



**Aplicação dos conceitos de Indústria
4.0 na mineração com foco em
operações mais sustentáveis**

Mac K Cardoso





Breve apresentação da CBMM

Tabela Periódica

hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026						
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122																	boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305																	aluminum 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80						
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	niobium 41 Nb 92.906	niobium 41 Nb 92.906	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	silver 46 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29						
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	57-70 *	lanthanum 57 La 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	wolfram 74 W 183.84	reuterium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]					
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 * *	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	unnilium 110 Uun [271]	ununium 111 Uuu [272]	unbinium 112 Uub [277]	nihonium 113 Nh [284]	flerovium 114 Fl [289]	moscovium 115 Mc [288]	livermorium 116 Lv [293]	tennessine 117 Ts [294]	oganesson 118 Og [294]					



Descoberto em 1801 pelo cientista Charles Hatchett.

lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.04
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

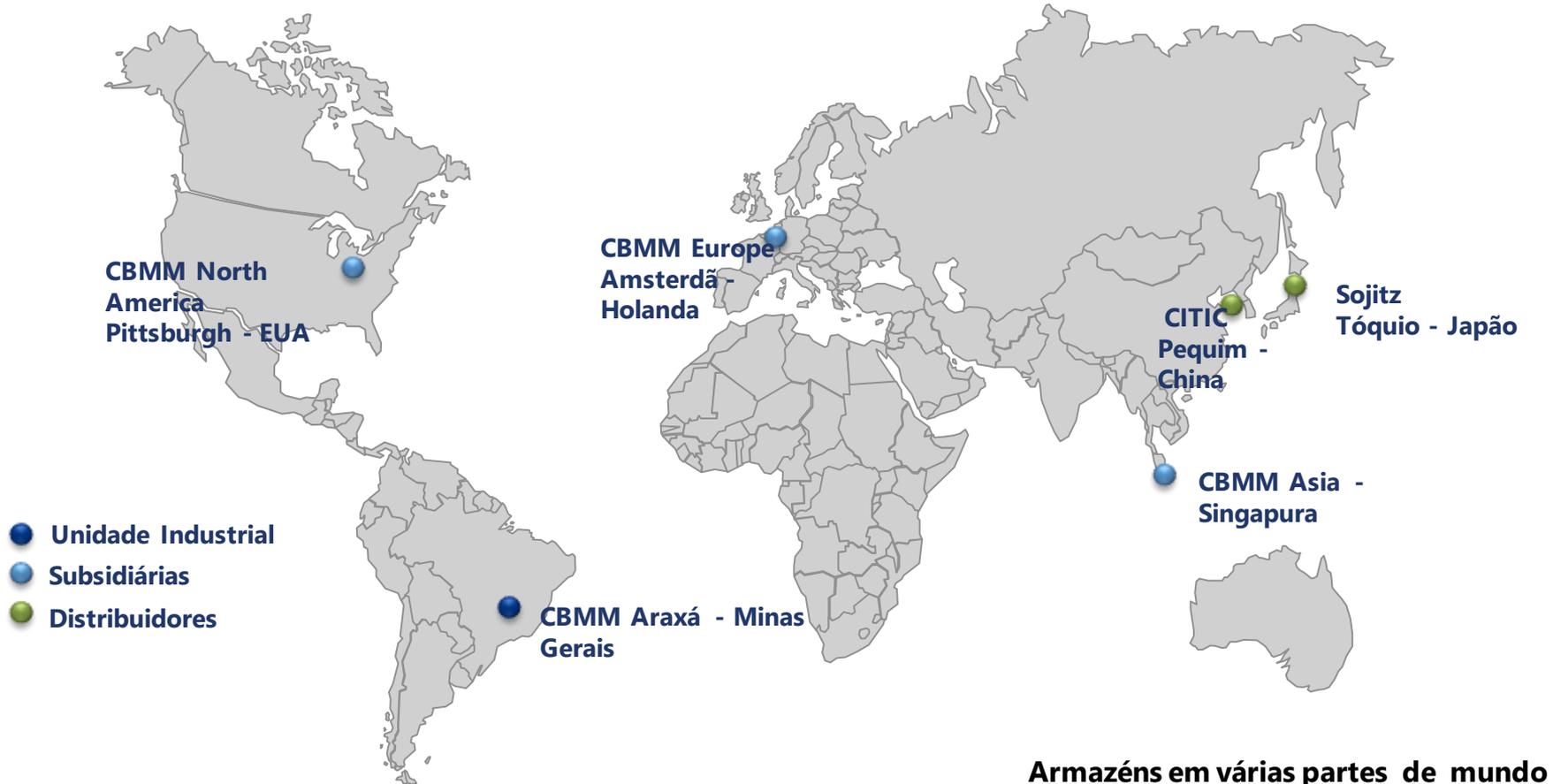


Mina aberta



Indústria mineradora , metalúrgica e química

*



Armazéns em várias partes de mundo

Ferro Nióbio



Óxidos *



Óxidos HP

Óxidos GO

Ligas Especiais



NiNb VG

FeNb VG

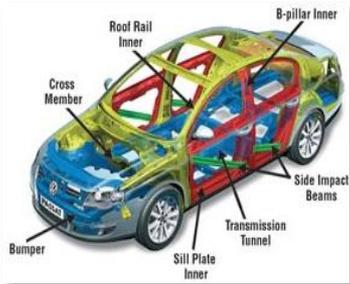
Nióbio Metálico



Redução
de Peso

Redução
de CO2

Consumo
de
Energia



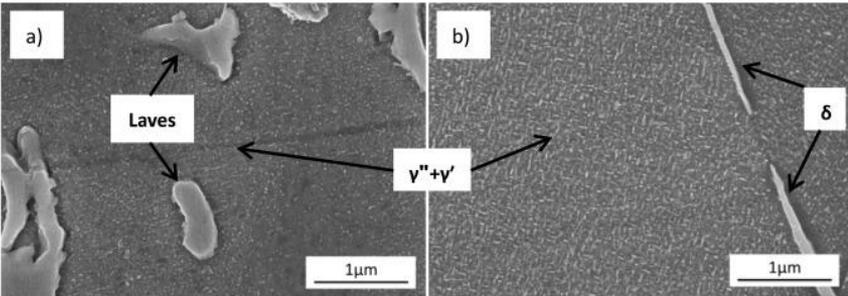
Automotivo
≈ 161.000 mil tons (Aço)
25% ao Nb

Óleo e Gás Pipes
≈ 22.000 mil tons (Aço)
100% ao Nb

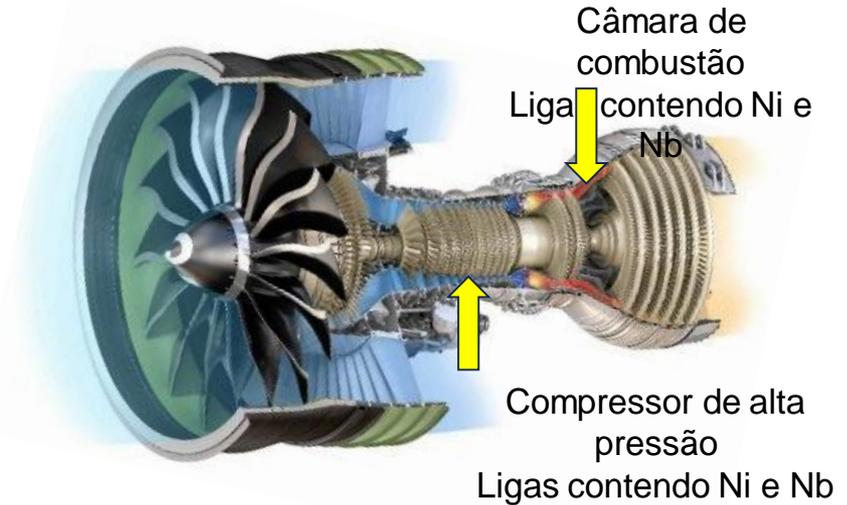
Aços Estruturais
≈ 1.095.000 mil tons
(Aço)
5% ao Nb

Inoxidáveis
≈ 45.000 mil tons (Aço)
7% ao Nb

"O uso de 1 kg de nióbio no aço reduz o peso da estrutura metálica em 1 tonelada !"



Microestruturas de endurecimento γ' e γ'' (Ni_3Nb)
Liga Inconel 718 possui ~ 5% Nb.



Maior resistência mecânica e corrosão em altas temperaturas.

Cavidades para aceleradores de partículas



Aceleradores de partículas

Fios supercondutores de NbTi



Aparelhos de ressonância magnética

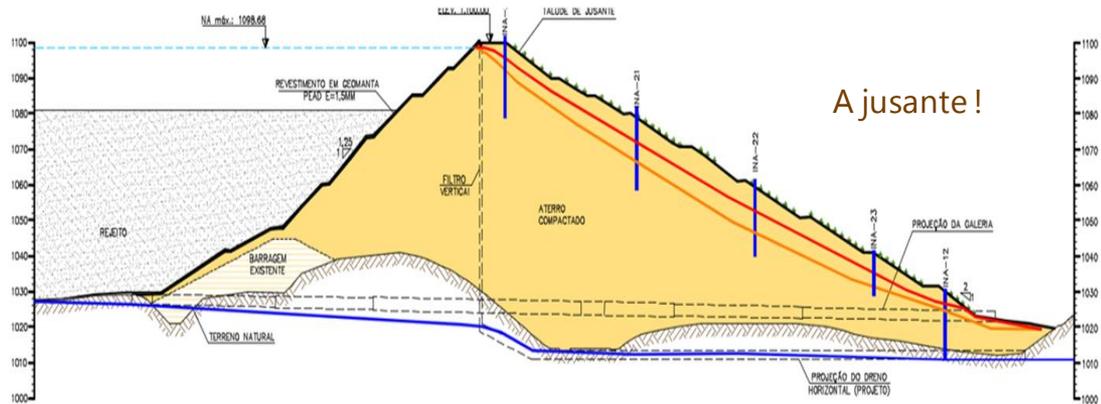


Conceitos de Indústria 4.0 no monitoramento Integrado das Barragens .

1º case

Desafios

- ❖ **Instalação de 300 sensores** entre níveis, medidores de vazão, marcos de recalque, medidores triortogonais e extensômetros;
- ❖ Dados de **estabilidade** geotécnica;
- ❖ Dados de **pluviometria**;
- ❖ Desenvolver uma **visão integrada** do monitoramento de todas as barragens;
- ❖ **Resposta rápida** as mudanças de cenários e fluxo de informação tomadores de decisão;



Integração e Transformação dos Dados

SENSORIAMENTO



NÍVEIS



VAZÕES



SÍSMICA



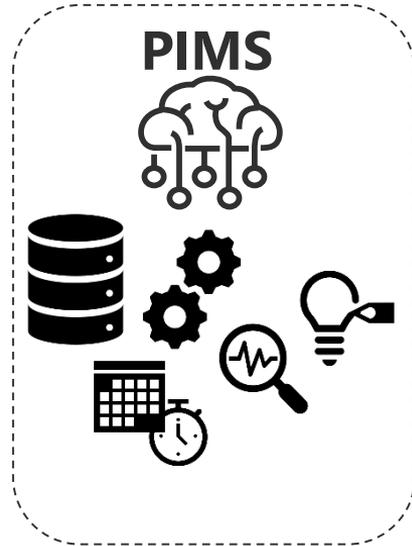
MARCOS DE
DESLOCAMENTO



PLUVIOMETRIA



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

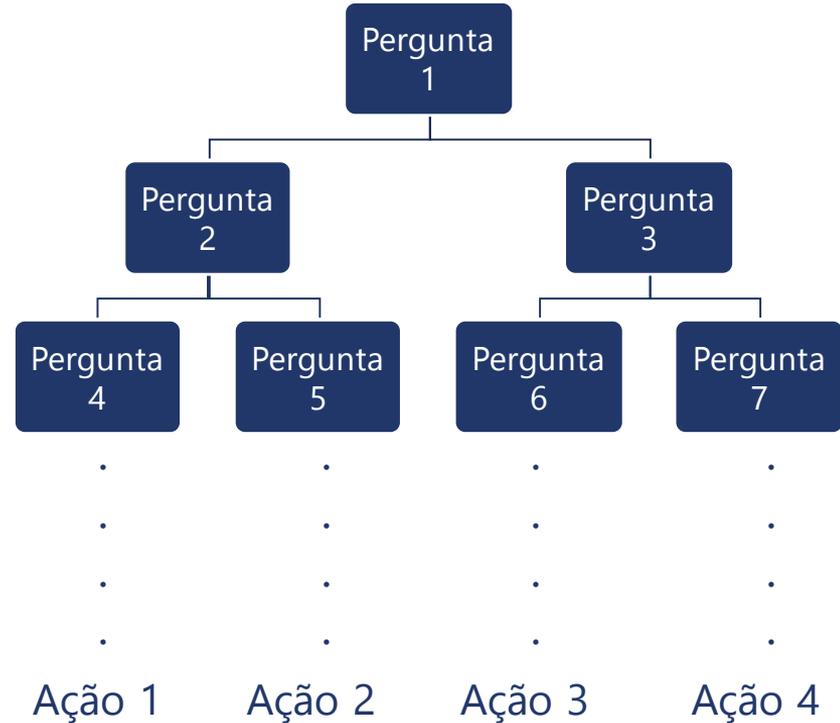


INFORMAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÃO



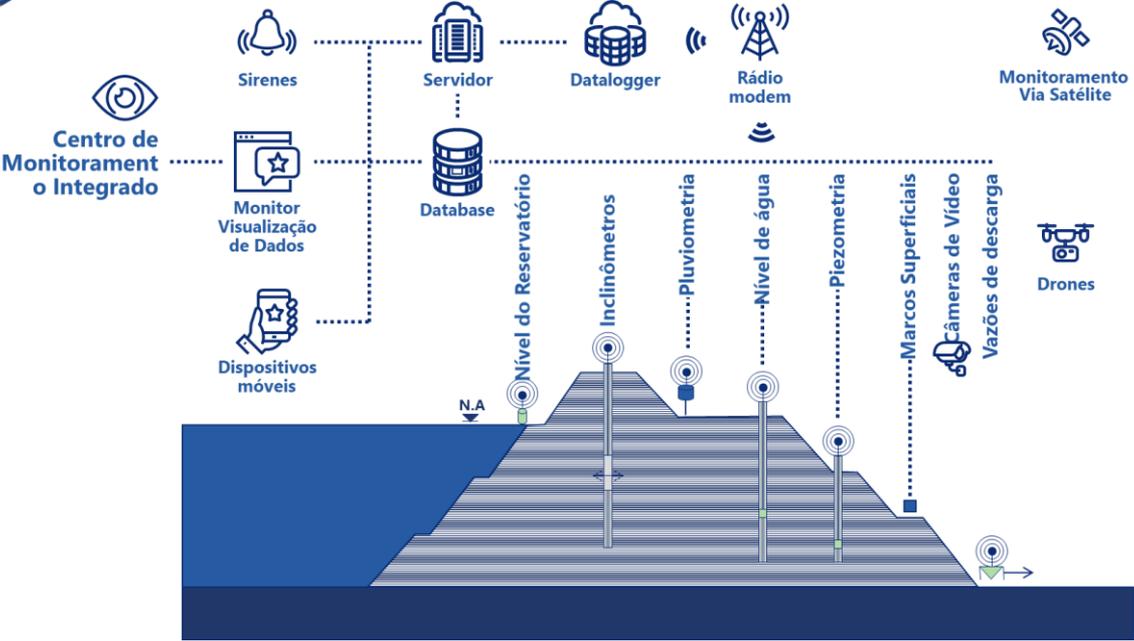
Cálculos e Eventos

- ❑ sistematizado **tratamento de gatilhos**;
- ❑ Cálculos e **análises estatísticas** dos dados
- ❑ **comunicação eletrônica dos eventos** aos envolvidos no momento da ocorrência;
- ❑ **rastreabilidade eletrônica** dos tratamentos de eventos ocorridos (visão histórica);



CMI

Centro de Monitoramento Integrado





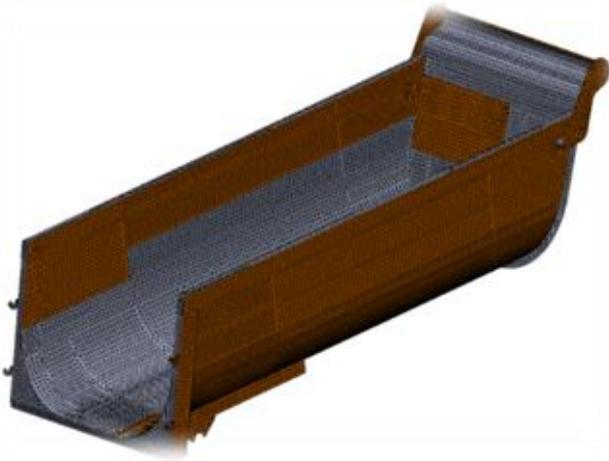
Uso do nióbio para aumento da resistência dos aços em caçambas basculantes dos caminhões de mina tornando a operação mais eficiente.

2º case

Projeto em conjunto com **CBMM** - **ROSSETTI** - **SSAB**

*

*



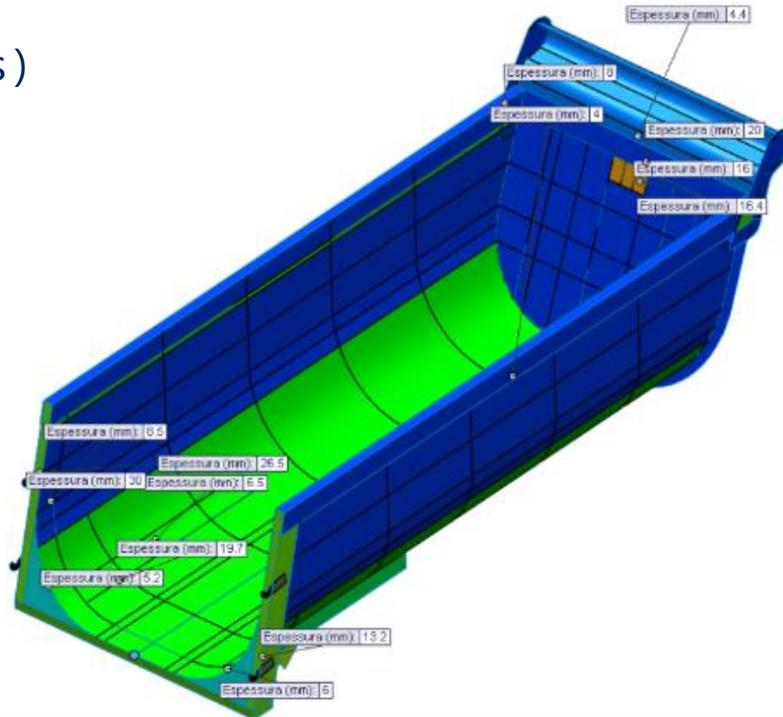
Caçamba



Projeto de desenvolvimento de caçambas (CBMM / ROSSETTI / SSAB)

Definição dos Aços (Engenharia de materiais)

Material	Cor
Strenx 700	Blue
Hardox 400	Cyan
Hardox 450	Green



Definição das Espessuras

Espessura (mm)	Cor
4	Blue
4.4	Blue
5.2	Cyan
6	Green
6.5	Green
8	Green
8.5	Green
13.2	Yellow
16	Yellow
16.4	Orange
19.7	Orange
20	Red
26.5	Grey
30	Black

Configuração Final do Projeto

Peso Antigo: 7.426 Kg.

Peso Atual: 5.470 Kg.

Redução: 1.956 Kg



Resultados



- Redução de peso em 1956 kg (-25%);
- Redução do consumo de combustível: 8.1%
- Redução do consumo de pneus em: 7.5%
- Redução dos custos de transporte em 4%;
- Aumento da utilização do caminhão em 2%;
- Redução das Emissões do GEE 117 t/ano;



Uso do nióbio na produção de baterias modernas

(Anodes, Cathodes and solid-state electrolytes)

3º case

Modern battery technology

Materials chemistry



Chemical energy into electricity



Carbon graphite

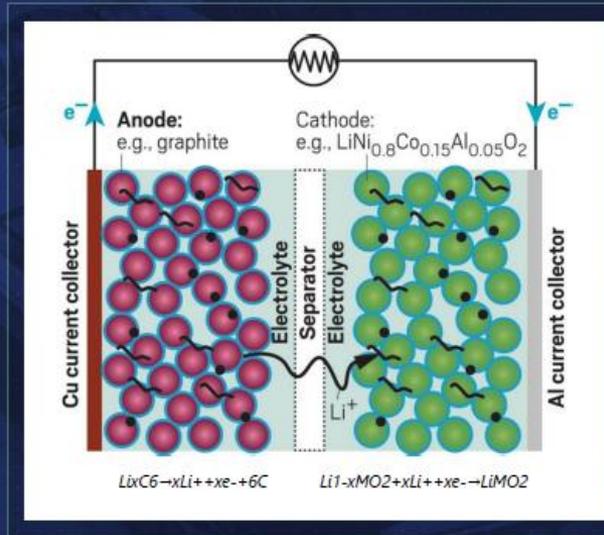
Lithium Titanium Oxide
($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ – LTO)

Niobium Titanium Oxide
(Nb_2TiO_7 – NTO)

Silicon

Silicon-Graphite
Composites

Li metal



Lithium Cobalt Oxide
(LiCoO_2 – LCO)

Lithium Manganese Oxide
(LiMn_2O_4 – LMO)

Lithium Iron Phosphate
(LiFePO_4 – LFP)

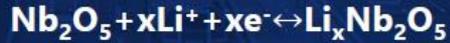
Lithium Nickel Manganese
Cobalt Oxide
(LiNiMnCoO_2 – NMC)

Lithium Nickel Cobalt
Aluminium Oxide
(LiNiMnAlO_2 – NCA)

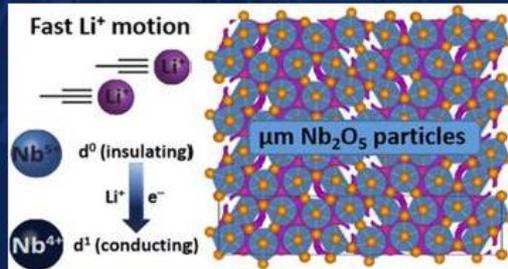
Carregamento rápido !

High Power & Fast charging

GREY et al, JACS 138 (2016) 8888



...Li⁺ intercalation on T-Nb₂O₅



NIOBIUM (V) OXIDES:

Potential Window ca. +1.0 to +2.0 V vs. Li⁺/Li

0.8 to 2.0 Li per Nb⁵⁺/Nb⁴⁺ redox pair

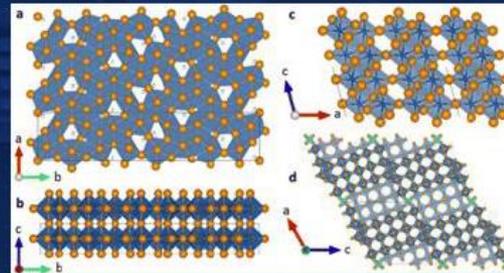
High Rate

High Capacity

Niobium (V) Oxides Polymorphs

T-Nb₂O₅

B-Nb₂O₅



DISCHARGE RATES:

150 mAh.g⁻¹ at 5C

125 mAh.g⁻¹ at 10C

H-Nb₂O₅

6 x

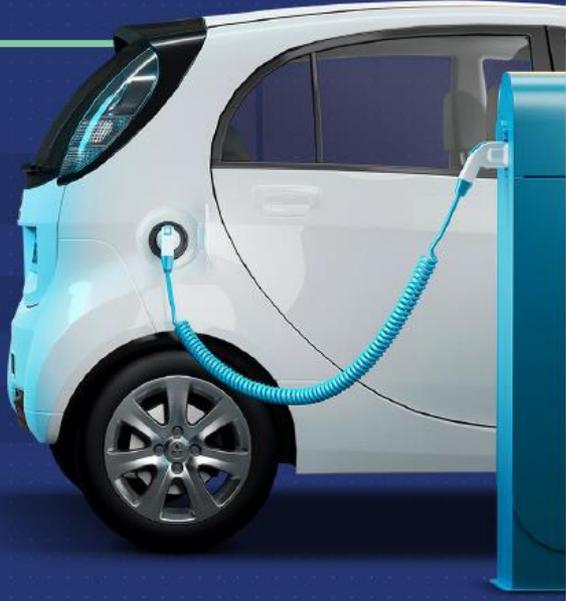
Maior quantidade de energia acumulada com um menor peso e tamanho da bateria !

Cathode chemistry —————

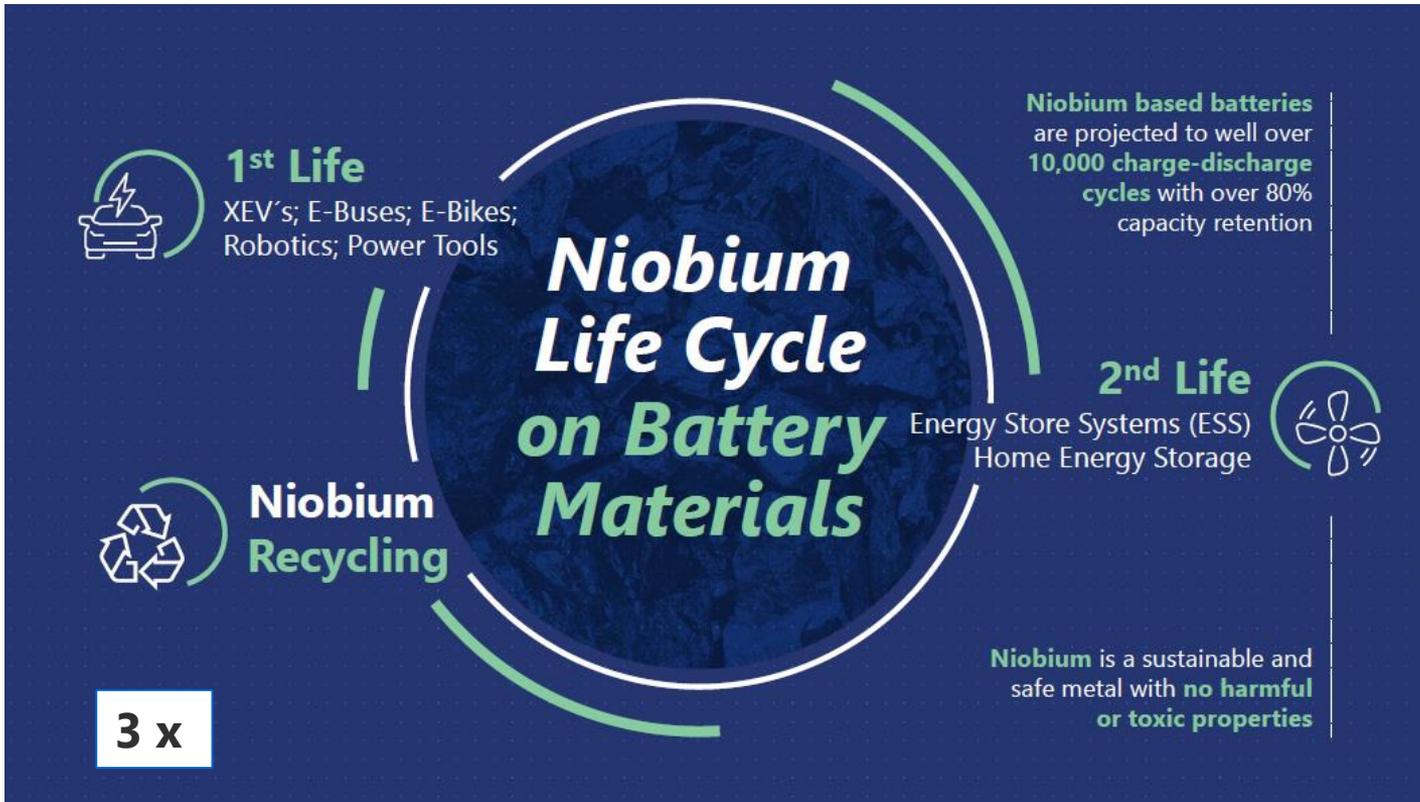
Increasing energy density

Competitive landscape with commercial cathodes

Cathode chemistry	Specific capacity mAh g ⁻¹	Voltage V	Safety
<i>Li₃NbO₄-based Host Structure (DR)</i>	> 300	3.2	0
NMC 622	221	4.5	0
NMC 111	189	4.3	--
NCA	167	3.8	--
LCO	160	4.0	--
LFP	155	3.4	++
LNM	130	4.6	++

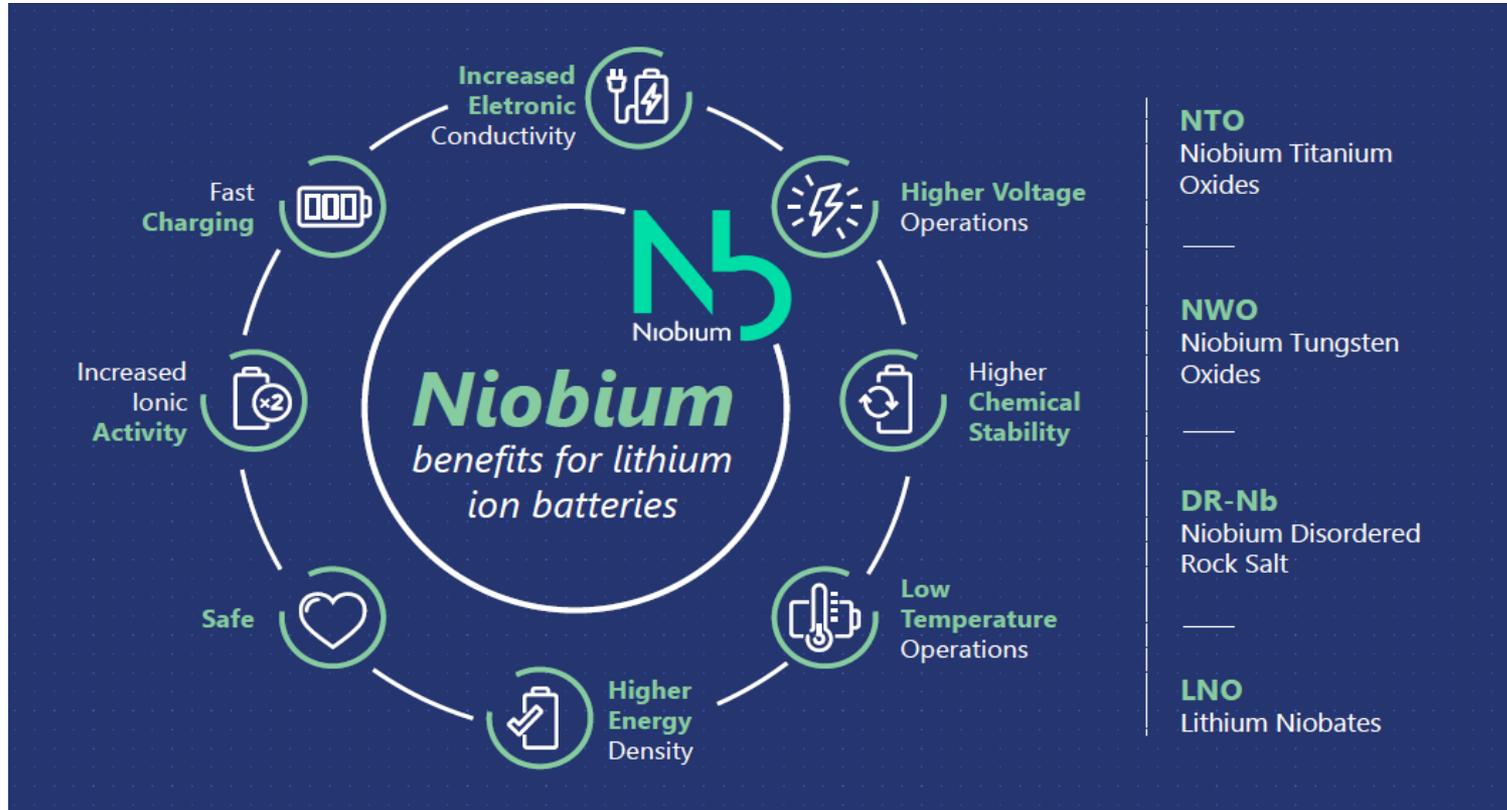


Aumento do tempo de vida !



Parceria Academias e Centros de Pesquisa

Parceria em escala mundial com a Toshiba





Smart Factory

Último case



Minério
~ 2,3% Nb₂O₅

Mina



Homogeneização
150.000 t/ano FeNb equiv.

Concentração do Teor de Nb



Concentração
150.000 t/ano FeNb equiv.

Remoção de Enxofre (S) e
umidade



Concentrado
Flutuado
> 50% Nb₂O₅

Refino I
(Dessulfuração)
150.000 t/ano FeNb equiv.



Produto Final FeNb

FeNb
~ 65% Nb
Diversas
granulometrias



Britagem/Embalagem/
Expedição
150.000 t/ano FeNb equiv.

Redução do óxido de Nióbio e
produção da liga FeNb



Metalurgia
150.000 t/ano FeNb equiv.

FeNb
~ 65% Nb
< 100 mm

Concentrado
Refinado
60% Nb₂O₅

Remoção de Fósforo (P) e
Chumbo (Pb)



Refino II
(Desfosforação)
100.000 t/ano FeNb equiv.

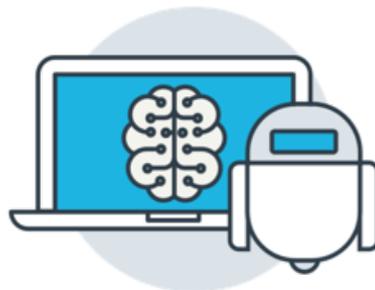
Aplicação de conceitos de indústria 4.0



Análise de Similaridade

Cada nova pilha é comparada com a pilha histórica **mais similar**, baseado em análises químicas

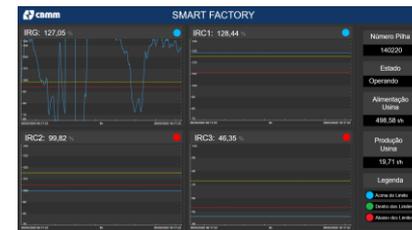
Data Science



Padrões Operacionais

Já definido os padrões operacionais, baseados nos melhor índice de recuperação e consumo de insumos, para a nova pilha de acordo.

Machine Learning



Status Operacional

- O operador **visualiza** em tempo real, através dashboards, a **eficiência operacional** referente à pilha que está sendo alimentada
- Operação orientada ao **benchmark** histórico



Resultados

- ✓ **Redução** de consumo **de insumos** na produção;
- ✓ Produção **dirigida ao benchmark** operacional;
- ✓ **Redução de tempo de setup** durante troca de matéria prima;
- ✓ **Redução** do volume **de rejeito**;
- ✓ Aumento da **vida útil da barragem**;



 **CBMM**

Obrigado!