

Propriedades Periódicas

Química Geral Teórica

Prof. Guilherme Duarte, Ph. D.

A tabela periódica é uma das ferramentas mais úteis para profissionais de química. Por meio dela, somos capazes de identificar rapidamente tendências e propriedades importantes sem termos informações precisas em um catálogo. A tabela periódica funciona como um excelente resumo condensado e o objetivo desta aula é relacionar a periodicidade das propriedades com o estudo da estrutura eletrônica dos átomos feito ao longo das últimas aulas. Para facilitar o acompanhamento da aula, há uma tabela periódica na última página deste documento.

1 A tabela periódica

Muitos elementos químicos apresentam similaridades entre si e, ao longo do século XIX, foram inúmeras as tentativas de organizar os elementos de forma a juntar em grupos os elementos que apresentavam propriedades similares. A forma mais bem sucedida de organizá-los teve início com a organização dos elementos sequencialmente por ordem de número atômico, em que se observou alguns padrões sendo repetidos: É importante notar que os átomos identificados com (a) têm

Z	1	2	3	4	...	9	10	11	12	...	17	18	19	20	...
Símbolo	H	He	Li	Be	...	F	Ne	Na	Mg	...	Cl	Ar	K	Ca	...
	(a)	(b)				(a)	(b)				(a)	(b)			

características importantes em comum: são gases que dificilmente formam compostos poliatómicos, existindo primariamente como gases monoatômicos. Os átomos identificados com (b), por sua vez, são metais macios (podem ser cortados com faca doméstica) porém bastante reativos, sendo necessário guardá-los em ambiente que impeça o seu contato com o ar atmosférico ou com água. Curiosamente, o número atômico desses metais é sempre $Z_{(b)} = Z_{(a)} + 1$, indicando um padrão que se repete à medida que se aumenta o número atômico dos elementos em sequência.

A figura mostra a Tabela Periódica dos Elementos Simplificada. Ela é organizada em 18 colunas numeradas de 1 a 18. Cada coluna contém o símbolo do elemento, seu nome, o número atômico (Z) e algumas propriedades adicionais. Os elementos são agrupados por grupo, com o grupo 18 (os gases nobres) no topo e o grupo 17 (os halogênios) na base. O grupo 13 (os pnictígenos) é dividido em duas partes: o grupo 13 superior (B, C, N, O, F, Ne) e o grupo 13 inferior (Al, Si, P, S, Cl, Ar). O grupo 17 (F, Cl, Br, I, At) é dividido em duas partes: o grupo 17 superior (F, Cl, Br, I) e o grupo 17 inferior (At).

1	H hidrogênio	2													18																				
3	Li lítio	4	Be berílio	5		6		7		8		9		10																					
11	Na sódio	12	Mg magnésio	13	Ti titânio	24	Cr cromo	25	Mn manganês	26	Fe ferro	27	Ni níquel	28	Cu cobre	29	Zn zinco																		
19	K potássio	20	Ca cálcio	21	Sc silício	31	Co cobalto	32	Ni níquel	33	As arséniico	34	Se selênio	35	Br bromo	36	Kr kriptônio																		
37	Rb rubidio	38	Sr estrônio	39	Y iodo	40	Zr zirconio	41	Nb niobio	42	Mo molibdénio	43	Tc tecnetio	44	Ru rufo	45	Pd platina	46	Ag prata	47	Cd calio	48	Ga galio	49	In indio	50	Ge gálio	51	Se selênio	52	Te telúrio	53	I iodio	54	Xe xeno
55	Cs césio	56	Ba bário	57 a 71	Ta tungstênio	72	W tungstênio	73	Re rene	74	Ox óxido	75	Os ósmio	76	Pt platina	77	Ru rufo	78	Hg mercúrio	79	Tl telúrio	80	Pb chumbo	81	Bi bismuto	82	Po polônio	83	At atase	84	Rn radônio				
87	Fr francio	88 a 103	Rf rutherfordio	89	Ds dubônio	90	Sg sestóbio	91	Bh bôrio	92	Hs hassio	93	Mt metatrônio	94	Ds darmstadtio	95	Rg rhenio	96	Cn coperníco	97	Nh nhônio	98	Tl telúrio	99	Pb chumbo	100	Bi bismuto	101	Po polônio	102	At atase	103	Rn radônio		
107	La lanthanio	108	Ce cério	109	Pr praseodímio	110	Nd neodímio	111	Pm promecio	112	Sm samário	113	Eu européio	114	Gd gadolínio	115	Tb terbécio	116	Dy disprídio	117	Ho holmio	118	Tm tântalo	119	Yb luteício	120	Lu lutecio								
143	Ac actínio	144	Th tório	145	Pa protactínio	146	U urânio	147	Np neptúnio	148	Pu plutônio	149	Am americio	150	Cm curio	151	Bk berécio	152	Cf califônio	153	Es astútrio	154	Fm fermio	155	Md mendelevio	156	No nobelio	157	Lr luteúcio						

Figura 1: Tabela periódica dos elementos simplificada.

Hoje em dia organizamos os elementos químicos na tabela periódica, conforme pode ser visto na Figura 1. Acima de cada coluna há um número de 1 até 18 representando o **grupo**. Chamamos

de grupo uma coleção de elementos com propriedades físico-químicas semelhantes. Observe que os elementos anteriormente identificado como gases inertes (He, Ne, Ar) estão no **grupo 18** e recebem o nome coletivo de **gases nobres**. Os metais macios e reativos estão no **grupo 1** e recebem o nome coletivo de **metais alcalinos**. O hidrogênio não é um metal, mas é colocado sobre esse grupo devido à sua valência, ser do tipo s^1 , como todos os elementos do grupo. Cada grupo é caracterizado por uma configuração eletrônica:

- (I) Grupo 1, também chamado de metais alcalinos, tem configuração eletrônica terminada em ns^1
- (II) Grupo 2, também chamado de **metais alcalinos terrosos**, tem configuração eletrônica terminada em ns^2
- (III) Grupo 3 é o primeiro grupo dos **elementos de transição** e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^1ns^2$.
- (IV) Grupo 4 é o segundo grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^2ns^2$.
- (V) Grupo 5 é o terceiro grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^3ns^2$.
- (VI) Grupo 6 é o quarto grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^5ns^1$. Perceba que a configuração eletrônica desses átomos é diferente do que se espera porque ter cinco orbitais $(n - 1)d$ semi-preenchidos é mais energeticamente favorável, conforme discutido em aulas passadas.
- (VII) Grupo 7 o quinto grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^5ns^2$.
- (VIII) Grupo 8 o sexto grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^6ns^2$.
- (IX) Grupo 9 o sétimo grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^7ns^2$.
- (X) Grupo 10 o oitavo grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^8ns^2$.
- (XI) Grupo 11 o nono grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^10ns^1$. Assim como os elementos do grupo 6, a configuração eletrônica é diferente do que o esperado porque ter cinco orbitais $(n - 1)d$ totalmente preenchidos é mais energeticamente favorável. É o grupo com metais nobres como o cobre (Cu), a prata (Ag) e o ouro (Au).
- (XII) Grupo 12 o décimo grupo dos elementos de transição e tem configuração eletrônica terminada em $(n - 1)d^10ns^2$.
- (XIII) Grupo 13, conhecido como grupo do boro (B), tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^1

- (XIV) Grupo 14, conhecido como grupo do carbono (C), tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^2 .
- (XV) Grupo 15, conhecido como grupo do nitrogênio (N) ou pnictogênios, tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^3 .
- (XVI) Grupo 16, conhecido como **calcogênios**, tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^4 .
- (XVII) Grupo 17, conhecido como **halogênios**, tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^5 .
- (XVIII) Grupo 18, os gases nobres, tem configuração eletrônica terminada em ns^2np^6 .

Na tabela periódica no final deste documento também é possível ver que a maior parte dos elementos são **metais** – todos os grupos de 1 ao 12 e alguns elementos nos grupos 13 a 17 –, isto é, elementos químicos caracterizados por brilho, condutividades elétrica e térmicas altas. Com exceção do mercúrio (Hg), que é líquido em temperatura ambiente, todos são sólidos. O segundo maior grupo são os **ametais**, que em condições ambiente de temperatura e pressão tendem a ser gases ou sólidos. Somente o bromo (Br) é líquido nessas condições. Os chamados **semi-metais** ou **metaloïdes** são um pequeno conjunto de sete elementos (B, Si, Ge, As, Sb, Te e Po) com propriedades intermediárias entre metais e ametais.

O número quântico principal n define a linha ou o **período** da tabela periódica em que o elemento se insere. Observe que o primeiro período somente tem dois elementos, o hidrogênio e o hélio, porque a camada de valência correspondente, 1s, somente comporta dois elétrons. À medida que n aumenta, também aumenta a disponibilidade de ocupação de mais tipos diferentes de orbitais no estado fundamental. No caso do sexto e do sétimo períodos ($n = 6$ e $n = 7$) os orbitais 4f começam a ser ocupados e definem os **elementos de transição interna**: lantanídeos (ou **terrás raras**) e actinídeos. Por isso a Figura 1 contém as duas linhas abaixo, cada uma com 14 elementos, representando esses grupos. Uma representação mais adequada (e menos condensada) envolve a adição dos elementos de transição interna logo depois do grupo 2, como na Figura 2. Neste curso, focaremos nos **elementos representativos**, isto é, os elementos dos grupos 1,2, 13, 14, 15, 16, 17 e 18. Uma observação importante: antigamente os elementos representativos e os elementos de

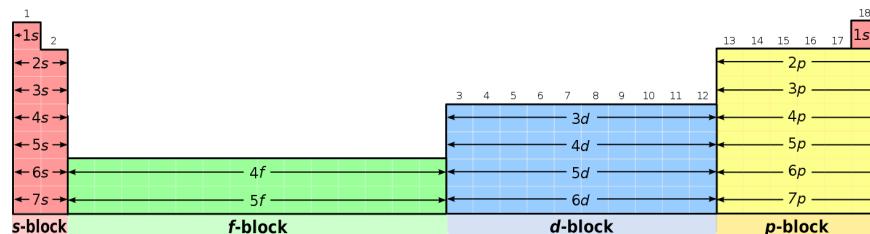


Figura 2: Tabela periódica indicando a posição dos elementos de transição interna (*f-block*).

transição eram nomeados de forma diferente. Os grupos 1,2, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 eram chamados de famílias 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A e 8A e os grupos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 eram chamados, respectivamente, de famílias 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B (contendo grupos 8, 9 e 10), 1B e 2B. Essa nomenclatura é antiga e não é mais recomendada, sendo usada principalmente por autores de áreas adjacentes à química.

2 Raios atômicos e raios iônicos

Sabemos que a influência da carga nuclear em elétrons de valência é diminuída em átomos multieletônicos. Isso se dá porque os elétrons das camadas mais interiores e, principalmente os elétrons em orbitais de baixo momentum angular, repelem os elétrons de valência e os fazem sentir uma carga nuclear mais atenuada. A carga nuclear efetiva influi diretamente no raio atômico da espécie em questão. Considere as cargas nucleares efetivas sentidas pelos elétrons de valência dos elementos representativos, com exceção dos gases nobres, do segundo até o quinto período: Já sabemos de

	ns^1	ns^2	ns^2np^1	ns^2np^2	ns^2np^3	ns^2np^4	ns^2np^5
$n = 2$	Li 1.28	Be 1.91	B 2.42	C 3.14	N 3.83	O 4.45	F 5.10
$n = 3$	Na 2.51	Mg 3.31	Al 4.07	Si 4.29	P 4.89	S 5.48	Cl 6.12
$n = 4$	K 3.50	Ca 4.40	Ga 6.22	Ge 6.78	As 7.45	Se 8.29	Br 9.03
$n = 5$	Rb 4.99	Sr 6.07	In 8.47	Sn 9.10	Sb 10.00	Te 10.81	I 11.61

aulas anteriores que quanto maior o n , maior a distância média entre o núcleo e o elétron no orbital. A nossa análise se torna completa ao observarmos que a carga nuclear efetiva aumenta ao longo de um período, sugerindo que os elétrons das camadas mais externas são mais atraídos em direção ao núcleo. Podemos inferir duas tendências:

1. o raio atômico aumenta com o aumento do número quântico principal, n .
2. o raio atômico diminui com o aumento da carga nuclear efetiva, Z_{efetivo} , sentido por elétrons em camadas eletrônicas mais externas.

As tendências inferidas logicamente acima são confirmadas por medições experimentais, mostrando a tendência geral de aumento do raio atômico no sentido de aumento de n e menor carga nuclear efetiva (Figura 3).

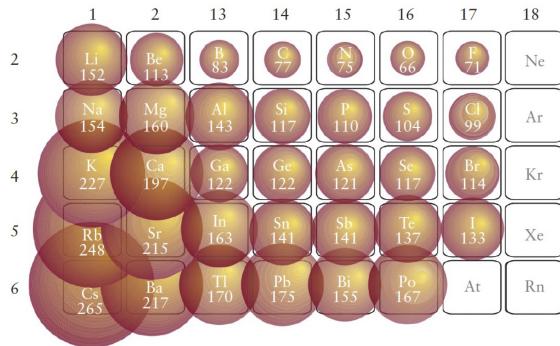


Figura 3: Raios atômicos de elementos representativos em pm. Retirada de Atkins, Jones e Laverman, *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 7th Edition.

A maior parte dessas espécies, entretanto, se encontra na natureza em substâncias compostas, muitas vezes assumindo a forma iônica. Quando estudarmos um pouco da estruturas de sólidos, veremos que o raio iônico tem um papel muito importante na definição do empacotamento. O comprimento do raio depende, além dos fatores discutidos para a definição do raio atômico, se o íon é um cátion ou um ânion. Cátions, por terem carga positiva, têm raio iônico menor que o raio atômico da espécie neutra. Ânions, por terem carga negativa, possuem raio iônico maior que o raio atômico da espécie neutra. A explicação desse fenômeno é de natureza puramente eletrostática: em um cátion, a perda de elétrons faz o “caroço” do átomo ficar exposto; em um ânion, a adição de elétrons faz a repulsão intereletrônica aumentar a distância média entre os elétrons, o que implica em um aumento do raio. Essa lógica também é confirmada por experimentos (Figura 4). De forma geral, podemos dizer que, em um mesmo grupo, o raio iônico aumenta com n . No mesmo período, o raio iônico, seja de um cátion ou de um ânion, cresce quanto menor for a carga nuclear.

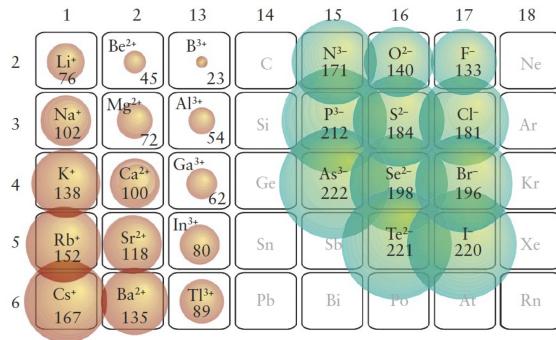


Figura 4: Raios iônicos de elementos representativos em pm. Retirada de Atkins, Jones e Laverman, *Chemical Principles: The Quest for Insight, 7th Edition*.

3 Energias de ionização, afinidades eletrônicas e eletronegatividade

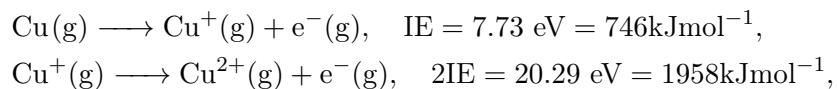
A formação de íons depende da remoção de elétrons e sua transferência para outros átomos e a estabilidade da espécie resultante do processo é avaliada por meio das **energias de ionização** ou pelas **afinidades eletrônicas**. Chamamos de energia de ionização a energia mínima requerida para remover um elétron de um átomo neutro em fase gasosa:



em que A é um átomo qualquer, (g) se refere à fase gasosa e e^- é o elétron perdido no processo de ionização. A energia de ionização é definida como a diferença de energia entre o cátion (estado final) e o átomo neutro (estado inicial):

$$\text{EI} = E(\text{A}^+) - E(\text{A}). \quad (2)$$

A energia de ionização é uma medida de quão difícil é remover um elétron. Por conta disso, podemos inferir que remover elétrons de cátions é mais difícil do que remover elétrons de espécies neutras, como podemos perceber no exemplo a seguir:



em que 2IE se refere à **segunda energia de ionização**. Elementos com baixa energia de ionização dificilmente formam cátions e não são bons condutores de eletricidade. As primeiras energias de ionização dos elementos representativos podem ser vistos na Figura 5. Observe que, quanto mais

			H 1310					
2	Li 519	Be 900	B 799	C 1090	N 1400	O 1310	F 1680	Ne 2080
3	Na 494	Mg 736	Al 577	Si 786	P 1011	S 1000	Cl 1255	Ar 1520
4	K 418	Ca 590	Ga 577	Ge 784	As 947	Se 941	Br 1140	Kr 1350
5	Rb 402	Sr 548	In 556	Sn 707	Sb 834	Te 870	I 1008	Xe 1170
6	Cs 376	Ba 502	Tl 590	Pb 716	Bi 703	Po 812	At 1037	Rn 1036

Figura 5: Primeira energia de ionização (EI) de elementos representativos em kJ mol^{-1} . Retirada de Atkins, Jones e Laverman, *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 7th Edition.

próximo da configuração eletrônica de um gás nobre, maior é a EI, assim como quanto menor for o número quântico principal, n , da camada de valência. Essas tendências podem ser observadas ao longo da tabela periódica:

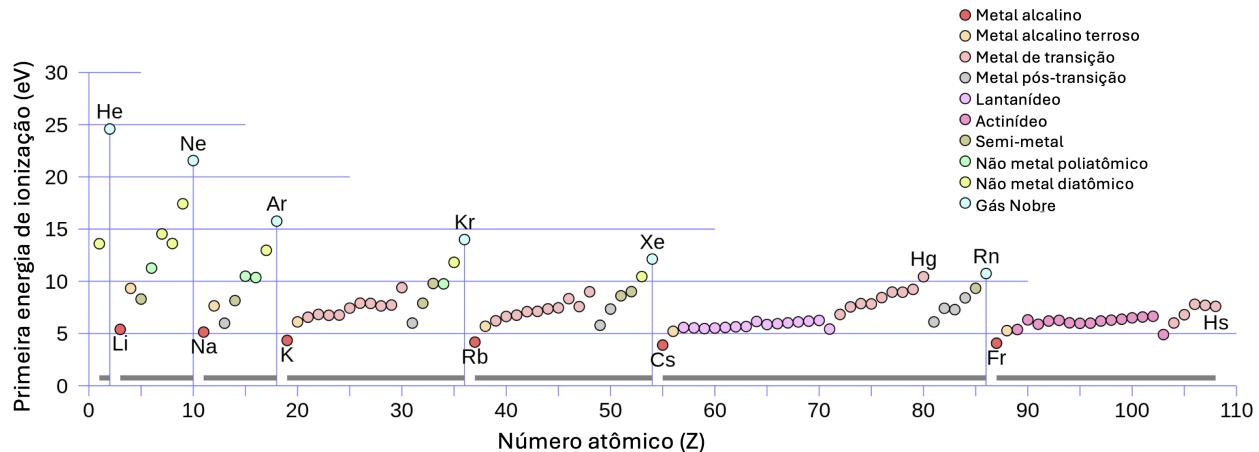


Figura 6: Primeiras energias de ionização (EI) em função do número atômico.

A afinidade eletrônica (AE), por sua vez, é definida como a energia liberada quando, em fase gasosa, átomos de um elemento recebem um elétron e se tornam uma espécie aniônica:



Por convenção, a AE é calculada como:

$$\Delta E = E(A) - E(A^-), \quad (4)$$

significando que quanto maior for o seu valor, maior a afinidade. As afinidades eletrônicas são maiores à direita na tabela periódica devido à tendência dos elementos de quererem ter a configuração

ração eletrônica de gases nobres, com a notável exceção dos mesmos. Perceba que o oxigênio e o

					H +73			
	1	2	13	14	15	16	17	18
2	Li +60	Be ≤ 0	B +27	C +122	N -7	O +141 -844	F +328	He <0
3	Na +53	Mg ≤ 0	Al +43	Si +134	P +72	S +200, -532	Cl +349	Ne <0
4	K +48	Ca +2	Ga +29	Ge +116	As +78	Se +195	Br +325	Kr <0
5	Rb +47	Sr +5	In +29	Sn +116	Sb +103	Te +190	I +295	Xe <0
6	Cs +46	Ba +14	Tl +19	Pb +35	Bi +91	Po +174	At +270	Rn <0

Figura 7: Afinidade eletrônica (AE) de elementos representativos em kJ mol^{-1} . Retirada de Atkins, Jones e Laverman, *Chemical Principles: The Quest for Insight*, 7th Edition.

enxofre possuem dois valores para a afinidade eletrônica em destaque, a primeira estabilizante e a segunda desestabilizante. Isso é explicado porque a segunda afinidade eletrônica significa adicionar um elétron a um ânion e envolve uma repulsão eletrostática. A tendência geral de comportamento da AE na tabela periódica pode ser encontrada na Figura 8.

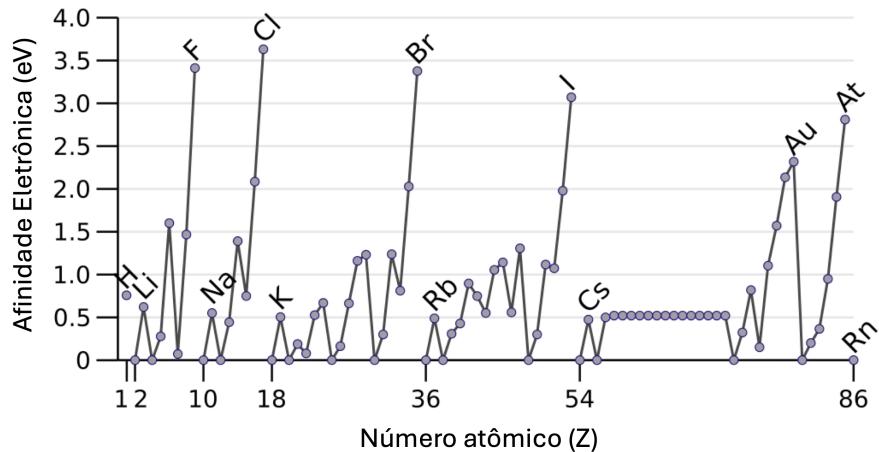


Figura 8: Afinidades eletrônicas (AE) em função do número atômico. Observe que os gases nobres estão todos com $\text{AE}=0$.

Um conceito muito utilizado em química é a **eletronegatividade**, a tendência de um átomo em atrair elétrons compartilhados (“puzar” densidade eletrônica para si) quando formada uma ligação química. Não há uma única forma de definir a eletronegatividade, mas um dos conceitos mais intuitivos é o conceito de Mulliken, que define eletronegatividade (χ) como:

$$\chi = \frac{EI + AE}{2}, \quad (5)$$

cujas unidades dependem dos valores empregados para EI e AE. Observando a Equação 5 verifica-se que quanto maior forem a EI e AE, mais eletronegativo será o átomo em questão, sugerindo que a mesma tendência observada para essas quantidades sejam replicadas para a eletronegatividade.

Linus Pauling definiu uma escala própria, mais utilizada em livros-texto, que define a eletronegatividade entre os valores de zero e quatro, calculados a partir de dados empíricos de energias de dissociação de ligações químicas (assunto de aulas futuras):

He																	
H 2.20	Li 0.98	Be 1.57															
Na 0.93	Mg 1.31																
K 0.82	Ca 1.00																
Rb 0.82	Sr 0.95																
Cs 0.79	Ba 0.89	*															
Fr *>0.79	Ra 0.9	*															
Sc 1.36	Ti 1.54	V 1.63	Cr 1.66	Mn 1.55	Fe 1.83	Co 1.88	Ni 1.91	Cu 1.90	Zn 1.65	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96	Kr 3.00		
Y 1.22	Zr 1.33	Nb 1.6	Mo 2.16	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.28	Pd 2.20	Ag 1.93	Cd 1.69	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.1	I 2.66	Xe 2.60		
Lu 1.27	Hf 1.3	Ta 1.5	W 2.36	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.20	Pt 2.28	Au 2.54	Hg 2.00	Tl 1.62	Pb 2.33	Bi 2.02	Po 2.0	At 2.2	Rn 2.2		
Lr 1.3	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og		
*	La 1.1	Ce 1.12	Pr 1.13	Nd 1.14	Pm 1.13	Sm 1.17	Eu 1.2	Gd 1.2	Tb 1.1	Dy 1.22	Ho 1.23	Er 1.24	Tm 1.25	Yb 1.1			
*	Ac 1.1	Th 1.3	Pa 1.5	U 1.38	Np 1.36	Pu 1.28	Am 1.13	Cm 1.28	Bk 1.3	Cf 1.3	Es 1.3	Fm 1.3	Md 1.3	No 1.3			

He																	
H -13.61																	He -24.59
Li -5.39	Be -9.32																
Na -5.14	Mg -7.65																
K -4.34	Ca -6.11	Sc -6.60	Ti -7.12	V -7.32	Cr -7.46	Mn -7.84	Fe -7.91	Co -8.10	Ni -8.22	Cu -8.42	Zn -9.39	Ga -12.61	Ge -16.05	N -19.43	O -25.56	F -32.38	Ne -40.17
Rb -4.18	Sr -5.70	Y -6.70	Zr -7.31	Nb -7.22	Mo -7.24	Tc -7.21	Ru -7.13	Rh -7.28	Pd -7.44	Ag -7.58	Cd -8.99	In -11.89	Sn -14.56	Sb -16.74	Te -18.71	I -20.89	Xe -23.40
Cs -3.90	Ba -5.21	La -7.04	Hf -7.52	Ta -8.45	W -8.52	Re -8.76	Os -8.82	Ir -8.83	Pt -8.75	Au -9.22	Hg -10.44	Tl -13.14	Pb -15.12	Bi -17.52	Po -20.05	At -22.69	Rn -25.47
Fr ?	Ra ?	Ac ?															

Figura 9: Eletronegatividades dos elementos da tabela periódica definidos segundo Linus Pauling. Nela, o elemento mais eletronegativo é o flúor, F, e o mais eletropositivo é o frâncio, Fr.

Chamamos os elementos menos eletronegativos de **eletropositivos**, isto é, aqueles que têm tendência de não “puxar” para si a densidade eletrônica em uma ligação química. É interessante perceber que, já que a eletronegatividade está relacionada à afinidade eletrônica e à energia de ionização, ela deve ter alguma relação com as energias dos orbitais de valência dos átomos. Na Figura 10 podemos ver que, desconsiderando os gases nobres, os átomos cujos orbitais de valência são os mais estáveis são aqueles cujos elementos são mais eletronegativos.

He																	
H -13.61																	He -24.59
Li -5.39	Be -9.32																
Na -5.14	Mg -7.65																
K -4.34	Ca -6.11	Sc -6.60	Ti -7.12	V -7.32	Cr -7.46	Mn -7.84	Fe -7.91	Co -8.10	Ni -8.22	Cu -8.42	Zn -9.39	Ga -12.61	Ge -16.05	N -19.43	O -25.56	F -32.38	Ne -40.17
Rb -4.18	Sr -5.70	Y -6.70	Zr -7.31	Nb -7.22	Mo -7.24	Tc -7.21	Ru -7.13	Rh -7.28	Pd -7.44	Ag -7.58	Cd -8.99	In -11.89	Sn -14.56	Sb -16.74	Te -18.71	I -20.89	Xe -23.40
Cs -3.90	Ba -5.21	La -7.04	Hf -7.52	Ta -8.45	W -8.52	Re -8.76	Os -8.82	Ir -8.83	Pt -8.75	Au -9.22	Hg -10.44	Tl -13.14	Pb -15.12	Bi -17.52	Po -20.05	At -22.69	Rn -25.47
Fr ?	Ra ?	Ac ?															

Figura 10: Energias dos orbitais de valência dos átomos da tabela periódica, excluídos lantanídeos e actinídeos. Dados de espectroscopia fotoeletrônica. Adaptado de <<http://www.graylark.com/eve/orbital-energies-table.html>>

4 Cátions, ânions e números de oxidação

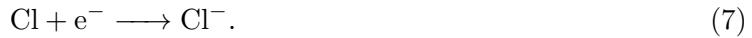
Questionamentos a respeito da estabilidade dos gases nobres, elementos de camada de valência ns^2np^6 provocou o surgimento da chamada **regra do octeto**, segundo a qual os elementos químicos procuram se estabilizar ficando com a configuração eletrônica de gases nobres. Infelizmente a regra do octeto não é uma regra universal, mas é bastante útil para compreender a química dos elementos representativos.

Perceba que a própria posição na tabela periódica já permite a identificação imediata da estrutura eletrônica. Um elemento do grupo 1, por exemplo, tem camada de valência ns^1 . Com exceção do átomo de hidrogênio, um membro honorário, a forma pela qual um átomo de um elemento do grupo 1 pode ficar com a configuração eletrônica de gás nobre se dá pela perda do elétron no orbital ns :



No caso do sódio (Equação 6) a sua configuração eletrônica passou de $1s^22s^22p^63s^1 = [\text{Ne}]3s^1$ para a configuração do neonio $1s^22s^22p^6 = [\text{Ne}]$. Como o átomo de sódio perdeu um elétron, ele se tornou uma espécie carregada, **íon**. Íons positivos são chamados de **cátions**. O processo representado pela Equação 6, a perda de elétrons, é chamada de **oxidação**.

Um elemento do grupo 17 tem camada de valência ns^2np^5 . Para ficar com camada de valência de um elemento do grupo 18, é mais fácil ganhar um elétron do que perder cinco:



Ao ganhar um elétron, o átomo de cloro na Equação 7 passou de $1s^22s^22p^63s^23p^5 = [\text{Ne}]3s^23p^5$ para $1s^22s^22p^63s^23p^6 = [\text{Ar}]$ e se tornou um íon de carga negativa, um **ânion**. O processo de ganho de elétrons é chamado de **redução**. Uma reação que envolve troca de elétrons entre duas espécies é chamada reação de redução-oxidação ou *redox*:



Na Equação 8, o sódio perde elétrons para ficar com configuração de gás nobre e o cloro ganha elétrons para ficar com configuração de gás nobre. Um conceito bastante útil em química é o conceito de **número de oxidação** (N_{ox}). Quanto maior for o N_{ox} , mais oxidada é a espécie, quanto menor, menos oxidada (ou mais reduzida). Em espécies monoatômicas, o N_{ox} tende a corresponder à carga do íon monoatômico com configuração de gás nobre. Na Equação 8, o sódio originalmente tem $N_{ox} = 0$, pois está na sua forma metálica. Da mesma forma, o cloro em moléculas de Cl_2 também tem $N_{ox} = 0$. No produto, cloreto de sódio (NaCl) o sódio perdeu um elétron e se tornou o cátion Na^+ , adquirindo $N_{ox} = +1$, e o cloro ganhou um elétron, se tornando o ânion Cl^- (cloreto), adquirindo $N_{ox} = -1$.

Os números de oxidação são propriedades que tendem a se repetir ao longo da tabela periódica. Elementos do grupo 1 tendem a se combinar quimicamente com outros elementos e ficar com $N_{ox} = +1$. Os metais alcalinos terrosos, por sua vez, tendem a ter $N_{ox} = +2$. Os elementos dos grupos 13, 14 e 15 costumam ter vários números de oxidação a depender de que outros elementos estão combinados com eles, assim como os elementos mais pesados dos grupos 16 e 17, mas como regra geral podemos determinar o N_{ox} observando as diferenças de eletronegatividade dos átomos presentes no composto. Flúor (F), oxigênio (O) e cloro (Cl), por serem elementos bastante eletronegativos, tenderão a ter

N_{ox} negativo ($N_{ox} = -1$ para F e Cl, $N_{ox} = -2$ para O; os metais alcalinos e alcalinos terrosos, por serem mais eletropositivos, sempre terão $N_{ox} = +1$ e $N_{ox} = +2$ se não estiverem em suas formas metálicas puras. A partir disso é possível inferir os números de oxidação de outros elementos.

Podemos compilar umas regras gerais para a determinação do N_{ox} :

- (a) Preste atenção em elementos com N_{ox} fixo, como os metais alcalinos, os metais alcalinos terrosos, e os halogênios.
- (b) O N_{ox} dos átomos em substâncias elementares será sempre zero.
- (c) O N_{ox} dos átomos de elementos mais eletronegativos em substâncias compostas tenderá a ser negativo. O N_{ox} dos átomos de elementos mais eletropositivos em substâncias compostas tenderá a ser positivo.
- (d) O N_{ox} de um íon monoatômico é igual a sua carga.
- (e) A soma dos N_{ox} de todos os átomos constituintes de um composto neutro (carga zero) é sempre zero. A soma dos N_{ox} de todos os átomos constituintes de uma espécie carregada é igual a carga da espécie, seja positiva ou negativa.

Considere o permanganato de potássio (KMnO_4). Para descobrir o N_{ox} de cada átomo, primeiramente procuramos saber quais são aqueles que têm N_{ox} definido. O potássio é um metal alcalino, logo em substâncias compostas sempre terá $N_{ox} = +1$, o que nos deixa o ânion permanganato (MnO_4^-). Em regra, metais de transição podem ter vários estados de oxidação, logo podemos assumir que os átomos de oxigênio têm $N_{ox} = -2$ cada um. Como a carga do íon é -1 , então a soma dos N_{ox} deve ser igual a carga, o que permite encontrar o N_{ox} do manganês:

$$N_{ox}(\text{Mn}) + 4N_{ox}(\text{O}) = -1 \implies N_{ox}(\text{Mn}) - 8 = -1 \implies N_{ox}(\text{Mn}) = +7.$$

5 Exercícios de fixação

1. Os átomos de hidrogênio ($Z = 1$) e hélio ($Z = 2$) em seus estados fundamentais somente têm acesso ao orbital $1s$. Explique a diferença entre os raios atômicos considerando que a carga nuclear efetiva sentida pelos elétrons nesses átomos são, respectivamente, $+1.00e$ e $+1.69e$. Dica: inclua em sua explicação a razão pelo qual Z_{efetivo} do hélio ser diferente de $+2.00e$.

2. Organize em ordem decrescente de raios atômicos ou iônicos e justifique mostrando a configuração eletrônica de cada espécie.

- (i) Te, I, Po, Ba, Xe.
- (ii) Be^{2+} , Cs^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} .

4. Calcule o N_{ox} de cada elemento nas seguintes espécies químicas abaixo:

- (i) CH₄
- (ii) CH₄O
- (iii) CH₂O
- (iv) CO
- (v) CO₂
- (vi) Cr₂O₇²⁻

1.00794 1332.0 Hidrogênio 1s ¹	H 2 1s ¹	2	massa atómica ou número de massa do isótopo mais estavel em Kármán	55.845 762.5 26	número atómico ou número de ionização	26 +6 +5 +4 +3 +2 +1 -2	electronegatividade
6.941 0.98 Lito 1s ² 2s ¹	Li 3 1s ¹	3	9.012182 899.5 1.57	Be Berílio 1s ² 2s ¹	4	1 ^a energia de ionização em Kármán	1.83
22.98976 0.93 Magnésio [Ar] 3s ²	Na Sódio [Ar] 3s ¹	12	24.3050 737.7 1.31	Ferro Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	26	nome	os mais comuns em negrito
39.99693 0.92 Potássio [Ar] 4s ¹	K Calício [Ar] 4s ¹	19	40.078 598.6 1.00	Ca Cálcio [Ar] 4s ²	20	configuração eletrônica [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	metálica
85.46778 0.92 Rubídio [K] 5s ¹	Rb Estônio [Ar] 4d ¹⁰ 5s ¹	37	87.62 548.5 0.96	Ti Tántalo [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	21	47.867 658.8 1.54	" não metálicas
132.90545 0.79 Césio [K] 6s ¹	Cs Césio [Ar] 4d ¹⁰ 5s ¹	56	137.327 523.6 0.89	Sc Escândio [Ar] 3d ¹⁰ 4s ²	22	50.9415 650.9 1.63	halogénios
223.0 0.70 Frâncio [Rn] 7s ¹	Fr Frâncio [Rn] 7s ¹	87	159.3 509.3 0.90	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	24	51.9962 652.9 1.66	outros metais
399.0 0.69 Ra [Rn] 8s ¹	Ra Ra [Rn] 8s ¹	88	399.0 509.3 0.90	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	23	54.93804 760.4 1.55	metais de transição
889.5 0.69 Urânio [Rn] 8s ²	U Protactínio [Rn] 8s ²	91	899.5 509.3 0.90	Mn Manganês [Ar] 3d ⁵ 4s ²	25	55.845 765.5 1.63	gases nobres
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	26	58.93319 760.4 1.91	propriedades químicas
232.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	V Vanádio [Ar] 3d ³ 4s ²	27	58.6934 765.5 1.88	desconhecidas
231.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Ni Níquel [Ar] 3d ⁸ 4s ²	27	58.93319 760.4 1.91	lantanídeos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	27	58.6934 765.5 1.88	actinídeos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	28	63.546 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Mn Manganês [Ar] 3d ⁵ 4s ²	28	63.546 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	28	63.546 765.5 1.90	outros metais
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	28	63.546 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	outros metais
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	La Lantâno [La] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
238.0 0.70 Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	Pa Protactínio [Th] 6s ² 7s ²	92	238.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
138.90545 0.79 Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	Ce Cerio [Ce] 5s ² 5p ⁶	57	140.9076 658.5 1.30	Fe Ferro [Ar] 3d ⁶ 4s ²	29	65.38 765.5 1.90	metálicos
232.0 0.70 Tótono [Th] 6s ² 7s ²	Th Tótono [Th] 6s ² 7s ²	90	232.0 509.0 1.30	Co Cobalto [Ar] 3d ⁷ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	" alcalinotetrosos
231.0 0.70 Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	Ac Actinio [Ac] 6s ² 7s ²	91	231.0 509.0 1.30	Cr Cromo [Ar] 3d ⁵ 4s ¹	29	65.38 765.5 1.90	metálicos