonia liquor were supplied by CST through daily reports obtained in the management system of the batteries. Complementary tests (COG, ammonia liquor and coke analysis) were done by CST.

Keywords: pollutant emission, energy balance, coke oven.