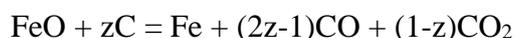


# EXERCÍCIOS DE FÍSICO-QUÍMICA

## ESTEQUIOMETRIA/BALANÇO DE MASSA

- A análise de uma mistura gasosa redutora, em base volumétrica, é 70% H<sub>2</sub>, 15% CO, 5% CO<sub>2</sub>, 5% H<sub>2</sub>O e 5% N<sub>2</sub>. Expresse a composição da mistura gasosa em:
  - Porcentagem molar;
  - Porcentagem em peso.
- Uma amostra de minério de ferro contém Fe, Si e O. Sua análise mostra que o ferro está presente a 68%. Assumindo que todo o oxigênio presente está na forma de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>, pede-se:
  - Calcule a % de SiO<sub>2</sub> do minério;
  - Expresse a composição do minério em % molar.
- A composição do ar seco é 78,09% N<sub>2</sub>, 20,94% O<sub>2</sub>, 0,93% Ar, 0,0018% Ne, 5,2x10<sup>-4</sup>% He, 1x10<sup>-4</sup>% Kr e 5x10<sup>-5</sup>% H<sub>2</sub>. Encontre a massa molecular média do ar assim como a sua densidade média. Supor que o ar comporta-se como gás ideal.
- A solubilidade do nitrogênio no ferro líquido a 1600°C e 1 atm de pressão é 0,0451%. Calcule o volume de N dissolvido em 1 kg de Fe líquido nas condições especificadas. Expresse o volume em cm<sup>3</sup>.
  - CNTP;
  - 1600°C e 750 mmHg.
- Os depósitos de minério de Cu nos EUA no início da década de 90 continham em média 0,5% Cu. O consumo de Cu neste período foi de 2,7 milhões de t. Assumindo que 2/3 da demanda de Cu é proveniente de minério, calcule a quantidade de minério que deve ser processado por ano. Assuma que a recuperação é de 84%
- Pirita, FeS<sub>2</sub>, Ocorre naturalmente com uma pureza de 93,6%. Quantos kg de enxofre estão presentes em 1 t deste minério. Se a pirita é completamente oxidada a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>, quais são as quantidades desses produtos por t de pirita?
- Ferro pode ser produzido pela redução da wüstita(Fe<sub>0,94</sub>) com CO. Calcule a massa de wüstita necessária e o volume de CO consumido para produzir 1 t de Fe.
- Um alto-forno produz 2400 t de gusa por dia. A análise química do gusa é: 92,9% Fe;4% C;1,38% Si;0,9% P;0,8% Mn; 0,02% S. O minério carregado contém 72,2% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9,6% SiO<sub>2</sub>, 7,8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6,2% H<sub>2</sub>O, 3,1% MnO e 1,1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O coque contém 89% C, 8% SiO<sub>2</sub>, 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 1% FeS. O calcário contém 96,5% CaCO<sub>3</sub> e 3,5% SiO<sub>2</sub>. O alto-forno é alimentado com 1800 e 1200 t de coque e calcário por dia, respectivamente. Adicionalmente, 98,5% de todo o Fe que entra, sai efetivamente como gusa. Calcular:
  - O consumo diário de minério;
  - A geração diária de escória e a sua composição química, supondo que ela não contenha carbono.
- A wüstita(FeO) é reduzida diretamente a Fe metálico por carbono sólido. A estequiometria da reação é:



O produto gasoso contém 75% de CO e 25% de CO<sub>2</sub>. Calcular:

- O valor de z;

b. A quantidade de C necessário para produzir 1 t de Fe

10. Calcário é calcinado num forno rotativo queimando gás natural. O forno produz 280 t de cal virgem por dia. O calcário tem uma composição de 96%  $\text{CaCO}_3$ , 2%  $\text{SiO}_2$ , 1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e 1%  $\text{H}_2\text{O}$ . Calcular:

a. O consumo diário de calcário;

b. A análise química da cal produzida.

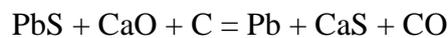
11. Um conversor de cobre é carregado com 100 t de mate contendo 55%  $\text{FeS}$  e o resto em  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Os sulfetos são oxidados, soprando ar no conversor, a  $\text{FeO}$  e  $\text{Cu}$ . Calcular:

a. O volume necessário de ar;

b. O volume de  $\text{SO}_2$  formado;

c. A massa de  $\text{Cu}$  e faialita ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) da escória formada.

12. Sulfeto de  $\text{Pb}$  pode ser reduzido diretamente a  $\text{Pb}$  de acordo com a seguinte reação química:



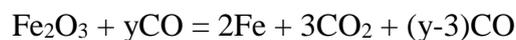
Calcular, por tonelada de  $\text{Pb}$ :

a. A massa de  $\text{PbS}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{C}$  necessários;

b. A massa de  $\text{CaS}$  produzida;

c. O volume de  $\text{CO}$  formado.

13. Num alto-forno ideal, hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é reduzida a  $\text{Fe}$  por  $\text{CO}$ . O  $\text{CO}$  é produzido pela combustão do  $\text{C}$  com ar. Para conseguir uma redução completa da  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , um excesso de  $\text{CO}$  deve estar presente. A reação que representa o processo é:



A relação  $\text{CO}/\text{CO}_2$  da mistura gasosa é igual a 1,6, em volume. O forno produz 2000 t por dia.

a. Determinar o valor de  $y$ ;

b. Calcule os volumes, em  $\text{Nm}^3$ , de  $\text{CO}$  em excesso e  $\text{CO}_2$  produzidos diariamente;

c. Calcule o consumo de coque, por t de  $\text{Fe}$ , sabendo que ele contém 88% de  $\text{C}$ ;

d. Encontre o volume, em  $\text{Nm}^3$ , do ar necessário para a produção de  $\text{CO}$ , por t de  $\text{Fe}$ ;

e. Se o forno foi carregado com calcário em  $\frac{1}{4}$  do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  reduzido, qual é a relação final  $\text{CO}/\text{CO}_2$  do gás de saída.

14. Deseja-se preparar 100 kg de uma liga  $\text{Cu}35\%\text{Zn}$ . Para tanto dispõe-se de 60 kg de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , 20 kg de  $\text{Cu}$  eletrolítico, 48 kg de  $\text{ZnS}$ , 6,93 kg de  $\text{Si}$  metalúrgico, 47 kg de grafita e 10 kg de  $\text{Zn}$  eletrolítico. Para o barateamento da produção da liga, os componentes de  $\text{Cu}$  e  $\text{Zn}$  foram totalmente utilizados. Todo o  $\text{Cu}_2\text{O}$  foi reduzido com  $\text{Si}$  e o  $\text{ZnO}$ , produzido pela ustulação do  $\text{ZnS}$ , foi reduzido pelo  $\text{Si}$  restante e pelo carbono. Pede-se:

a. O volume de oxigênio utilizado na ustulação do  $\text{ZnS}$  ( $\text{Nm}^3$ );

b. O volume e a composição química do gás de saída da ustulação, sabendo que o oxigênio foi fornecido pelo ar (80%  $\text{N}_2$  e 20%  $\text{O}_2$ );

c. A massa e a composição química da escória formada após a produção da liga, sabendo que a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é neutralizada com fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) numa relação de 10/1 ( $\text{CaF}_2/\text{SiO}_2$ );

d. A massa das matérias primas que sobraram após a produção da liga.

15. A carga de um alto-forno contém 160 kg de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 54 kg de  $\text{SiO}_2$ , 20 kg de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 78 kg de  $\text{C}$  além de uma quantidade estequiométrica de ar (80%  $\text{N}_2$  e 20%  $\text{O}_2$ ). O gusa

- produzido contém 4% C e 1% Si. Os óxidos remanescentes formam uma escória sem Fe e C. O carbono está presente no gás de saída na forma de CO<sub>2</sub>. Calcular:
- A massa de gusa;
  - A massa e a composição química da escória;
  - O volume e a composição química do gás de saída.
16. Carrega-se de um conversor a oxigênio contendo com 200t de gusa contendo 92,9% Fe;4% C;1,38% Si;0,9% P;0,8% Mn; 0,02% S, 50t de sucata de aço contendo 0,1% C e 10t de cal. O aço produzido contém 0,05% C, 0,03% P, 0,2% Mn e 0,03% S. Determinar:
- O volume de O<sub>2</sub> soprado;
  - A massa e a composição química da escória formada
17. Um conversor a oxigênio é carregado com 200t de gusa contendo 4,2% C;1,5% Si;0,4% P;0,8% Mn e 20 t de sucata contendo 0,2% C. A carga foi soprada com oxigênio (98% puro) a uma taxa de 1t/min. O sopro oxidava inclusive o Fe da carga (4% do gusa) na forma de FeO. Os gases continham CO e CO<sub>2</sub> numa proporção de 9:1. Assuma que foi adicionada cal para formar uma escória contendo 38%CaO. Calcule:
- A quantidade de oxigênio utilizado;
  - A massa e a composição da escória
18. Um concentrado de Zn contendo 68% ZnS, 4% PbS, 2% CdS, 5% FeS, 4% FeS<sub>2</sub>, 10 % SiO<sub>2</sub> e 7% H<sub>2</sub>O é ustulado num reator de leito fluidizado. O produto ustulado contém CdO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PbO, PbSO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZnO e ZnO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. O Pb está dividido igualmente em PbO e PbSO<sub>4</sub>. Pede-se:
- A necessidade teórica de ar;
  - O volume e a composição química do gás de ustulação quando se utiliza 15% de excesso de ar;
  - Idem para o ar enriquecido com O<sub>2</sub> (28% de O<sub>2</sub>) e 10% em excesso.
- Utilize como base de cálculo 1 t de concentrado.
19. Calcário com 56% de CaO e 49% de CO<sub>2</sub> é calcinado em um forno rotativo. Para cada kg de calcário, 150 g de óleo combustível com 85% de C e 15% de H<sub>2</sub> são usados e o volume do ar de combustão é de 2,10 Nm<sup>3</sup>. O combustível queima completamente a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O os quais se misturam ao CO<sub>2</sub> gerado pela calcinação. Calcule, em Nm<sup>3</sup>, o volume do gás de calcinação assim como a sua composição química na base úmida e seca. Supõe-se que o ar contenha 21% O<sub>2</sub> e 79% N<sub>2</sub>.
20. Um minério de Cu contém 1,5% de Cu. Após a sua preparação, 4,5% de concentrado, com 30% de Cu são obtidos a partir de 100kg de minério. Calcular:
- A razão de concentração;
  - A recuperação;
  - A massa e a %Cu da ganga
21. Expresse em fração atômica a composição química de um ferro fundido cinzento comum.
22. Calcule a quantidade de oxigênio por tonelada de aço necessária para descarburar um aço de 0,3% para 0,04% de C.
23. Deseja-se produzir 50lb de Zn reduzindo carbotermicamente um minério contendo 56% ZnO. O redutor contém 90% de C fixo e 10% de cinzas. É usado redutor com um excesso de 400%. Pede-se calcular:
- A massa de minério da carga;

- b. A % de redutor na carga;  
c. O volume de CO gerado em  $\text{ft}^3$ .
24. Um conversor recebe 6 t de mate contendo 54% FeS, onde o FeS é oxidado por sopro de ar conforme a reação:
- $$2\text{FeS} + 3\text{O}_2 = 2\text{FeO} + 2\text{SO}_2$$
- a. Qual o volume de ar necessário? ( $\text{Nm}^3$ )  
b. Volume de  $\text{SO}_2$  formado?  
c. Quantos kg FeO formado?  
d. Peso da escória formada (t), FeO = 65% de escória
25. Óxido de ferro é reduzido para Fe em forno elétrico de acordo com a reação:
- $$4\text{Fe}_2\text{O}_3 + 9\text{C} = 8\text{Fe} + 6\text{CO} + 3\text{CO}_2$$
- a. kg de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para 1 t de Fe  
b. kg de C  
c. kg de CO e  $\text{CO}_2$   
d.  $\text{m}^3$  de CO e  $\text{CO}_2$  formados (CNTP)
26. Calcular o volume de  $\text{O}_2$  necessário para descarburar 100 toneladas de gusa contendo 4,5%C, 0,4%Si e 0,1%P assim como a composição química da escória sabendo que ela contém cerca de 20% do Fe do gusa vai para a escória. Os teores finais do aço produzido são: 0,01%C, 0,03%Si e 0,03%P.
27. Calcular a quantidade anual de carepa necessária para abaixar o teor de Si do gusa de 0,4% para 0,01% sabendo que a produção do AF é de 5 milhões de toneladas e que o rendimento de dessiliciação é de 80%.
28. Calcular a quantidade de  $\text{CaC}_2$  necessário para dessulfurar 100 t de gusa de 0,06% para 0,005%S.
29. Um conversor a oxigênio é carregado com 200 t de gusa líquido e 20 t de sucata. A composição química da carga é:
- Gusa líquido: 4,2%C; 1,5%Si; 0,8%Mn; 0,4%P
  - Sucata: 0,2%C

A carga foi soprada com  $\text{O}_2$  com pureza de 98% a uma taxa de 1t/min. O sopro oxidou todo C, Mn, Si e P assim como 4% do Fe do gusa líquido. Todo o FeO assim formado foi para a escória. Os gases continham CO e  $\text{CO}_2$  na proporção de 9:1. Assuma que foi adicionada cal para que a escória contivesse 38% de CaO. Calcule:

- a. A quantidade de  $\text{O}_2$  utilizada;  
b. O tempo de sopro;  
c. A massa e a composição química da escória

## **1ª LEI DA TERMODINÂMICA - BALANÇO TÉRMICO**

30. Estudando-se a variação de  $c_p$  para o ouro sólido, chegou-se à conclusão que, entre 298 e 1336 K é válida a relação:

$$c_p = 5,66 + 1,24 \cdot 10^{-3} T \text{ (cal/mol.K)}$$

- Calcular a capacidade calorífica média do ouro, entre 298 e 1000 K; (6,46 cal/mol.K)
- Com os dados acima, calcular a variação de entalpia de 100 g de ouro, quando aquecido entre 25°C a 700°C. (2869 cal)

31. Medidas calorimétricas efetuadas com prata sólida pura resultaram nos seguintes valores:

T(K)	$c_p$ (cal/mol.K)
298	6,103
400	6,131
500	6,254

Deduzir uma expressão do tipo  $c_p = a + bT + cT^{-2}$  para a prata sólida, no intervalo 298-500 K.

32. Sabendo-se que a capacidade calorífica do cobre sólido é dada pela equação:

$$c_p = 5,41 + 1,50 \cdot 10^{-3} T \text{ (cal/mol.K) - (298-1356 K)}$$

Determinar:

- Capacidade calorífica média do cobre entre 25 e 500°C;
  - Idem entre 25 e 1000°C.
- Calcular a energia necessária para fundir 100 t de aço a 1650°C.
  - Determinar a quantidade de sucata de aço necessária para resfriar 200t de aço líquido de 1700°C a 1650°C.
  - Em uma panela contendo 1 t de aço são injetados 1000 NI/min de argônio durante 40 min. Admitindo que a temperatura do aço inicial é 1600°C e que o argônio sai da panela a 1000°C, calcule a temperatura do aço após tratamento. Despreze as perdas térmicas.
  - Determinar a quantidade de energia necessária para fundir 100 kg de aço com a seguinte composição química: 2%C, 2%Mn, 1%Si, 5%Cr, 5%Mo e 5%W sabendo que a sua  $T_{\text{fusão}} = 1320^\circ\text{C}$ .
  - Um recipiente adiabático contém 1000 g de alumínio líquido a 700°C. Calcular a massa de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a 25°C que, ao ser adicionado ao alumínio líquido, eleva a temperatura da mistura resultante para 1000°C. (181 g).
  - Determinar o calor de reação de  $\text{Na}_2\text{O}$  sólido puro com HCl gasoso a 1 atm, formando NaCl e água a 25°C. Os calores de formação a 25°C em kcal/mol são: (-120,82 kcal/mol  $\text{Na}_2\text{O}$ )

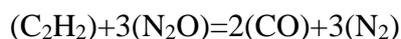
$\langle \text{NaCl} \rangle$	-98,6	(HCl)	-22,00
$\langle \text{Na}_2\text{O} \rangle$	-100,7	{ $\text{H}_2\text{O}$ }	-68,32
  - Calcular o calor de formação de  $\text{PbO}_2$  sólido a partir de chumbo sólido e oxigênio a 1 atm de pressão e 25°C. (-66,1kcal)

Reação	$\Delta H^\circ_{298}$ (kcal)
$\langle \text{Pb} \rangle + (\text{O}_2) = \langle \text{PbO} \rangle$	-52,4
$3\langle \text{PbO} \rangle + (\text{O}_2) = \langle \text{Pb}_3\text{O}_4 \rangle$	-18,4



40. Avaliar a entalpia da reação de formação de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a  $1900^\circ\text{C}$  e o calor necessário para elevar a temperatura de 1 mol deste óxido de 10 a  $1900^\circ\text{C}$ . (-215.150 kcal/mol; 57.800 kcal/mol).
41. Um banho de Cu líquido é superesfriado a  $5^\circ\text{C}$  abaixo do seu ponto de fusão. A nucleação de cobre sólido e o restante da solidificação ocorrem sob condições adiabáticas. Qual é a % do banho que se solidifica? (1,21% molar)
42. Encontre o calor de reação quando a austenita é oxidada por oxigênio puro formando FeO sólido a  $1350^\circ\text{C}$ . ( a  $25^\circ\text{C}$ ,  $\Delta H = -46979$  cal/mol).
43. Um gás de alto forno a  $600^\circ\text{C}$  é reaproveitado num forno de aquecimento de placas pela sua queima estequiométrica com ar a  $25^\circ\text{C}$ . Os fumos saem a  $1050^\circ\text{C}$ . A composição volumétrica do gás de alto forno é: 20%  $\text{CO}$ , 10%  $\text{CO}_2$  e 70%  $\text{N}_2$ . Supondo que a composição do ar seja 20%  $\text{O}_2$  e 80%  $\text{N}_2$ . Fazer o balanço térmico. ( $\Delta H_{\text{útil}} = -572669,4$  cal)
44. Um gás de alto forno a  $600^\circ\text{C}$  é reaproveitado num forno de aquecimento de placas pela sua queima estequiométrica com ar a  $25^\circ\text{C}$ . A composição volumétrica do gás de alto forno é: 20%  $\text{CO}$ , 10%  $\text{CO}_2$  e 70%  $\text{N}_2$ . Supondo que a composição do ar seja 20%  $\text{O}_2$  e 80%  $\text{N}_2$ . Calcular a temperatura teórica de chama. ( $1478^\circ\text{C}$ ).
45.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  puro reage com uma quantidade estequiométrica de Al, ambos inicialmente a  $25^\circ\text{C}$ , produzindo alumina e cromo líquido puro. Se a máxima temperatura obtida no cadinho foi de  $1900^\circ\text{C}$ , calcular o calor perdido para o meio por kg de Al. ( $\Delta H = -41668,4$  cal/mol ou perdas de  $7,72 \times 10^5$  cal/kg Al; a temperatura dos produtos seria de  $2235,1^\circ\text{C}$ ).
46. Vapor a  $100^\circ\text{C}$  é borbulhado em uma piscina com água a  $15^\circ\text{C}$  de dimensões de  $25 \times 9 \times 1,5$  m. A temperatura da água é elevada para  $20^\circ\text{C}$ . Encontre a massa de vapor utilizado ( $m_{\text{vapor}} = 4,69 \times 10^4$  kg).
47. Um rapaz deseja tomar banho de banheira com água a temperatura de  $30^\circ\text{C}$  misturando água quente com água fria. Inicialmente ele coloca na banheira 100L de água fria a  $20^\circ\text{C}$ . Desprezando a capacidade térmica da banheira e a perda de calor de água pergunta-se:
- Quantos litros de água quente a  $50^\circ\text{C}$  deve colocar na banheira?
  - Se a vazão da torneira de água quente é  $0,20\text{L/s}$  durante quanto tempo a torneira deveria ficar aberta?
48. Cinquenta gramas de vapor a  $100^\circ\text{C}$  passam em um calorímetro adiabático contendo 200 g de gelo e 100 g de água a  $0^\circ\text{C}$ . Encontre a temperatura final da água.
49. Um banho de Al puro é resfriado em direção ao seu ponto de fusão numa velocidade constante de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ . Assumindo que a velocidade de perda de calor permaneça constante e que o equilíbrio é mantido durante o processo de solidificação, calcule o tempo para a solidificação isotérmica do banho e a velocidade de resfriamento logo após a solidificação.

50. Durante o esmerilhamento de aços, fagulhas são geradas como um resultado do lançamento de partículas de ferro líquido a altas velocidades reagindo com o oxigênio do ar formando FeO líquido. Assumindo que a ação de esmerilhamento aumenta a temperatura das partículas de Fe a 1600°C, qual é a máxima temperatura atingida pela fagulha em ar a 25°C? Que hipóteses foram feitas para os cálculos?
51. Um gás com 5% CO<sub>2</sub>, 25% CO, 2% H<sub>2</sub>O, 14% H<sub>2</sub> e 54% N<sub>2</sub> é alimentado em um forno a 700°C. É desejado aquecer o forno tão rápido quanto possível, mas a máxima temperatura da chama não deve exceder 1600°C ou o refratário do forno se amoleceria. Qual é o volume mínimo de ar a ser alimentado no forno para cada 28,32 Nm<sup>3</sup> de gás para tanto? Assuma que as capacidades térmicas variem linearmente com a temperatura.
52. Se FeO é aquecido a 1000°C e exposto a uma mistura de CO e H<sub>2</sub> em proporções adequadas, ele pode ser reduzido a metal sem qualquer suprimento de energia (ou seja, o processo é autógeno ou termicamente auto-suportado). Encontre a relação ótima p<sub>CO</sub>/p<sub>H<sub>2</sub></sub> (onde p<sub>CO</sub>+p<sub>H<sub>2</sub></sub>=1) para o gás de redução de maneira conseguir esta condição, assumindo que a perda de calor para o meio é de 11.023,11 cal/kg de óxido reduzido.
53. Provoca-se a combustão do acetileno com óxido nitroso como oxidante a 25°C em um espectrofotômetro de chama. Calcule a máxima temperatura alcançada se a melhor mistura corresponde a seguinte reação:(4207K)



	$\Delta H^{\circ}_{298}$ (kcal/mol)	cp (cal/mol.K)
<b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	54,23	
<b>N<sub>2</sub>O</b>	19,70	
<b>CO</b>	26,42	$6,8+1,0 \cdot 10^{-3} \cdot T-0,11 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}$
<b>H<sub>2</sub>O</b>	57,80	$7,17+2,56 \cdot 10^{-3} \cdot T-0,08 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}$
<b>N<sub>2</sub></b>		$6,5+1,0 \cdot 10^{-3} \cdot T$

54. Considera-se que o carbureto de cálcio é um combustível em potencial em um conversor básico a oxigênio. Dependendo das condições se supõe que ele se queimar transformando-se em CaO e CO ou CO<sub>2</sub>. Se o calor necessário para aumentar a temperatura de uma corrida de aço a 1600°C é de 333 kcal/kg, calcule quantos kg de aço deveriam ser carregados para cada 1000 kg de CaC<sub>2</sub> quando:
- Todo CaC<sub>2</sub> se consome como CO; (8940kg)
  - Todo o CaC<sub>2</sub> se consome como CO<sub>2</sub>; (15285kg)
  - 60% do CaC<sub>2</sub> se transforma em CO<sub>2</sub> e o resto em CO. (12745 kg)
- Supor que a reação ocorra a 25°C.
55. Na redução aluminotérmica dos óxidos de manganês a carga é misturada fria e uma vez entrando em ignição ela deve se auto-sustentar alcançando 2000°C no final do processo. Se os calores necessários para elevar a 2000°C 1 mol de Mn e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são, respectivamente, 24 kcal e 85 kcal, calcule a relação Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/óxido de Mn mínima da carga necessária para que a reação seja auto-sustentada, sabendo que:

$$\Delta H^{\circ}_{298,(\text{MnO})} = -92 \quad \text{kcal/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298,(\text{Mn}_3\text{O}_4)} = -331,4 \quad \text{“}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298,(\text{MnO}_2)} = -124,3 \quad \text{“}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298,(\text{Al}_2\text{O}_3)} = -400 \quad \text{“}$$

56. Deseja-se aquecer 100 kg de Fe de 1000 a 1200°C através da queima de uma mistura gasosa contendo 10% CO, 10% H<sub>2</sub>, 50% CO<sub>2</sub> e 30% N<sub>2</sub> a 500°C. O ar disponível está a 300°C e os fumos saem do forno a 900°C. Calcular o volume necessário de gás em Nm<sup>3</sup>/100 kg de Fe.(12,24Nm<sup>3</sup>/100kg Fe)
57. Calcule a entalpia da reação de redução do NiO pelo CO sabendo que ambos reagem em quantidades estequiométricas a 500°C e os produtos saem a 1000°C.
58. Calcule a temperatura teórica de chama da zona das ventaneiras de um alto-forno a partir dos seguintes dados:
- Coque pré-aquecido a 1550°C;
  - volume de sopro: 6,2.106 m<sup>3</sup>/dia (ar com 12 g de umidade por m<sup>3</sup>);
  - Coque com 89% de C (desprezar efeito das cinzas no balanço final);
  - Ar a 900°C;
  - 1/5 do C do coque é trocado por óleo contendo 86% C e 12% H<sub>2</sub>.
59. Um grama de carvão contendo 80% C, 5% H<sub>2</sub>, 5% de umidade e 10% de cinzas é queimado completamente num calorímetro. O carvão sofre ignição por meio de uma corrente elétrica e um total de 1500 W.seg foram usados. Após a combustão, a temperatura do calorímetro aumentou de 24 para 26°C. O calorímetro foi calibrado eletricamente quando se constatou que para uma entrada de 18000 W.seg a temperatura aumentou 1°C. Calcular:
- a. A capacidade térmica do calorímetro;
  - b. O calor de combustão do carvão.
- (1 cal = 4,19 W.seg)
60. Cem (100 kg) de Cu são fundidos em um forno a indução em 1 hora a 1200°C. As perdas médias por irradiação são de 30% do calor necessário para fundir o Cu. Adicionalmente, passam pelas bobinas de indução cerca de 10 l/min de água. Calcular:
- a) As perdas térmicas em relação à energia total utilizada;
  - b) A potência total necessária para o processo.

Dados: Temperatura de entrada da água: 25°C;

Temperatura de saída da água: 80°C;

Desprezar o aquecimento do revestimento refratário;

1 cal = 4,184 J

1 W = 1 J/seg

61. Qual é o calor associado à queima do silício do gusa líquido (1% Si) no conversor LD formando sílica dissolvida na escória? (-220900 cal/mol)



62. Calcule o consumo de energia elétrica por tonelada de ferro quando se deseja aquecer ferro puro a 25°C até a temperatura de 1700°C supondo que as perdas térmicas sejam 10% do calor cedido ao forno. (1 kwh = 860 cal) (444,4 kWh)
63. Considerando o exemplo anterior, ao invés de se utilizar energia elétrica como fonte de calor, queima-se carbono puro carregado a 200°C com ar pré-aquecido a 450°C. Qual seria o consumo de carbono neste caso supondo o ar em quantidade estequiométrica e os gases saindo do forno a 1227°C? (62,75kg)
64. Determinar qual é o valor total envolvido quando se adiciona 10 kg de Si a 1600°C de tal modo que a liga resultante tenha 0,8 molar de Fe. (-10.451,45 kcal)
65. Determinar o calor total associado à mistura de 10 kg de Si líquido em 99 kg de Fe líquido a 1600°C. (-11.416,47 kcal)
66. Em um reator utiliza-se nitrogênio (N<sub>2</sub>) para fazer o aquecimento de um minério de Fe contendo 5% de SiO<sub>2</sub>. O minério entra no reator a 25°C e sai a 627°C. O N<sub>2</sub> entra a 827°C e sai a 127°C. Considerando que são consumidos 700 Nm<sup>3</sup> de N<sub>2</sub> por tonelada de minério, determinar as perdas térmicas. (36.581,93 kcal)
67. Calcular a energia necessária para aquecer 1 t de gusa de 25°C até 1400°C sabendo que nesta temperatura ele se encontra líquido. Composição do gusa: 4,5%C; 0,5%Si; 0,5%Mn; 0,1%P; 0,02%S e 94,38%Fe

### **CÁLCULOS DE EQUILÍBRIO**

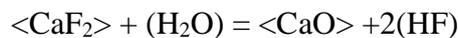
68. Verificar se uma mistura gasosa contendo 10% CO<sub>2</sub>, 10% CO, 20% H<sub>2</sub>O e 60% H<sub>2</sub> está em equilíbrio a 1000K. Se não, qual é a composição de equilíbrio?
69. Um gás contendo 10%CO, 20%CO<sub>2</sub>, 20% H<sub>2</sub>, 40%H<sub>2</sub>O e 10% N<sub>2</sub> é colocado num forno a 900°C. Qual é a composição de equilíbrio?
70. Um mol de uma mistura gasosa constituída de 50% CO, 25% CO<sub>2</sub> e 25% H<sub>2</sub> é introduzida em um forno a 800°C e 1 atm. Determinar a composição de equilíbrio em %.
71. Calcular a composição de equilíbrio de uma mistura gasosa ideal de H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO e CO<sub>2</sub> a 1600°C, sabendo que inicialmente havia no sistema 10 moles de CO e 10 moles de H<sub>2</sub>O.
72. Em relação à reação  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ , pergunta-se:  
 a. Em que direção o equilíbrio se desloca quando a temperatura é aumentada;  
 b. e quando a pressão total do sistema é aumentada?
73. Calcular a composição química de equilíbrio a 1000K da reação para uma mistura gasosa com 1 mol de SO<sub>2</sub> e 0,5 mol de O<sub>2</sub>:
- $$\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{SO}_3$$
74. Verificar se a reação de redução do FeO pelo CO é espontânea a 900°C.
75. Determinar a temperatura a partir da qual se torna viável a redução do FeO pelo C.

76. Considerando a reação de redução da magnetita pelo CO formando Fe (reação hipotética), determinar o sentido da reação quando a magnetita e o ferro são colocados em contato com uma mistura gasosa contendo 20% de CO e 80% de CO<sub>2</sub> a 500°C. (não é possível pois  $\Delta G = 35100 \text{ J/mol} > 0$ )
77. A 1800°C, a pressão de dissociação da alumina é de  $10^{-16}$  atm enquanto que a 1400°C é de  $10^{-22}$  atm. Calcule a energia livre de formação da alumina a 1800 e a 1400°C assumindo que o oxigênio está a pressão atmosférica e os constituintes sólidos estão no estado puro. Calcule também a entropia de formação da alumina naquela faixa de temperatura, sabendo que a sua entalpia de formação permanece constante.
78. Demonstre que a constante de equilíbrio depende somente da temperatura, como ela varia com a temperatura e como varia a composição de um sistema gasoso com a alteração da pressão total do sistema.
79. Deseja-se produzir TiO<sub>2</sub> a partir da ilmenita (FeO.TiO<sub>2</sub>) utilizando um gás redutor contendo H<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>. Calcular o teor máximo de H<sub>2</sub> do gás para que este processo a 1000°C seja possível.
80. Determine a temperatura que o óxido de Cu (Cu<sub>2</sub>O) pode dissociar a  $10^{-5}$  mmHg.
81. Em qual temperatura o MgCO<sub>3</sub> deve ser aquecido numa atmosfera contendo uma pressão parcial de CO<sub>2</sub> de 1 atm e  $10^{-2}$  atm de maneira que a decomposição do carbonato ocorra?
82. Em qual temperatura o MgCO<sub>3</sub> contendo 10% de SiO<sub>2</sub> deve ser aquecido numa atmosfera contendo uma pressão parcial de CO<sub>2</sub> de 1 atm e  $10^{-2}$  atm de maneira que a decomposição do carbonato ocorra?
83. Determinar a pressão parcial de O<sub>2</sub> mínima necessária para oxidar a FeO uma chapa de aço a 1000°C quando:
- A chapa é de Fe puro; ( $263,4 \times 10^{-18}$  atm)
  - A chapa contém 8% de Ni.
84. Uma peça de Cu laminada a frio deve ser recozida a 650°C. Para evitar a oxidação, o tratamento térmico deve ser realizado sob vácuo. Determine qual é a pressão máxima que a peça pode ser recozida sem sofrer oxidação. Determine também em qual temperatura um vácuo de  $10^{-2}$  mmHg pode ser utilizado. ( $2,64 \times 10^{-12}$  atm)
85. Calcule a temperatura a partir da qual Ag<sub>2</sub>O puro decompõe-se numa atmosfera de O<sub>2</sub> puro e numa atmosfera contendo ar. (463,8K e 417,7K)
86. Determine a máxima pressão de vapor de água no hidrogênio para que Cr seja aquecido a 1500°C sem oxidação. A oxidação do Cr pelo vapor de água é endo ou exotérmica?
87. Uma mistura contendo argônio (Ar) e H<sub>2</sub> a 1 atm de pressão total é passada através de uma câmara de reação a 900°C contendo Sn e SnCl<sub>2</sub> líquidos. A composição do gás de saída é 50% H<sub>2</sub>, 7% HCl e 43% Ar. O equilíbrio foi obtido na câmara de reação?

88. Qual é a máxima pressão de  $\text{CO}_2$  que pode ser admitida numa mistura contendo CO e  $\text{CO}_2$  a 1 atm de pressão total sem que a oxidação do Ni ocorra a  $1500^\circ\text{C}$ ?
89. As soluções líquidas de MnO em FeO e Mn em Fe podem ser consideradas ideais a  $1600^\circ\text{C}$ . Calcule a concentração de MnO na escória (em % peso) que se encontra em equilíbrio com uma liga com 25% Mn (99%MnO e 1%FeO).
90. As soluções líquidas de MnO em FeO e Mn em Fe podem ser consideradas ideais a  $1600^\circ\text{C}$ . Calcule a concentração de Mn em Fe (em % peso) que se encontra em equilíbrio com uma escória com 40% MnO (99%Fe e 1%Mn). Dados:

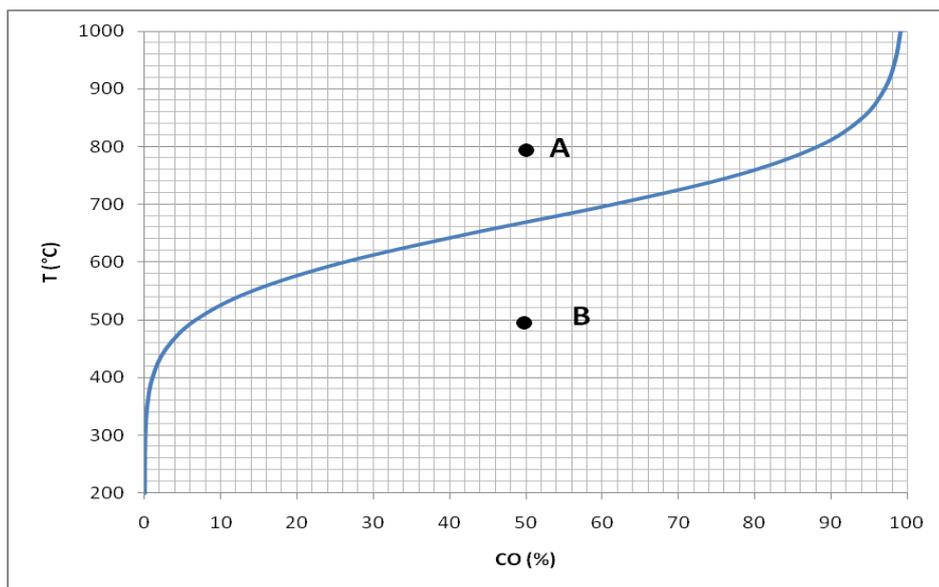


91. Verificar se uma atmosfera contendo CO e  $\text{CO}_2$  a 1000K com a relação  $p_{(\text{CO})}/p_{(\text{CO}_2)} = 1,23$  é oxidante ou redutora em relação a:
- Alumínio, líquido, puro (oxidante)
  - Cobre, sólido, puro (redutora)
92. Um grama de  $\text{CaCO}_3$  é colocado num reator rígido e evacuado com um volume de 1 L à temperatura ambiente. O sistema é então aquecido. Calcule (a) a maior temperatura que o carbonato está presente, (b) a pressão dentro do reator a 1000K e (c) a pressão dentro do reator a 1500K.
93. Uma mistura gasosa Ar- $\text{H}_2\text{O}$  com uma  $p_{\text{H}_2\text{O}}=0,9$  atm ( $P=1$ atm) passa através de  $\text{CaF}_2$  e como resultado forma-se CaO de acordo com a reação a seguir:



A reação prossegue até o equilíbrio e as fases condensadas são imiscíveis. Quando o fluxo gasoso é de 1L/min ( $25^\circ\text{C}$  e 1 atm), as perdas de massa da amostra são de  $1,47 \times 10^{-4}$  g/h e  $4,53 \times 10^{-3}$  g/h a 900 e 1100K, respectivamente. Através desses dados calcular o  $\Delta G^\circ$  com a temperatura da reação. ( $\Delta G^\circ = 67390 - 29T$  cal)

94. Um lingote de aço formaria carepa (FeO) em um forno poço a  $1300^\circ\text{C}$  contendo gases com a seguinte composição: 62%  $\text{N}_2$ ; 36%  $\text{CO}_2$  e 2% CO ?
95. Determinar o potencial de oxigênio em do gás do exercício anterior utilizando o diagrama de Ellingham.
96. A curva da figura abaixo apresenta o equilíbrio da reação de Boudouard ( $\text{C} + \text{CO}_2 = 2 \text{CO}$ ) para pressão total de 1 atm ( $p_{\text{CO}} + p_{\text{CO}_2}$ ).



- Que característica da reação de Boudouard faz com que a relação %CO/%CO<sub>2</sub> aumente com o aumento da temperatura?
  - O que acontece com a composição do gás quando uma mistura 50% CO/50%CO<sub>2</sub> é mantida na temperatura de 800°C (ponto A)? E na temperatura de 500°C (ponto B)? Explique.
  - Responda a mesma pergunta do item (b) para o caso em que há excesso de carbono no sistema.
97. Num diagrama de Ellingham é possível estimar graficamente a pressão parcial de equilíbrio da formação dos óxidos e ao mesmo tempo estimar a estabilidade relativa desses compostos. Demonstre a razão.
98. Deseja-se reduzir 100 g de pó de MnO a Mn metálico passando um fluxo de H<sub>2</sub> numa vazão de 100 Ncm<sup>3</sup>/min numa temperatura de 1000K e uma pressão de 1 atm. Assumindo que a cinética de redução é muito alta, estime o tempo total de redução. Dados:  $\Delta G^\circ_{\text{MnO}} = -74.550 \text{ cal/mol}$  e  $\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = -46.040 \text{ cal/mol}$
99. Os seguintes dados foram obtidos para os potenciais de O<sub>2</sub> (p<sub>O2</sub>) do equilíbrio entre os óxidos CuO e Cu<sub>2</sub>O:

<b>T(K)</b>	1173	1223	1273	1303	1350
<b>p<sub>O2</sub>(atm)</b>	0,0208	0,0498	0,1303	0,225	0,504

Estime os valores de  $\Delta H^\circ$  e  $\Delta S^\circ$  da seguinte reação:  $2\text{CuO} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$

100. Através de medidas de equilíbrio entre H<sub>2</sub> e HCl, ambos gasosos, com Na e NaCl, ambos líquidos, a pressão parcial de Cl<sub>2</sub> em equilíbrio com as duas fases condensadas foi calculada como sendo igual a  $2,2 \times 10^{-48} \text{ atm}$  a 500°C. Se  $\Delta H^\circ_{298, \text{NaCl}}$  é igual a -98,6 kcal/mol e é independente da temperatura, calcule a pressão parcial de Cl<sub>2</sub> a 600°C. ( $5,3 \times 10^{-40} \text{ atm}$ )
101. Sabe-se que uma mistura gasosa CO-CO<sub>2</sub> contendo 1,95% CO está em equilíbrio com Ni e NiO sólidos a 1500°C e 1 atm. Calcule a p<sub>O2</sub> de equilíbrio entre as duas fases

- condensadas e o  $\Delta G^\circ$  de formação do NiO nesta temperatura. ( $6,62 \times 10^{-5}$  atm; -17000 cal/mol)
102. Determine se o  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  pode ser reduzido por C sólido a  $1000^\circ\text{C}$  sem a formação de  $\text{Cr}_2\text{C}_6$ .
103. Na oxidação da maioria das ligas Fe-Ni a  $840^\circ\text{C}$  forma-se FeO puro. Calcule a atividade do Fe numa liga que é equilibrada com uma mistura gasosa contendo  $\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  com 57,5% de  $\text{H}_2$  na mesma temperatura.
104. As densidades do Bi líquido e sólido são  $10,0$  e  $9,673 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. O calor de fusão é de  $2,633 \text{ kcal/mol}$  e sua temperatura normal de fusão de  $271^\circ\text{C}$ . Calcule o ponto de fusão do Bi se submetido a uma pressão de  $100 \text{ atm}$ . ( $256,74^\circ\text{C}$ )
105. O ponto de fusão do Ga é de  $30^\circ\text{C}$  a  $1 \text{ atm}$ . As densidades do Ga sólido e líquido são  $5,885$  e  $6,08 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente. O calor de fusão do Ga é de  $18,5 \text{ cal/g}$ . Calcule a variação do ponto de fusão do Ga quando a pressão é aumentada em  $1 \text{ atm}$ . ( $-2,16 \times 10^{-3}^\circ\text{C}$ )
106. Deseja-se aumentar o ponto de fusão do In em  $5^\circ\text{C}$ . Mostre, qualitativamente o que deve ser feito. Dados: densidades do sólido e do líquido são  $7,303$  e  $7,025 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente.
107. O carbono tem duas alotropias, grafita e diamante. A  $25^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm}$  de pressão, a grafita é a fase estável. Calcule a pressão que deve ser aplicada à grafita a  $25^\circ\text{C}$  de maneira a transformá-la em diamante.  
 Dados:  $H_{298,\text{grafita}} - H_{298,\text{diamante}} = -454 \text{ cal/mol}$ ;  $S_{298,\text{grafita}} = 1,37 \text{ eu}$ ;  $S_{298,\text{diamante}} = 0,58 \text{ eu}$ ;  
 $d_{25^\circ\text{C},\text{grafita}} = 2,22 \text{ g/cm}^3$ ;  $d_{25^\circ\text{C},\text{diamante}} = 3,515 \text{ g/cm}^3$
108. A pressão de vapor do Zn sólido varia com a temperatura pela equação:  $\log[p(\text{mmHg})] = -6850/T - 0,755 \log T + 11,24$ ; e a do líquido pela equação:  $\log[p(\text{mmHg})] = -6620/T - 1,255 \log T + 12,34$ . Calcule:  
 a. O ponto normal de ebulição; ( $1181\text{K}$ )  
 b. A temperatura do ponto triplo; ( $708\text{K}$ )  
 c. A entalpia de evaporação no ponto normal de ebulição; ( $27340 \text{ cal/mol}$ )  
 d. A entalpia de fusão no ponto triplo; ( $1756 \text{ cal/mol}$ )  
 e. A diferença entre as capacidades térmicas do sólido e do líquido. ( $0,933 \text{ cal/mol.K}$ )
109. A pressão de vapor do NaF sólido varia com a temperatura pela equação:  $\ln[p(\text{atm})] = -34450/T - 2,01 \ln T + 33,74$ ; e a do líquido pela equação:  $\ln[p(\text{atm})] = -31090/T - 2,52 \ln T + 34,66$ . Calcule:  
 a. O ponto normal de ebulição; ( $2006\text{K}$ )  
 b. A temperatura e a pressão do ponto triplo; ( $1239\text{K}$ ;  $2,29 \times 10^{-4} \text{ atm}$ )  
 c. A entalpia de evaporação no ponto normal de ebulição; ( $216.500\text{J}$ )  
 d. A entalpia de fusão no ponto triplo; ( $33.150\text{J}$ )  
 e. A diferença entre as capacidades térmicas do sólido e do líquido. ( $4,24 \text{ J/mol.K}$ )

110. O calor de vaporização do Mn é 53,7 kcal/mol, seu ponto ebulição é 2095°C. Determinar a pressão de vapor do Mn a 1600°C. O que aconteceria com a pressão de vapor do Mn se ele estivesse em solução? (0,04899 atm)
111. No refino de aço sob vácuo utilizam-se pressões da ordem de  $10^{-4}$  torr. Qual é a variação no ponto de fusão do aço?