

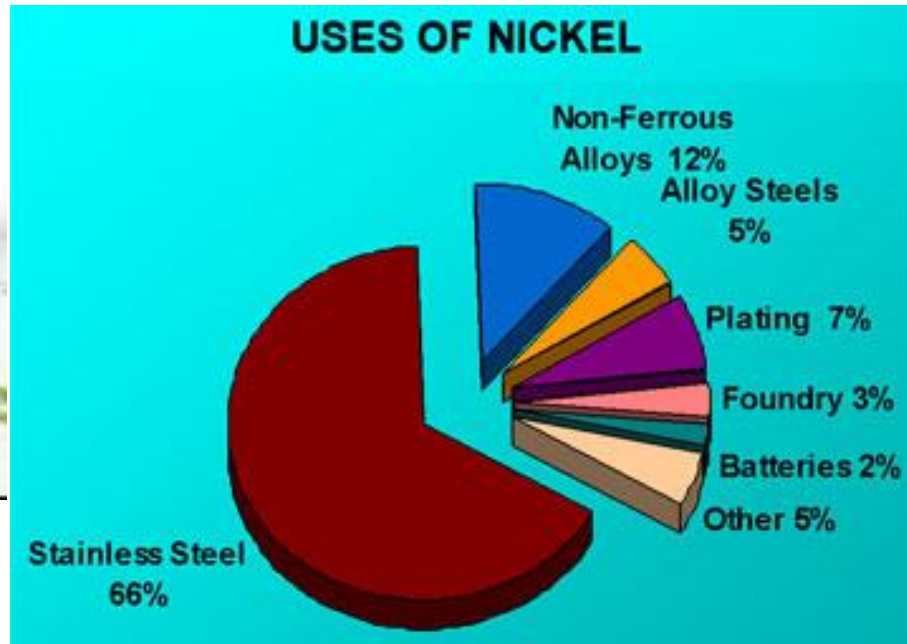
METALURGIA EXTRATIVA DOS NÃO FERROSOS

PMT 3409

PRODUÇÃO DE Ni

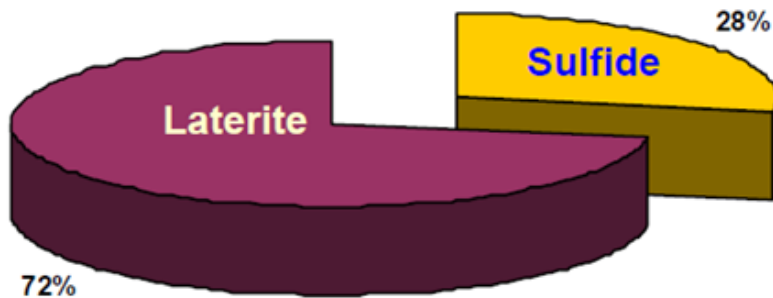
USOS DO NÍQUEL

- Aços inoxidáveis e aços ligados: 70%
- Ligas não ferrosas
 - Superligas: ligas resistentes à oxidação e à fluência
 - Bronzes

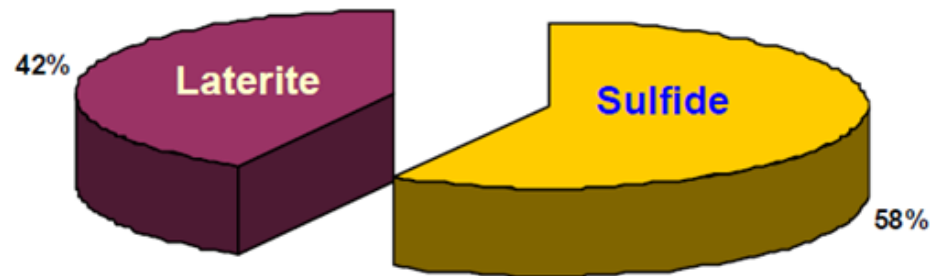


TIPOS E PRODUÇÃO

World Ni Resource on Land

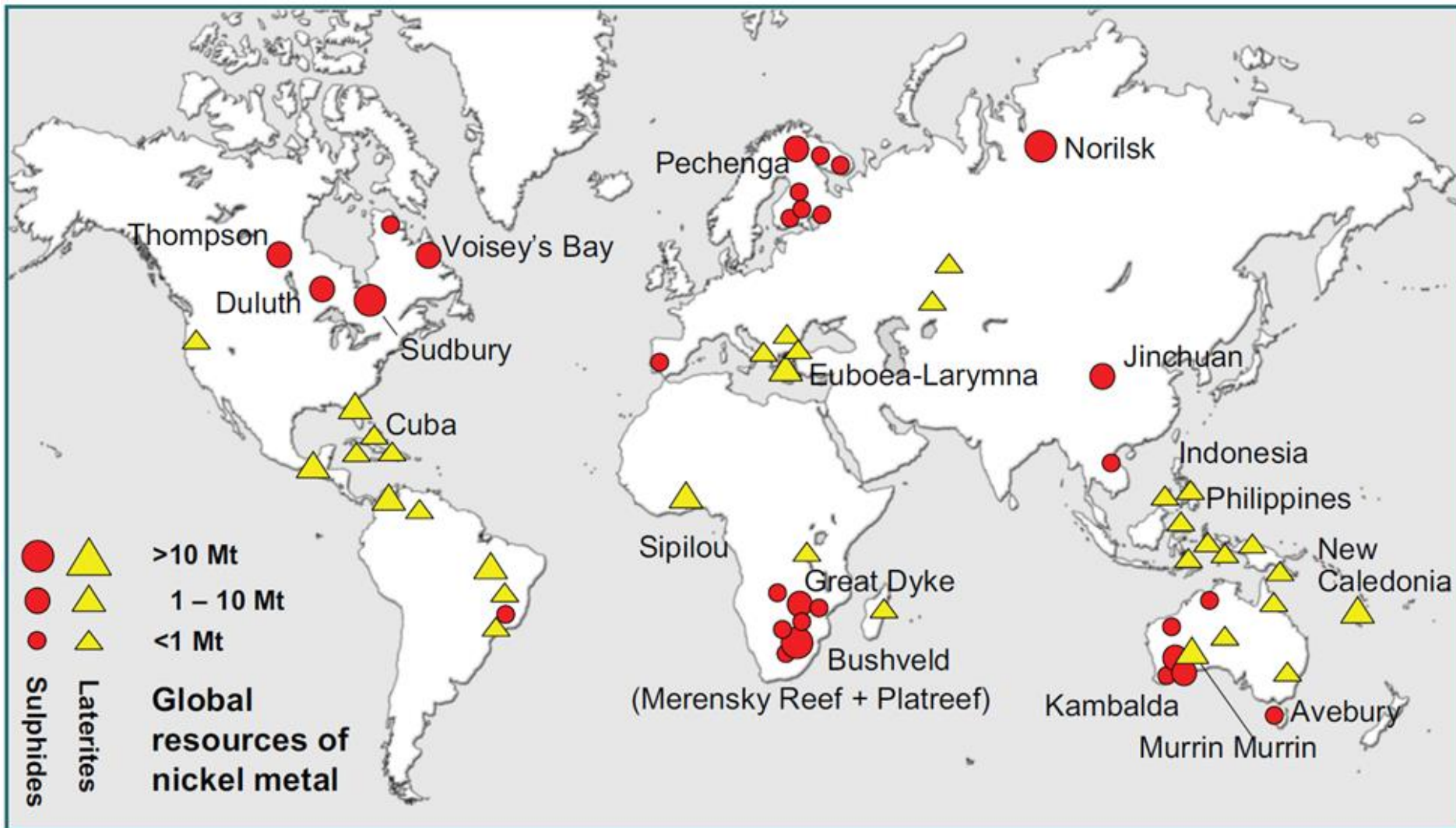


Primary Ni Production



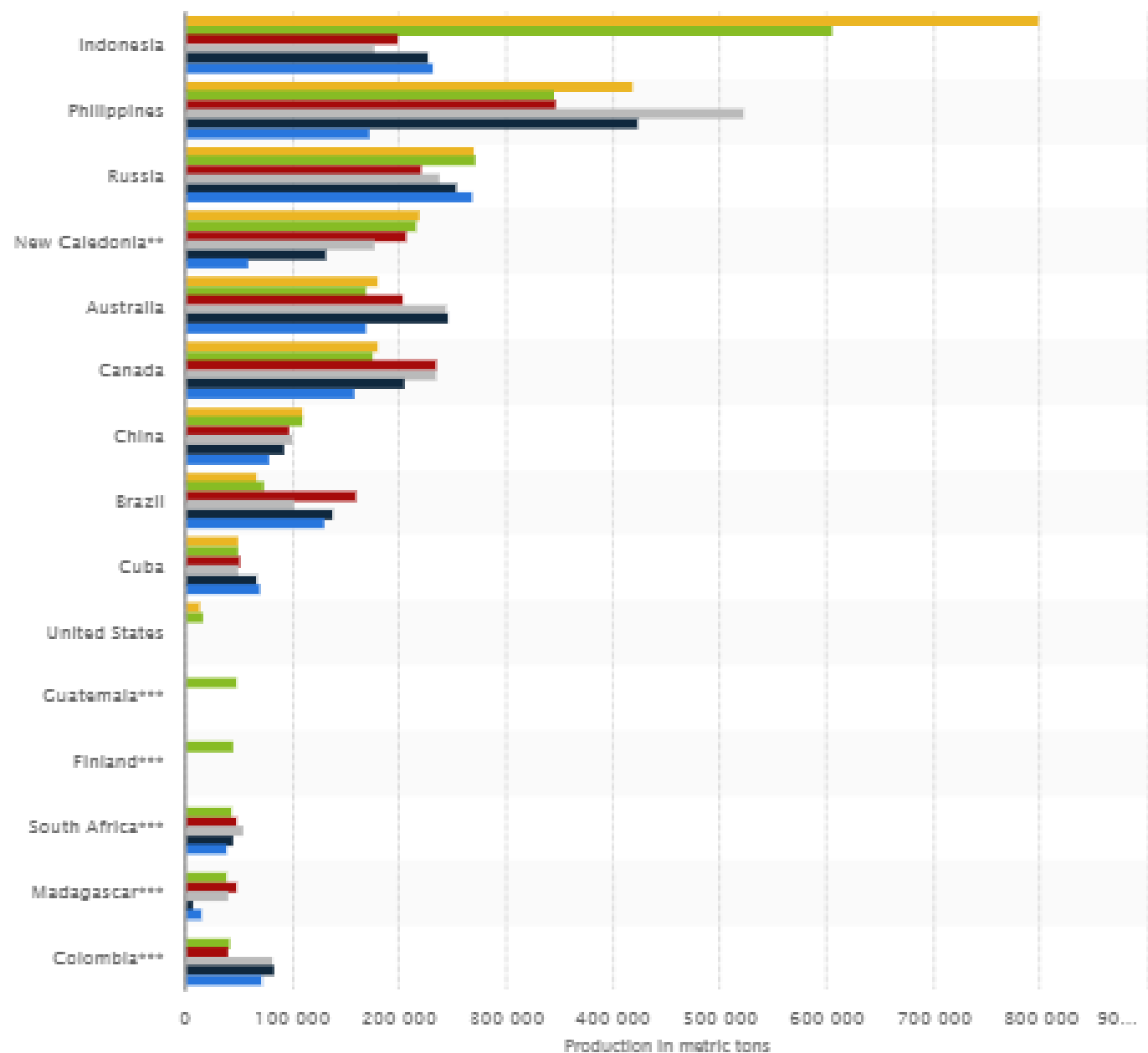
	MT Resource	% Ni	Mt Ni	% of Total
Sulphide	10500	0.58	62	27.8%
Laterite	12600	1.28	161	72.2%
Total	23100	0.97%	223	100

TIPOS E PRODUÇÃO



TIPOS E PRODUÇÃO

Discriminação	Reservas (10 ³ t)	Produção (10 ³ t)			
Países	2010	2008 ^(r)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil	7.532.310	67.116	41.059	108.983	6,8
Rússia	6.000.000	277.000	262.000	265.000	16,6
Indonésia	3.900.000	193.000	203.000	232.000	14,6
Filipinas	1.100.000	83.900	137.000	156.000	9,8
Canadá	3.800.000	260.000	137.000	155.000	9,7
Austrália	24.000.000	200.000	165.000	139.000	8,7
Nova Caledônia	7.100.000	103.000	92.800	138.000	8,7
China	3.000.000	68.400	79.400	77.000	4,8
Cuba	5.500.000	67.000	67.300	74.000	4,6
Colômbia	1.600.000	76.400	72.000	70.200	4,4
África do Sul	3.700.000	31.700	34.600	41.800	2,6
Botswana	490.000	38.000	28.600	32.400	2,0
Venezuela	490.000	13.000	13.200	14.300	0,9
Madagascar	1.300.000	-	-	7.500	0,5
República Dominicana	960.000	31.300	-	3.100	0,2
Outros países	4.500.000	46.000	51.700	77.800	4,9
TOTAL	74.972.310	1.555.816	1.384.659	1.592.083	100,0



● 2010 ● 2012 ● 2014 ● 2016 ● 2018 ● 2019*

TIPOS DE MINÉRIO

- **Sulfetados** (55% da produção de Ni):
 - Minas subterrâneas: maior custo de extração
 - Menor custo energético (15% do custo total)
 - Normalmente associado a Cu
 - Menor teor de Ni (<1%)

TIPOS DE MINÉRIO

- **Oxidados** (Lateríticos – 70% das reservas):
 - Normalmente encontrado em regiões tropicais
 - Minas abertas
 - Têm alta quantidade de água combinada e livre
 - Maior teor de Ni (>1%)
 - Maior custo energético (45% do custo total)

TIPOS DE MINÉRIO

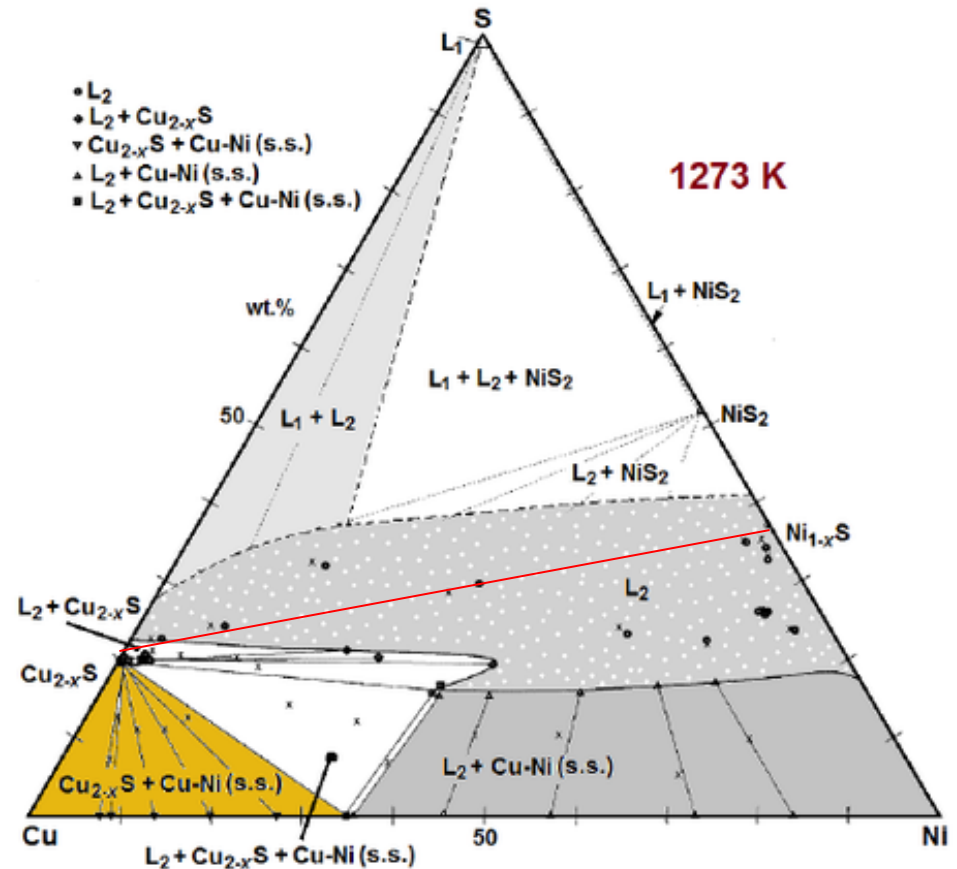
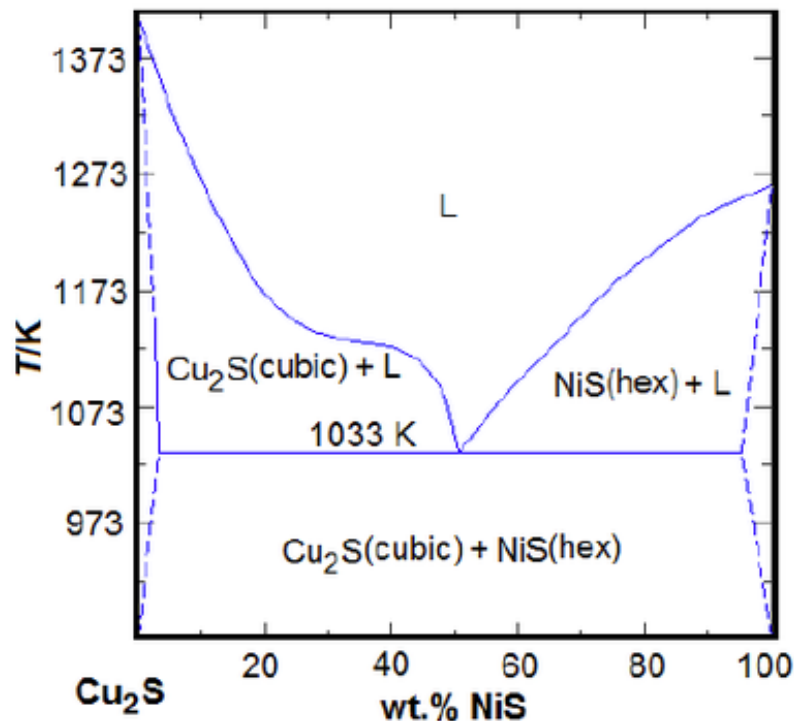
- **Oxidados**

- Limonita, asbolita: (1 a 1.7% Ni, 0.1 a 0.2 % Co); adequados para o processo PAL (*pressure acid leach*) e processo Caron
- Nontronita: (1 a 5% Ni, 0.05 a 0. % Co); adequados para o processo PAL e *matte smelting*
- Serpentinó: (1.5 a 10% Ni, 0.05 a 0.1 % Co); composição típica na faixa de 1- 2 % Ni e 0.05 a 0.07% Co; adequados para o processo pirometalúrgico (FeNi e *matte smelting*)
- Garnierita: (10 a 20% Ni, 0.05 a 0.1 % Co); composição típica na faixa de 2-3 % Ni e 0.05 a 0.1% Co; adequados para o processo pirometalúrgico (FeNi e *matte smelting mas especialmente para FeNi AC*)

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

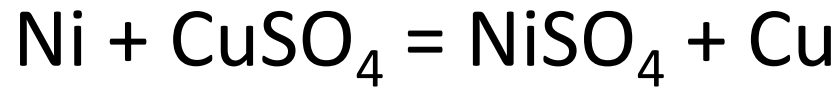
- **Sulfetado:**
 - Flash smelting
 - Deve ser seco para $<1\%$ de água
 - O ar é pré-aquecido e enriquecido com O_2 (30-40% O_2)
 - Produtos: matte contendo até 45%Ni (resto Fe, Cu e S) e escória
 - Conversão do matte: remoção de Fe (50% Ni, 26% Cu, 0.5% Fe, 22% S)
 - Solidificação lenta:
 - 65% Ni, 20% Cu (metálico): separação magnética
 - 73% Cu, 5% Ni, S
 - 70% Ni, 0.6% Cu, S

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO



PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

- O matte é atacado com H_2SO_4 para a formação de sulfatos aquosos e posterior eletro-redução



PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Laterítico



PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Laterítico

Processo	Características
Caron Process (esquentamento/lixiviação amônia)	1 – Energia intensiva.
	2 – Baixo custo dos reagentes.
	3- 75-80% de recuperação de níquel e 40-50% de recuperação de cobalto.
	4- Custo-capital de US\$ 8-12/anual por libra de níquel.
Ferronickel Smelting	1 – Energia intensiva, requer força hidroeétrica para viabilidade.
	2 – Aplicabilidade para poucos minérios de ferro ou somente minérios "saprolite".
	3 – 75-85% de recuperação de níquel e nenhuma recuperação de cobalto.
	4 – Custo-capital de US\$ 8-12/anual por libra de níquel.
Pressure Acid Leach (PAL)	1 – Baixo custo dos reagentes, fornecendo minérios com baixa concentração de magnésio e alumínio.
	2 – Largo uso de reagentes.
	3 – Mais baixa quantidade de energia, significativa produção de energia de ácidos na indústria.
	4 – Mais de 90% de recuperação de níquel e 85-90% de recuperação de cobalto.
	5 – Relativa insensibilidade a tipos de minérios.
	6 – Linha de produtos flexível.
	7 – Custo-capital de US\$ 8-11/anual por libra de níquel.

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Pirometalúrgico

- Minérios de saprolita: mais indicados por conterem menos cobalto e ferro; a relação Ni/Co é aproximadamente 40
- O minério é refinado para produzir ferro-níquel ou matte.
- Secagem
- Calcinação (retirada da água de hidratação) em um forno rotativo; pode ter redução
- Fusão/Redução: o redutor (coque ou carvão) é adicionado e a mistura é carregada num forno elétrico
- Se o matte é um produto desejável: enxofre é adicionado
- O metal/matte produzido é então processado/refinado para se obter o produto final. A recuperação de níquel é por volta de 90-95% enquanto que a do cobalto por volta de 50%

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

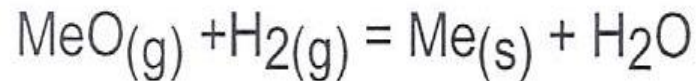
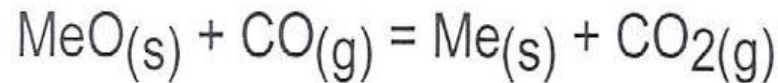
Processo Caron

- Desenvolvido em 1920: primeira implantação industrial em Nicaro (Cuba)
- Aplicado geralmente para minerais limoníticos e mistura de minerais limoníticos e saprolíticos.
- Etapas operacionais:
 - Secagem do mineral e moagem
 - Calcinação/Redução
 - Lixiviação amoniaca
 - Recuperação do metal da solução

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Caron

- Secagem em forno rotativo
- Moagem para aproximadamente 74µm (200 mesh)
- Calcinação: atmosfera contendo CO e H₂, reduzindo seletivamente o níquel para níquel metálico (além de cobalto e uma pequena quantidade de ferro)



PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Caron

- $T < 750^{\circ}\text{C}$ com uma taxa de aquecimento de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- Material é descarregado em tanques de agitação contendo uma solução lixiviante (amônio/carbonato de amônio): a baixa temperatura e à pressão atmosférica
- Licor lixiviado enriquecido é separado da lama através de decantação
- Recuperação dos metais do licor: extração por solventes ou eletro redução

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Caron



PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Caron

- Vantagens:
 - Teoricamente não há consumo dos reagentes de lixiviação, amônia e dióxido de carbono. Eles são reciclados e apenas as perdas do processo precisam ser repostas
 - As reações de lixiviação são seletivas para o níquel e cobalto. O ferro, maior componente do minério permanece no resíduo lixiviado
 - Problemas de corrosão em sistemas amoníacos são mínimos e materiais de construção comuns podem ser usados
 - Maior tolerância de Mg do que o HPAL

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo Caron

- Desvantagens:
 - Grande gasto de energia nas etapas de secagem e redução
 - Recuperação dos metais relativamente baixa: 75-80% Ni e 40-50% Co

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo HPAL

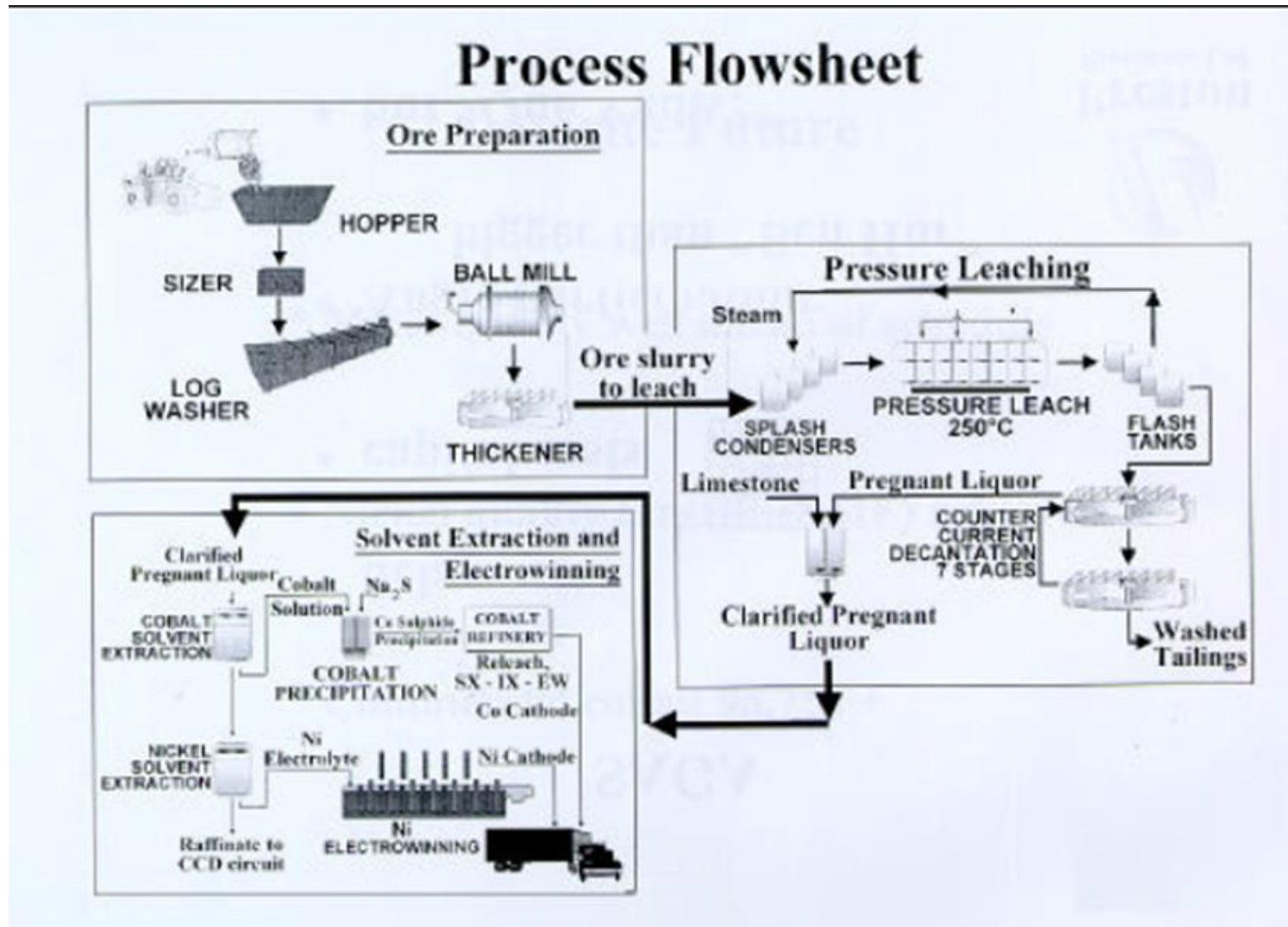
- Geralmente utiliza minério limonítico
 - Contém um pouco de saprolita
 - Possui pouco Mg – limitado a <4% (Quanto maior a quantidade maior o consumo de ácido)
 - Possui baixa quantidade de Al (Argilas consomem muito ácido, logo a quantidade de Al deve ser baixa)
- Vantagens:
 - Tratam grande parte das composições das lateritas
 - Utilizam menos energia que os outros processos, já que não há etapas de secagem, calcinação e fusão
 - Alta recuperação do níquel e cobalto (aproximadamente 90%)

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

Processo HPAL

- Minério britado e molhado
- Lixiviação sob alta pressão: entre 245°C até 270°C e com adição de ácido sulfúrico
- Separação do sólido/líquido: decantadores (espessadores)
- Licor clarificado: extração por solvente para a recuperação do cobalto e do níquel

PROCESSAMENTO DO MINÉRIO



PRODUTOS FINAIS

- **Matte** – Produto intermediário da metalurgia do níquel usado na preparação de metais refinados. Produzido no processo de redução e possui uma mistura de sulfetos de níquel e ferro. Outros metais como cobre podem estar presentes. Matte normalmente contém 70% Ni
- **Sinteres de óxido de níquel** – Material produzido no processo de redução de acordo com especificações dadas pela indústria do aço. Concentração varia de 74%-90% Ni.
- **Níquel refinado** – Deve possuir pelo menos 99% Ni; Co<1,5%; Fe<0,5%; O<0,4%; outros<0,3%

PRODUTOS FINAIS

- **Ferro-níquel** - Normalmente produzida por redução direta do minério laterítico. Contem 20-38% Ni, enquanto as concentrações mais altas dessa faixa são mais comuns.
- **Gusa ao níquel** – Contém apenas 3-5% Ni e concentrações mais altas de enxofre e fósforo do que o ferroníquel. Produzido de minérios laterítico de baixa concentração em alto-forno

PRODUTOS FINAIS

- **Ligas de níquel:** são utilizadas em indústrias química, aeroespacial, trocadores de calor e componentes de mísseis; têm alta resistência a corrosão, ductilidade, condutividade térmica e resistência a altas temperaturas. Essa classificação inclui liga Monel (70%Ni), Grupo Inconel (60-76% Ni), liga Ni-Cr (77%Ni) e as superligas (50-80%Ni)

PRODUTOS FINAIS

