



# DEGRADAÇÃO E PROTEÇÃO DE MATERIAIS

## LOM 3006

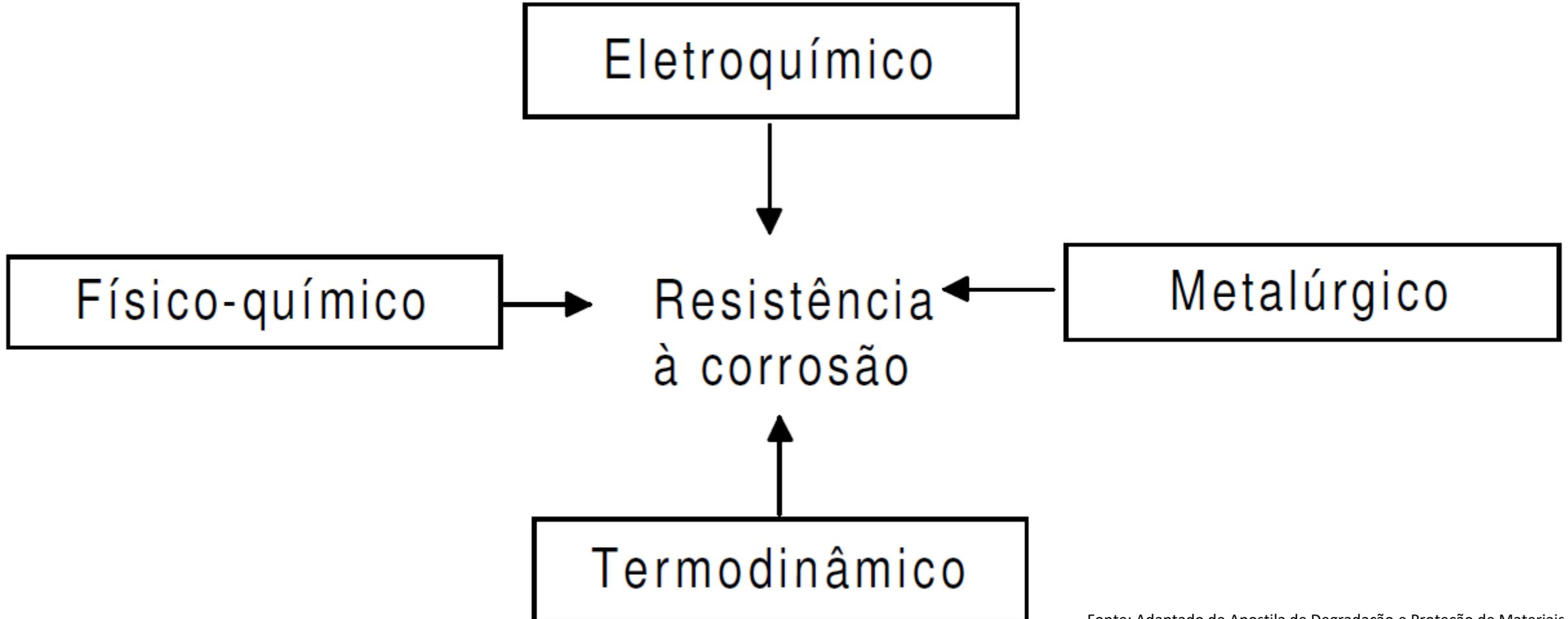
### Princípios da Corrosão

Profa. Maria Ismenia Sodero

maria.ismenia@usp.br



# FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTENCIA A CORROSÃO





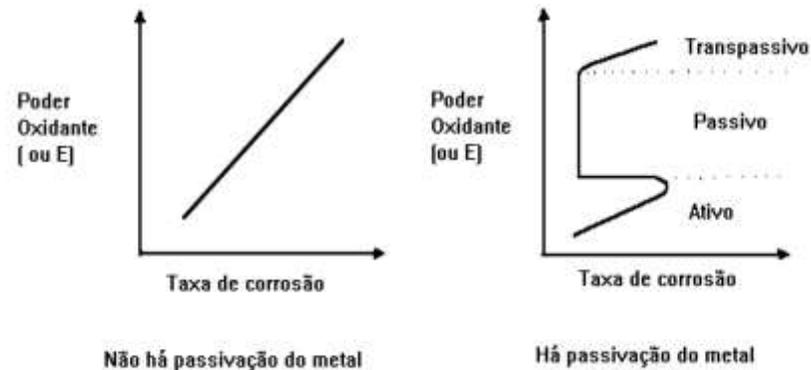
# FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTENCIA A CORROÇÃO

## termodinâmicos e eletroquímicos da corrosão

- Reações de oxi-redução;
- Termodinâmica;
- Polarização

anódica e ocorre a reação:  $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$   
ou catódica e ocorre a reação:  $Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$

- Passivação;

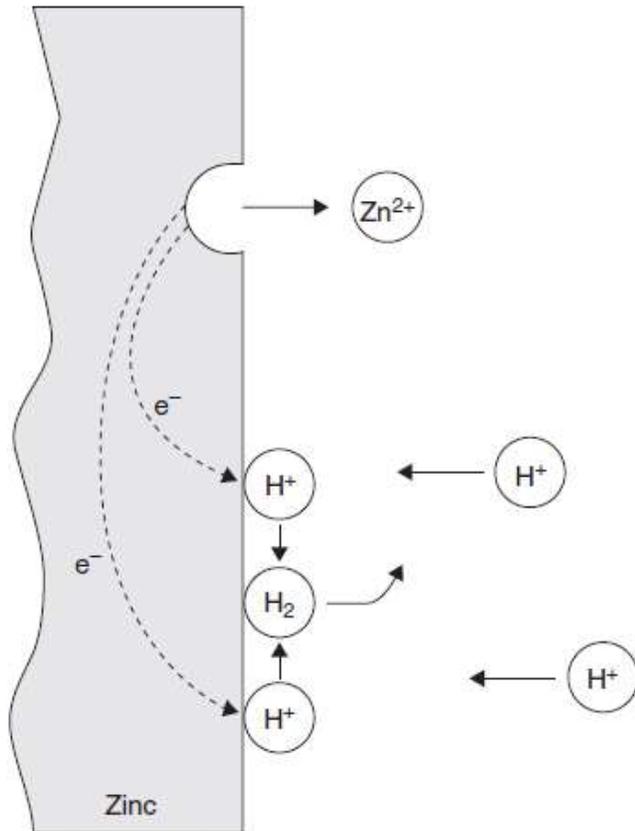


## Aspectos metalúrgicos

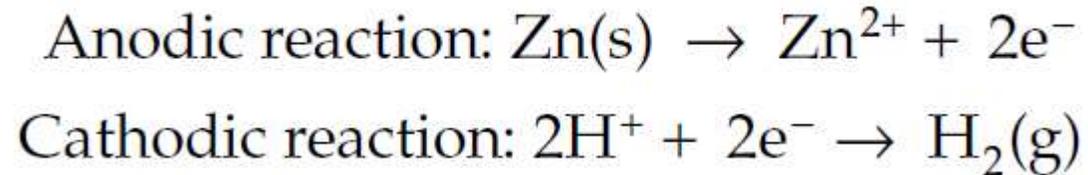
- Contorno de grão;
- Ligas metálicas
- Tensões residuais – processos metalúrgicos

# Fundamentos teóricos da corrosão

A corrosão eletroquímica envolve a presença de uma solução que permite o movimento dos íons.



Reações eletroquímicas que ocorrem com Zn em contato com HCl



REDUTOR

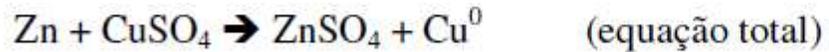
elétrons

OXIDANTE



# Reações de oxi-redução

## Perda ou ganho de elétrons



## Terminologia

Agente redutor – elemento oxidado – perde elétrons - Zn

Agente oxidante – elemento reduzido – ganha elétrons - Cu



# Equação iônica geral de oxidação dos metais



DEVE-SE EVITAR O CONTATO ENTRE METAIS (AGENTES REDUTORES), COM AS SUBSTÂNCIAS OXIDANTES, QUE TENDEM A GANHAR ELÉTRONS  
PROCESSO VAI RESULTAR EM UM PROCESSO DE OXIRREDUÇÃO, COM CONSEQUENTE CORROSÃO DO METAL

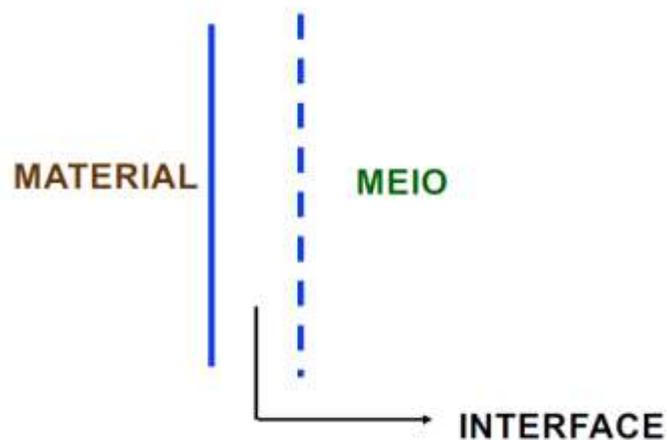
ÁCIDO REDUTOR: quando o oxidante é o cátion  $H^+$

ÁCIDO OXIDANTE: quando o oxidant é o ânion ( $NO_3$ )



# SISTEMA REDOX EM EQUILÍBRIO

## Dupla Camada



- Quando um metal é imerso numa solução eletrolítica, há o estabelecimento de uma diferença de potencial através da interface criada metal/solução, chamada de **diferença de potencial eletroquímico**.
- Um **eletrodo** é o sistema formado pelo metal e a solução eletrolítica vizinha

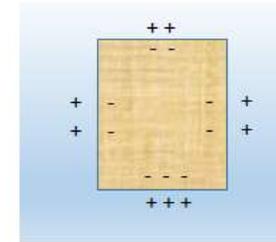
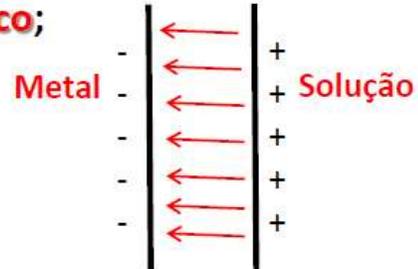
A dupla camada elétrica é originada da separação de cargas na interface (região de contato entre duas fases condensadas).



# DUPLA CAMADA

## Formação da DDP

- ✓ O acúmulo de cargas negativas no eletrodo induz o alinhamento de cargas positivas do lado da solução – **dupla camada elétrica**;
- ✓ Surge uma **diferença de potencial (ddp)** entre o metal e a solução;
- ✓ As espécies que sofrerão reação terão que realizar **trabalho a favor ou contra o campo elétrico**;



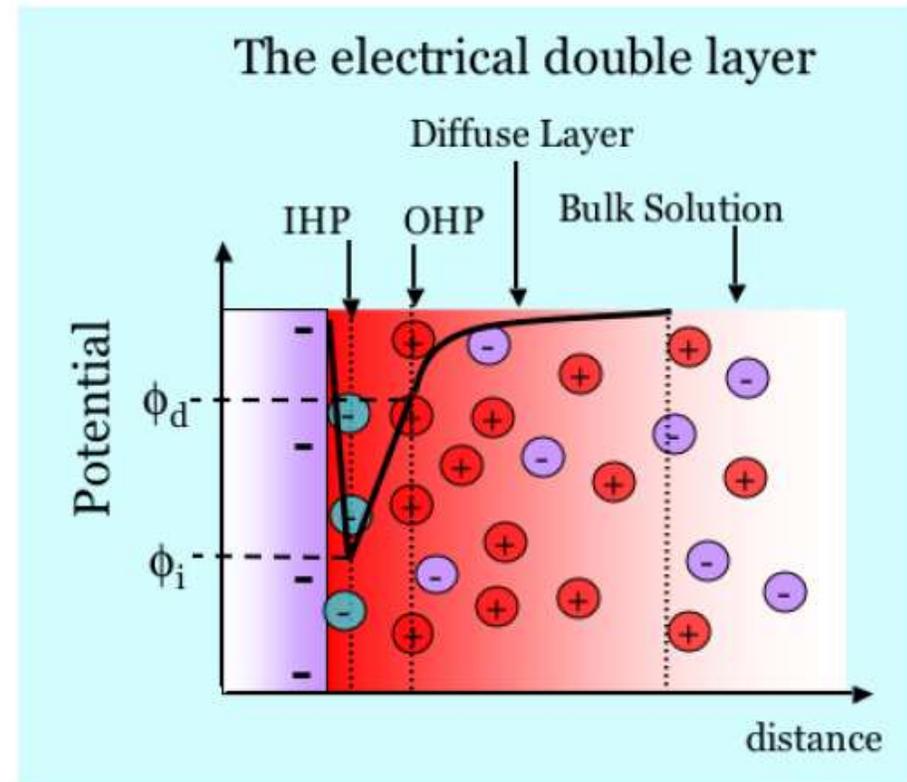
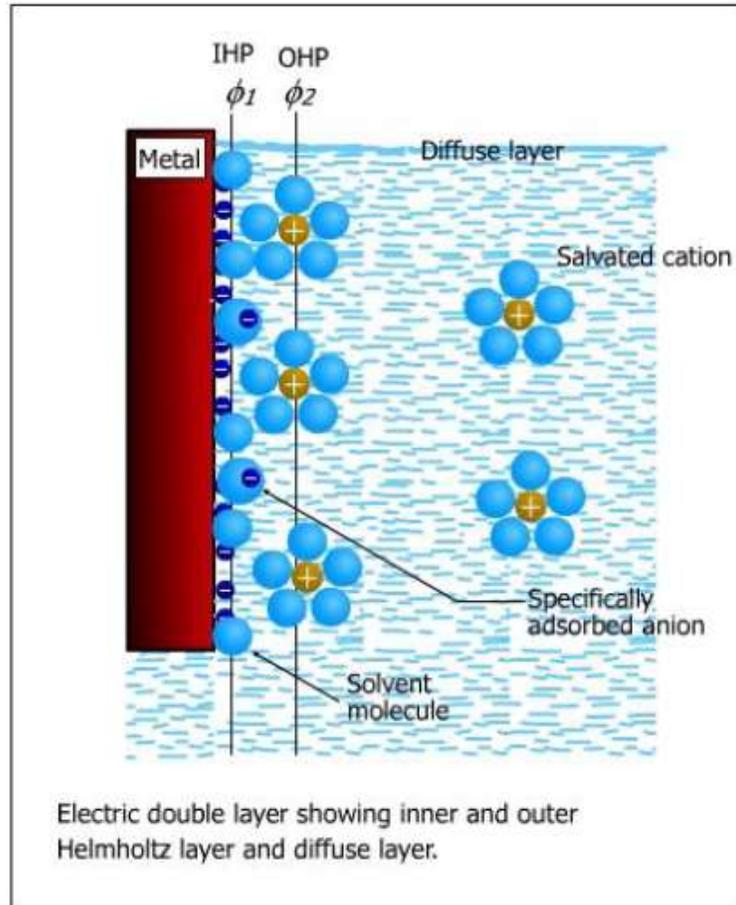
**O campo elétrico se intensifica até que as duas reações passem a ocorrer com a mesma intensidade – EQUILÍBRIO.**

- ✓ A partir do instante em que ocorre o **alinhamento de cargas** e o **aparecimento da ddp**:
  - ❖ Um átomo que **sai do metal** e vai para a solução realiza **trabalho contra o campo elétrico**;
  - ❖ Um íon que **deixa a solução** para se incorporar ao reticulado cristalino do metal realiza **trabalho a favor do campo elétrico**.

**Reação Eletroquímica**



# MODELO DE GRAHAME





# LEITURA COMPLEMENTAR

1- R. Ulicke M. A. Evans –1926 (*The Metal Industry*, n.19, Nov. 1926, p. 481-482; 507-508);

2- Moreira, C.V.C, Cirino, J.A. Reprodução do Experimento da Gota Salina com Caracterização de Materiais: uma visão interdisciplinária – 22 CBECIMAT – 2016.

3- [https://web.nmsu.edu/~snsm/classes/chem435/Lab14/double\\_layer.html](https://web.nmsu.edu/~snsm/classes/chem435/Lab14/double_layer.html)

4- [https://www.garmanage.com/atelier/index.cgi?path=public&B&Energy\\_storage&B&Supercapacitors&B&Double\\_layer&&id=psyitefg](https://www.garmanage.com/atelier/index.cgi?path=public&B&Energy_storage&B&Supercapacitors&B&Double_layer&&id=psyitefg)



Half-Reaction	$E^{\circ}_{red}$
$Ag^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Ag$	0.7996
$Al^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Al$	-1.706
$Au^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Au$	1.68
$Cl_2(g) + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 Cl^{-}$	1.3583
$Co^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Co$	-0.28
$Cr^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Cr$	-0.74
$Cu^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0.522
$Cu^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0.3402
$Fe^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Fe$	-0.409
$Fe^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Fe$	-0.036
$2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons H_2$	0.0000...
$H_2O_2 + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 OH^{-}$	0.88
$H_2O_2 + 2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.776
$Hg^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Hg$	0.851
$Hg_2^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Hg$	0.7961
$K^{+} + e^{-} \rightleftharpoons K$	-2.924
$Mg^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Mg$	-2.375
$Mn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Mn$	-1.04
$Na^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Na$	-2.7109
$Ni^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Ni$	-0.23
$O_2 + 2 H_2O + 4 e^{-} \rightleftharpoons 4 OH^{-}$	0.401
$O_2 + 4 H^{+} + 4 e^{-} \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.229
$O_3(g) + 2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons O_2(g) + H_2O$	2.07
$Pb^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pb$	-0.1263
$PbO_2 + 4 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2 H_2O$	1.467
$Pt^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pt$	1.2
$Sn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Sn$	-0.1364
$Zn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Zn$	-0.7628

Potencial de Eletrodo Padrão em ordem alfabética

Half-Reaction	$E^{\circ}_{red}$
$O_3(g) + 2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons O_2(g) + H_2O$	2.07
$H_2O_2 + 2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.776
$Au^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Au$	1.68
$PbO_2 + 4 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2 H_2O$	1.467
$Cl_2(g) + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 Cl^{-}$	1.3583
$O_2 + 4 H^{+} + 4 e^{-} \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.229
$Pt^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pt$	1.2
$H_2O_2 + 2 e^{-} \rightleftharpoons 2 OH^{-}$	0.88
$Hg^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Hg$	0.851
$Ag^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Ag$	0.7996
$Hg_2^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Hg$	0.7961
$Cu^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0.522
$O_2 + 2 H_2O + 4 e^{-} \rightleftharpoons 4 OH^{-}$	0.401
$Cu^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0.3402
$2 H^{+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons H_2$	0.0000...
$Fe^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Fe$	-0.036
$Pb^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Pb$	-0.1263
$Sn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Sn$	-0.1364
$Ni^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Ni$	-0.23
$Co^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Co$	-0.28
$Fe^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Fe$	-0.409
$Cr^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Cr$	-0.74
$Zn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Zn$	-0.7628
$Mn^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Mn$	-1.04
$Al^{3+} + 3 e^{-} \rightleftharpoons Al$	-1.706
$Mg^{2+} + 2 e^{-} \rightleftharpoons Mg$	-2.375
$Na^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Na$	-2.7109
$K^{+} + e^{-} \rightleftharpoons K$	-2.924

Potencial de Eletrodo Padrão em ordem decrescente de potencial

Fonte: Corrosion Engineering Principles and Practice Pierre R. Roberge, Ph.D.