

Faculdade Pitagoras
Unidade Divinópolis – Minas Gerais.

Engenharia Elétrica

Disciplina: Materiais Elétricos
Prof. Eng. Alexandre Dezem Bertozzi, Esp.
www.bertozi.com

Tema 02: Efeitos Eletroquímicos

rente numa carga externa, *Figura 2.7 (d)*. Se **semicondutores** de condutividade térmica baixa são usados em vez de metais para os elementos do par, é obtida uma eficiência melhor porque a perda de calor por condução é reduzida. Os pares (*e*) de um gerador de potência termoeétrica são construídos com materiais de **tipo *p* e *n***. A eficiência, limitada pelas considerações de ciclo Carnot, não excede presentemente 10 por cento.

Um gerador de par termoeétrico no qual um elemento é uma corrente de elétrons ou plasma é um **gerador termiônico**, com efeito um diodo com o cátodo plano e ânodo muito juntos. Por causa de sua energia cinética, os elétrons emitidos do cátodo alcançam o ânodo contra um potencial de ânodo negativo e pequeno, fornecendo corrente para um circuito externo, *Figura 2.7 (f)*. A função de trabalho do material do ânodo deve ser menor que para o cátodo. O dispositivo é uma **máquina térmica operando sobre a queda de temperatura de cátodo-ânodo com elétrons fornecendo o "fluido de trabalho"**.

Saídas de 2 kW/m² a um rendimento de 25 por cento podem ser atingidas quando o dispositivo tiver sido completamente desenvolvido e se ultrapassarem os efeitos de carga no espaço. O aquecimento do cátodo por energia solar é uma possibilidade.

EFEITOS ELETROQUÍMICOS

Eletrólise aquosa

Se um condutor líquido for submetido a mudanças químicas quando a corrente passa através dele, o efeito será imputado ao movimento das partes constituintes das moléculas do **eletrólito** líquido, chamados **íons**, os quais têm carga elétrica positiva ou negativa. Os íons positivos se movem para o eletrodo negativo (cátodo) e os íons negativos para o eletrodo positivo (ânodo). O movimento iônico é a razão da condução de corrente. Os íons alcançando os eletrodos têm suas cargas neutralizadas e podem ficar sujeitos a mudanças químicas. Hidrogênio e íons metálicos são eletropositivos: os não-metais da família do cloro (Cl, Br, I e F) e radicais ácidos (tais como SO₄, NO₃) formam íons negativos na solução. Como exemplos, o ácido hidrocloreídrico, HCl, forma íons de H⁺ e Cl⁻; o ácido sulfúrico forma íons 2H⁺ e SO₄⁻; e o hidróxido de sódio, NaOH, forma íons Na⁺ e OH⁻. Os produtos da eletrólise dependem da natureza do eletrólito. As soluções básicas de sódio ou hidróxidos semelhantes produzem gases de H₂ e O₂ no cátodo e ânodo, respectivamente. As soluções ácidas dão produtos dependendo da natureza dos eletrodos. As soluções de sais de metais com eletrodos apropriados resultam na deposição eletrolítica.

Lei da eletrólise

A massa do íon de um elemento ou radical nele depositado, dissolvido de ou ficando livre de qualquer eletrodo, é proporcional à quantidade de eletricidade passada através da célula eletrolítica e ao peso iônico do material, e inversamente proporcional à valência do íon; onde a massa m_e em equivalentes de quilograma é o produto (z em equivalente de quilograma por coulomb) $\times$ (Q em coulombs). O valor de z é uma constante natural 0,001036. Os algarismos representativos (por conveniência em miligramas por coulomb) são dados na *Tabela 2.5*.

Polarização

Para fazer passar uma corrente através de um eletrólito, deve ser aplicada uma d.d.p. aos eletrodos para ultrapassar a queda de resistência do eletrólito, e para ultrapassar a f.e.m. da **polarização**. A última é devida a uma queda através de uma película fina de gás, ou através de uma forte concentração iônica, num eletrodo.

Todas as reações químicas podem ser representadas como reações de dois eletrodos. A d.d.p. algébrica entre as duas é a medida da reatividade. Uma d.d.p. altamente negativa representa uma reação espontânea que poderá ser usada para gerar uma corrente. Uma d.d.p. altamente positiva representa uma reação necessitando de uma d.d.p. externa para mantê-la.

Tabela 2.5.

EQUIVALENTES ELETROQUÍMICOS (mg/C)

Elemento	Valência	$z,$ mg por C	Elemento	Valência	$z,$ mg por C	Elemento	Valência	$z,$ mg por C
H	1	0.010 45	Cr	6	0.089 83	Sn	4	0.307 51
Li	1	0.071 92	Mn	2	0.284 61	Sb	3	0.420 59
Be	2	0.046 74	Fe	1	0.578 65	Te	4	0.330 60
O	2	0.082 90	Fe	2	0.289 33	I	1	1.315 23
F	1	0.196 89	Fe	3	0.192 88	Cs	1	1.377 31
Na	1	0.238 31	Co	2	0.305 39	Ba	2	0.711 71
Mg	2	0.126 01	Ni	2	0.304 09	Ce	3	0.484 04
Al	3	0.093 16	Cu	1	0.658 76	Ta	5	0.374 88
Si	4	0.072 69	Cu	2	0.329 38	W	6	0.317 65
S	2	0.166 11	Zn	2	0.338 76	Pt	4	0.505 78
S	4	0.083 06	As	3	0.258 76	Au	1	2.043 52
S	6	0.055 37	Se	4	0.204 56	Au	3	0.681 17
Cl	1	0.367 43	Br	1	0.828 15	Hg	1	2.078 86
K	1	0.405 14	Sr	2	0.454 04	Hg	2	1.039 42
Ca	2	0.207 67	Pd	4	0.276 42	Tl	1	2.118 03
Ti	4	0.124 09	Ag	1	1.117 93	Pb	2	1.073 63
V	5	0.105 60	Cd	2	0.582 44	Bi	3	0.721 93
Cr	3	0.179 65	Sn	2	0.615 03	Th	4	0.601 35

Utilizações da eletrólise

Os minérios de cobre, zinco e cádmio podem ser tratados eletroliticamente com ácido sulfúrico para depositar o metal. O cobre pode ser depositado pela utilização de uma voltagem baixa no cátodo, enquanto o oxigênio é emitido no ânodo. A refinação eletrolítica por deposição pode ser empregada com o cobre, níquel, estanho, prata, etc., por fusão ou extração eletrolítica, usando o metal impuro como o ânodo, que é dissolvido e redepositado no cátodo, deixando no fundo da célula as impurezas em forma de sedimentos. O revestimento eletrolítico é semelhante à refinação eletrolítica, exceto que o metal puro ou liga é usado como ânodo.

Células primárias

Uma célula elementar compreendendo os elétrodos de cobre (positivos) e zinco (negativos) em ácido sulfúrico desenvolve uma d.d.p. entre o cobre e o zinco. Se é completado um circuito entre os elétrodos, fluirá uma corrente que atua no eletrólito para decompor o ácido, e causa uma produção de gás de oxigênio em volta do cobre, estabelecendo uma f.e.m. de polarização em oposição à f.e.m. da célula original. Portanto, a última cai consideravelmente. Em células primárias práticas o efeito é evitado pelo uso de um *despolarizador*. A célula primária mais largamente usada é a Leclanché. Compreende um elétrodo de zinco e carbono numa solução de cloreto de amônia, NH_4Cl . Quando a corrente flui, o cloreto de zinco ZnCl_2 é formado, liberando energia elétrica. Os íons positivos NH_4 viajam para o elétrodo de carbono (positivo) que é envolvido numa mistura de dióxido de manganês e carbono como despolarizador. Os íons NH_4 são divididos para o NH_3 (gás de amônia) e H_2 , que é oxidado pelo MnO_2 para se tornar água. A remoção do hidrogênio evita a polarização desde que a corrente tirada da célula seja pequena e intermitente.

A forma *úmida* da célula Leclanché não é transportável. A célula *seca* tem um eletrólito de pasta e é apropriada para taxas de descarga contínua moderada. É gasta pelo uso ou pelo envelhecimento e pela secagem da pasta. A "vida em armazenamento" é limitada. A célula *inerte* é muito semelhante em construção à célula seca, mas é ligada em estado seco, e

é ativada quando necessário umedecendo os materiais do eletrólito em água. Em cada caso, a f.e.m. da célula é $1\frac{1}{2}$ V.

Célula-padrão

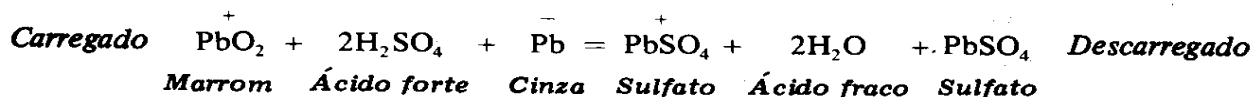
A Célula Normal Weston tem um elemento positivo de mercúrio, um elemento negativo de cádmio, e um eletrólito de sulfato de cádmio com sulfato de mercúrio como despolarizador. Sua f.e.m. de circuito aberto a 20°C é 1,018 3 V. A relação entre a f.e.m. E e a temperatura θ (em graus Celsius) é dada na Tabela 2.6.

Tabela 2.6. F.E.M. DA CÉLULA NORMAL WESTON (V)

θ	E	θ	E	θ	E
0	1.018 66	15	1.018 48	30	1.017 81
10	1.018 60	20	1.018 30	40	1.011 18

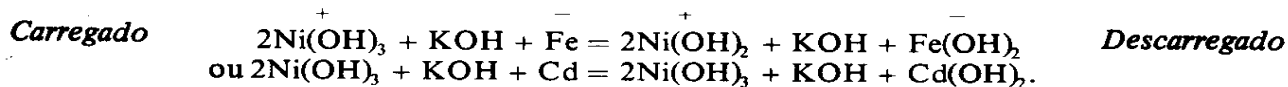
Células secundárias

Na célula de armazenamento ou acumulador de *ácido de chumbo*, o peróxido de chumbo reage com o ácido sulfúrico para produzir uma carga positiva no ânodo. No cátodo, o chumbo metálico reage com o ácido para produzir uma carga negativa. O chumbo, em ambos os elementos, combina com os íons de sulfato para produzir um sulfato de chumbo pouco solúvel. A ação é descrita como



Ambas as reações do eletrodo são reversíveis de modo que as condições iniciais podem ser restabelecidas por meio de uma "corrente de carga".

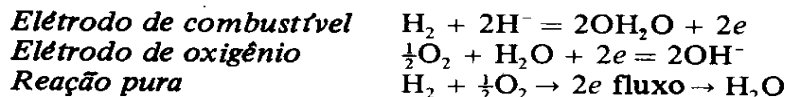
Na célula *alcalina*, o hidrato de níquel substitui o peróxido de chumbo no ânodo e, ou o ferro ou o cádmio, substituem o chumbo no cátodo. O eletrólito é hidróxido de potássio. As reações são complexas, mas a fórmula seguinte dá a indicação geral:



Célula de combustível

A única célula de combustível prática para a conversão direta de combustível em energia elétrica é a célula hidrogênio-oxigênio, *Figura 2.8*. Os eletrodos microporosos servem para conduzir os gases ao contato íntimo com o eletrólito (hidróxido de potássio) e para fornecer os terminais da célula. Os reagentes de hidrogênio e oxigênio são alimentados continuamente para a célula da parte externa, e a energia elétrica é utilizável na demanda.

No eletrodo de combustível (H_2), as moléculas de H_2 se dividem em átomos H na presença de um catalisador, e estas combinam com íons OH^- do eletrólito, formando H_2O e liberando elétrons e^- . No eletrodo de oxigênio as moléculas de oxigênio (O_2), combinam (também na presença de um catalisador) com moléculas de água do eletrólito e com pares de elétrons chegando ao eletrodo através da carga externa do eletrodo de combustível. Os íons de perhidróxido (O_2H^-) e os íons de hidróxido (OH^-) são produzidos; os últimos entram no eletrólito, enquanto que os íons mais resistentes O_2H^- , com catalisadores especiais, podem ser reduzidos a íons de OH^- e oxigênio. Todo o processo pode ser resumido em:



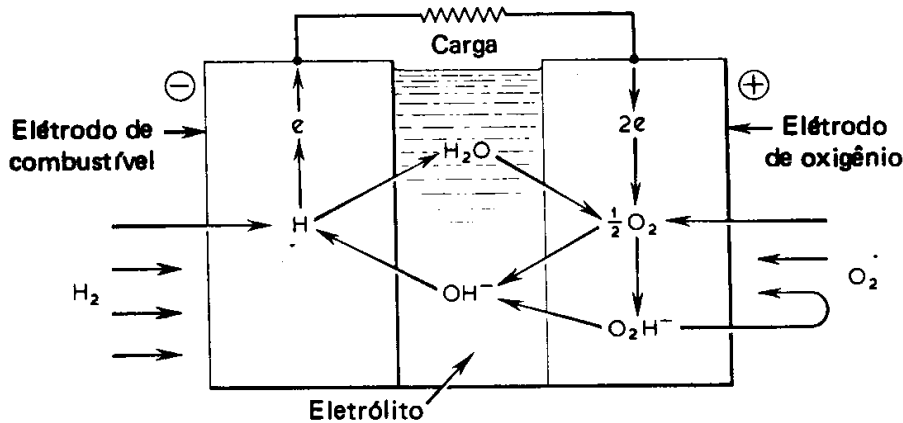


Figura 2.8 Célula de combustível

Numa reação completa combinam quimicamente (não explosivamente) 2 kg de hidrogênio e 16 kg de oxigênio, para formar 18 kg de água com uma liberação de 400 MJ de energia elétrica. Para cada kAh a célula produz 0,33 litros de água, a qual não deve ser permitida em excesso para enfraquecer o eletrólito. A f.e.m. do circuito aberto é 1,1 V, enquanto que a voltagem terminal é cerca de 0,9 V com uma distribuição de 1 kA/m² de área plana.

EFEITOS DE CAMPO MAGNÉTICO

Fluxo magnético

O espaço rodeando os ímãs permanentes e circuitos elétricos transportando correntes atinge um estado peculiar no qual ocorrem vários fenômenos. O estado é descrito dizendo que o espaço é percorrido por um *campo magnético de fluxo*. O campo é cartografado por uma disposição de *linhas de indução* dando a força e direção do fluxo. A Figura 2.9 dá uma indi-

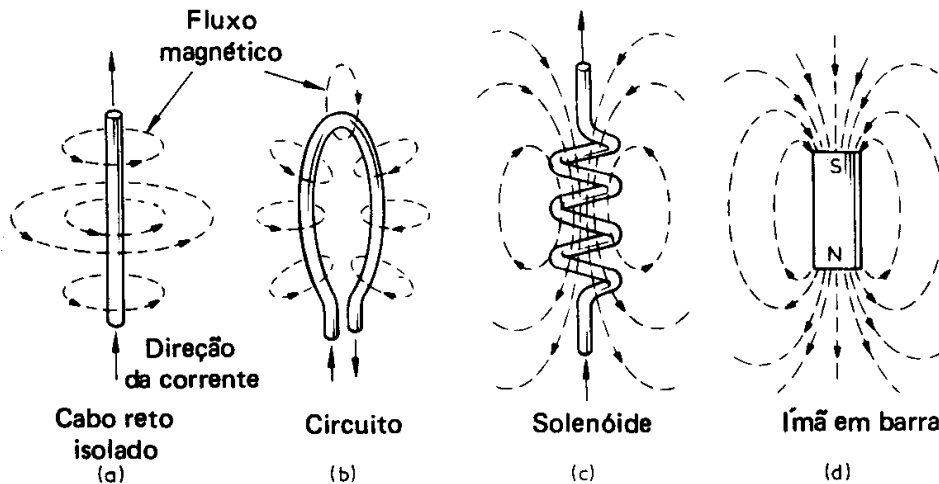


Figura 2.9 Campos magnéticos simples

cação grosseira do padrão do fluxo para os três casos simples de campo magnético devido a uma corrente, e para o caso de um ímã em barra. A semelhança essencial dos casos (c) e (d) é evidente. Os diagramas indicam as convenções de polaridade, direção de fluxo e direção da corrente adotada. As linhas magnéticas de indução formam pequenas voltas num *circuito magnético* ligado completamente ou em parte pela corrente do circuito.

Para a estimativa da quantidade de fluxo magnético produzido por um determinado circuito, os engenheiros usam um conceito associado à f.e.m. de um circuito elétrico. O fluxo magnético é “causado” pela corrente numa bobina magnetizante enquanto que uma

M. G. SAY

Ph.D., M.Sc., C.Eng., A.C.G.I., D.I.C., F.I.E.E., F.R.S.E.

Colaboradores **especializados**

MANUAL DO ENGENHEIRO ELETRICISTA

**Unidades e grandezas físicas • Eletrotecnologia •
Análise de redes • Materiais**

Alexandre Luiz Bertozzi
ENG. ELETRICA

