



Comitê Nacional de Produção e  
Transmissão de Energia Elétrica

# Estado da Arte e Inovações em Linhas de Transmissão no Sistema Elétrico Brasileiro

***Carlos A. M. Do NASCIMENTO***

CIGRE-Brasil (Coordenador do CE-B2)

*Engenheiro de Tecnologia e Normalização da Cemig D*

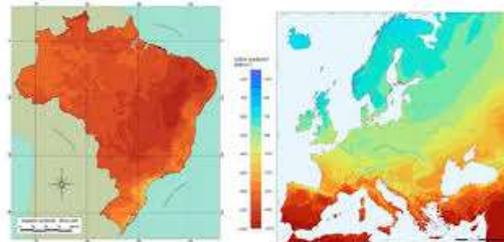
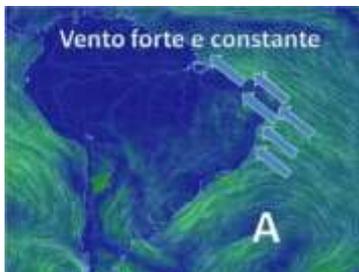
*São Paulo, 26-07-2019 de 17:10 – 18:00*

# Deus é Brasileiro ...

No Brasil, quando não temos chuvas suficientes no sul e sudeste ...  
temos muito, mas muito vento e sol, no nordeste e centroeste ...



Um robusto sistema elétrico interligado é chave para o sucesso no crescimento econômico e social em países em desenvolvimento como é o Brasil ...



# Index

- Visão geral das LTs brasileira desde 1960;
  - ✓ Principais marcos
  - ✓ Energia Elétrica Brasil em grandes números
  - ✓ Infraestrutura Brasileira no Setor de Energia
- ✓ Um olhar sobre o futuro das LTs;
  - ✓ Integração da rede de geração de energia e LTs
  - ✓ O Plano de Expansão de Dez Anos 2026
- ✓ Cenários de inovações em LTs;
  - ✓ palavra-chave para o futuro
- ✓ A próxima geração de LTs
  - ✓ Ruptura tecnológica
  - ✓ As novas gerações de LTs
- ✓ Considerações Finais



# Parte I - Alguns projetos em LTs no Brasil



## Marcos Tecnológicos

1969 Southeast: First OHTL 440 kV Jupia – Bauru

1980 South: Urban Compact OHTL of 69 e 138 kV

1984: Itaipu Power Hydro - OHTL 500 kV AC - 60 Hz and OHTL  $\pm 600$  kV DC (50 Hz to Paraguay);

2001: Itaipu Power Hydro Third circuit of OHTL 765 kV AC

1981 North-Northeast: Interconnection of North-Northeast, 1,500 km of OHTL 500 kV

1999 North-South: Interconnection of OHTL 500 kV

2009 North: Interconnection of Amazon Forest Circuit 1,000 km 230 kV

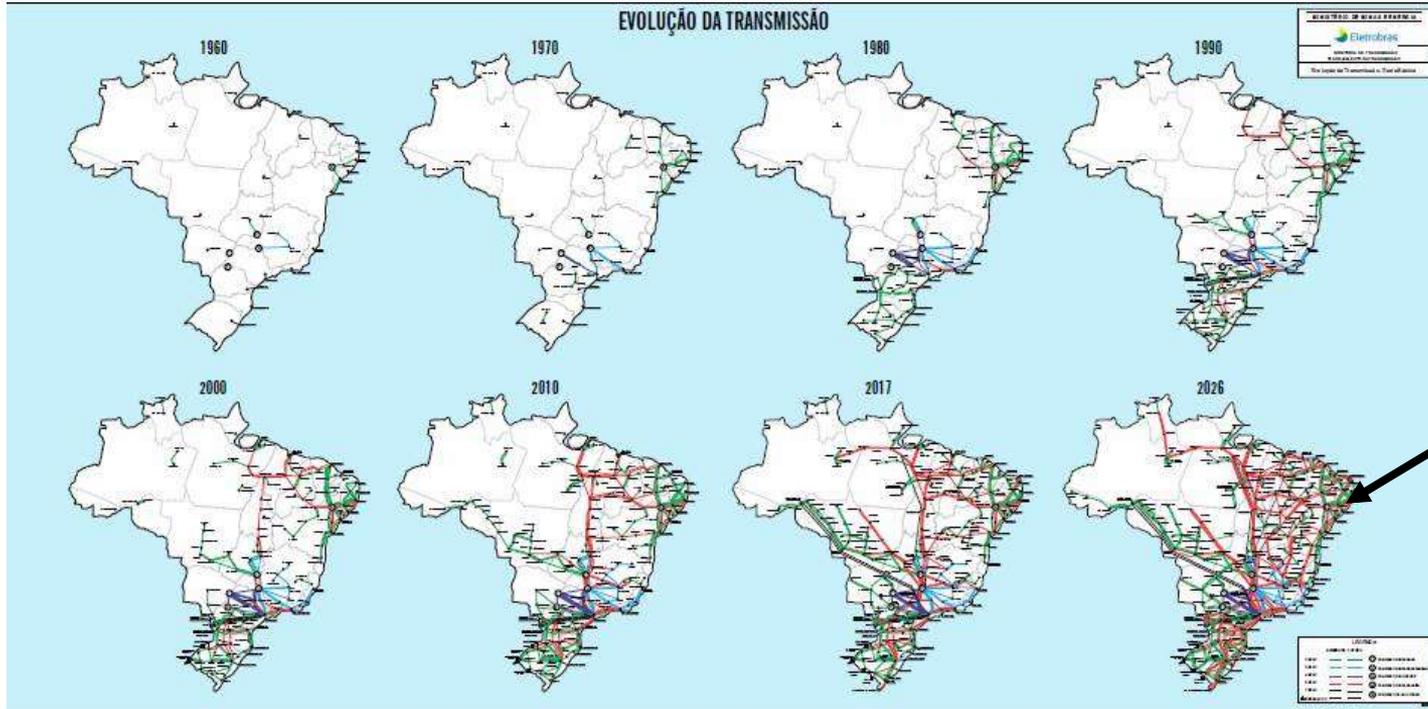
2017 North-Southeast: Rio Madeira Power Hydro  $\pm 600$  kV DC 2,400 km

2017 North-Southeast: First UHVDC of Latin American  $\pm 800$  kV from Belo Monte Power Hydro to southeast 2,090 km

2017 Southeast: First trial 138 kV Synergic OHTL 1 km

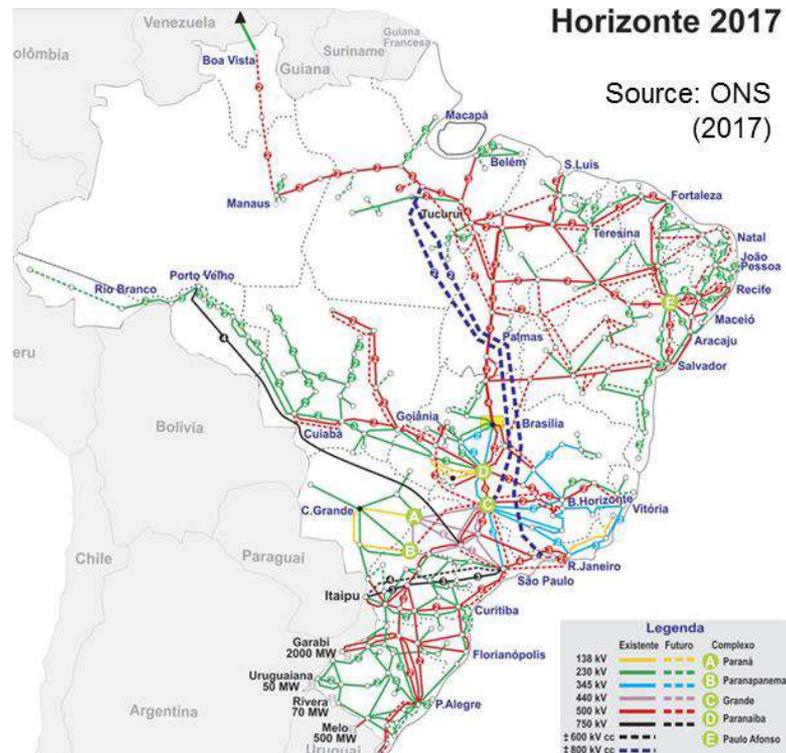


# Visão geral das linhas aéreas brasileira desde 1960



# Energia Elétrica no Brasil em grandes números

- ✓ Capacidade instalada de geração: 150 GW, 65% hídrica
- ✓ **Comprimento do sistema de transmissão de alta tensão: 130.000 km**
- ✓ Taxas médias anuais de crescimento de carga:
  - 2004–2010: + 4,3%;
  - 2010–2016: + 1,9%
- ✓ Participação privada em G, T, D e C
- ✓ Mercado de investimento:
  - Geração: mercado atacadista de energia + leilões de contratos de energia de longo prazo (mais de 20 anos) para nova capacidade
  - **Transmissão: planejamento central + leilões para concessões de 30 anos de novas instalações de transmissão**
- ✓ Regulador independente com operador e mercado estabelecido em 2004.





# Infraestrutura Brasileira de Energia Elétrica ( P & D )



O maior centro de pesquisa e inovação em TIC da América Latina

Nossa Equipe	O que fazemos	Onde Atuamos
<ul style="list-style-type: none"> <li>1000 Consultores</li> <li>10000 Graduação</li> <li>10000 Pós-graduação</li> <li>100000 Alunos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de Energia</li> <li>Tecnologia de Potência</li> <li>Integração de Sistemas</li> <li>Integração de Redes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>América do Sul</li> <li>América Latina</li> <li>América do Norte</li> <li>Europa</li> <li>África</li> <li>Ásia</li> <li>Oceania</li> </ul>



USP // UNICAMP // UFSC //  
 UFRJ // UFRGS // UFPE //  
 UNESP // Mackenzie // FEI //  
 UFMG // etc.




**CIGRE-Brasil**  
 COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
 Rua do Flamengo, 11 - Bloco B -  
 21111-901 - Rio de Janeiro - RJ  
 Telefone: (21) 2511-1000  
 E-mail: cigrebrasil@brasil.cigre.org.br

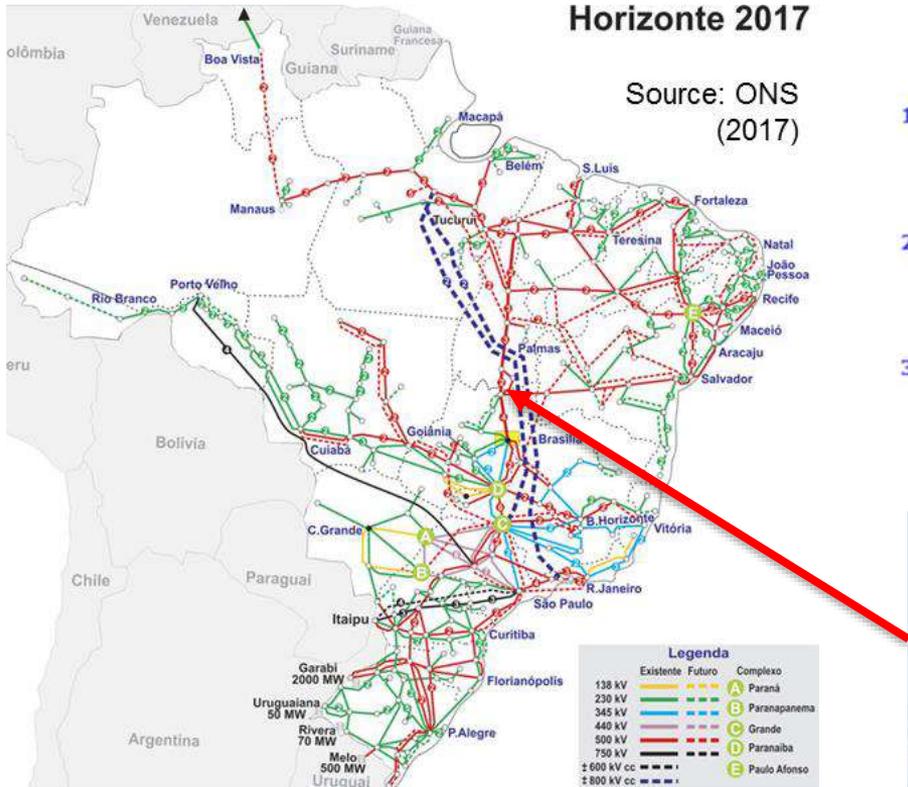


# LTs e a Integração de Energia

O Brasil, um país de extensão continental, possui um grande e robusto sistema interligado de linhas de transmissão aéreas (230 a 765 kVac e 600 a 800 kVdc) e subtransmissão (69 a 138 kV). As LTs continuarão a crescer de forma constante.

Os “armazéns de energia” de usinas hidrelétricas e seu transporte pelas LTs são essenciais para a viabilidade econômica de fontes renováveis de energia no Brasil.





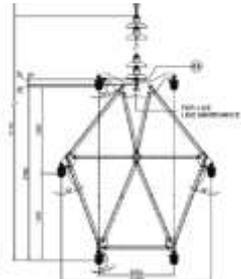
## TRANSPORTATION OF 5.000 MW AT 500 KV

- Conventional Transmission Lines with SIL=1.000 MW**  

5 circuits - ROW Width = 220 m  
Efficiency Ratio = 22,7 MW/m<sup>2</sup>
- Compact Transmission Lines with SIL=1.250 MW**  

4 circuits - ROW Width = 180 m  
Efficiency Ratio=27,8 MW/m<sup>2</sup> (+22%)
- HSIL Transmission Lines with SIL = 1.670 MW**  

3 circuits - ROW Width = 140 m  
Efficiency Ratio=35,7 MW/m<sup>2</sup> (+57%)

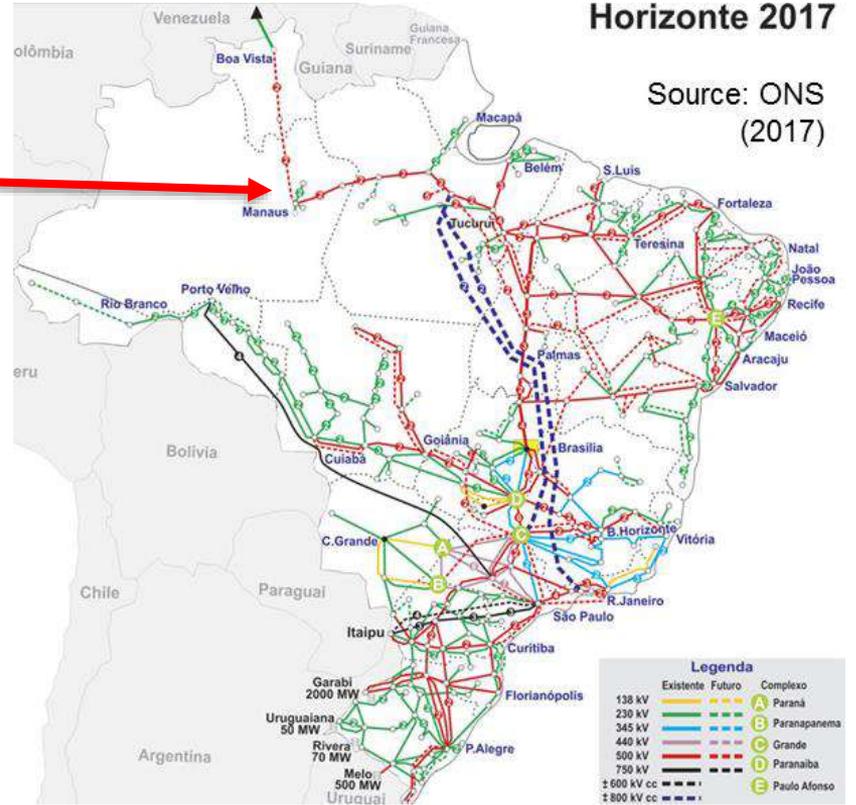


500 kV FEXCOM HSIL 1.6 GW 953 km

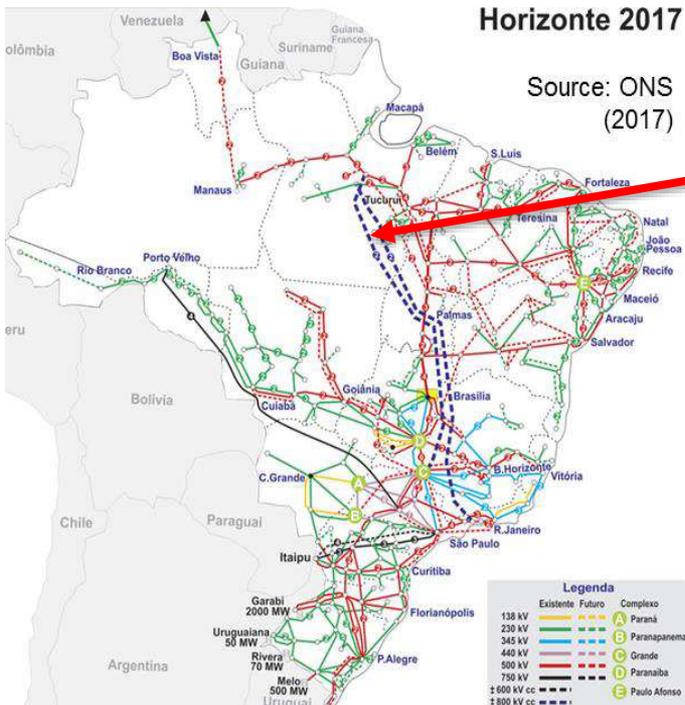
# Parte II.b – O presente das LTs AC



Amazon OHTL in Operation with Preserved Right-of-Way



# Parte II.b – O presente das LTs DC

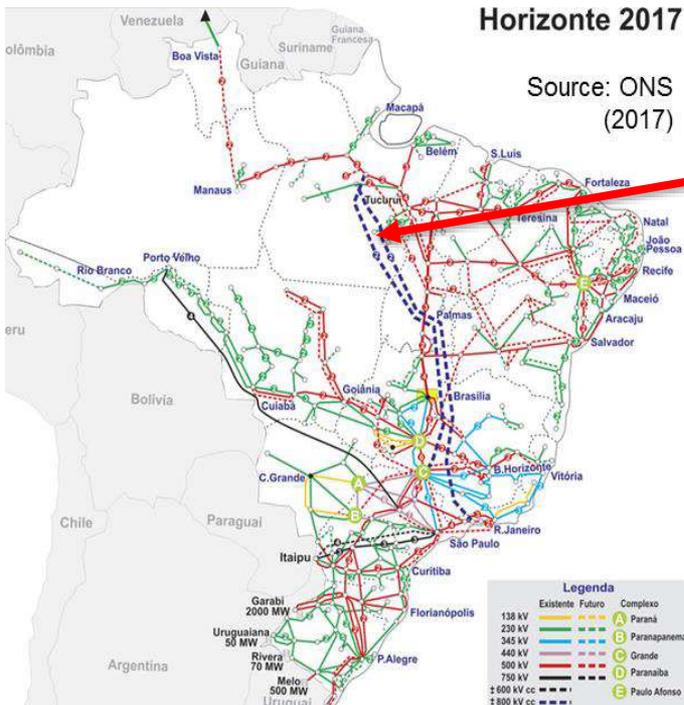


DC ±800 kV, 4 GW



Source: <http://www.bmte.com.br>

# Parte II.b – O presente das LTs DC



DC ±800 kV, 4 GW

A Xingu-Rio Transmissora na maior linha de transmissão de ±800 kV UATCC do mundo com 2.539 km e investimento de R\$ 8,77 bilhões

Source: <http://www.bmte.com.br>



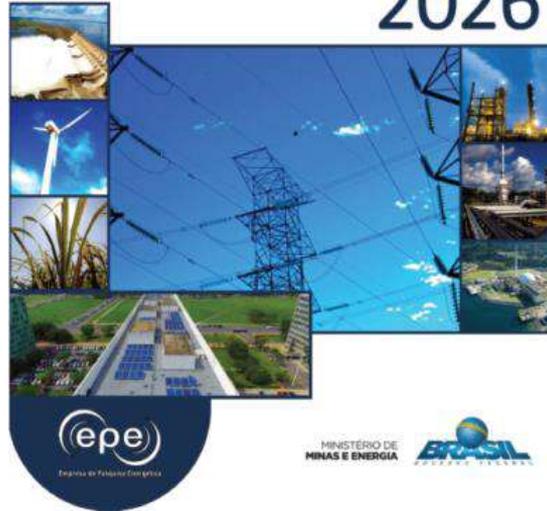
# Parte II.c – O futuro das LTs



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

## PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA

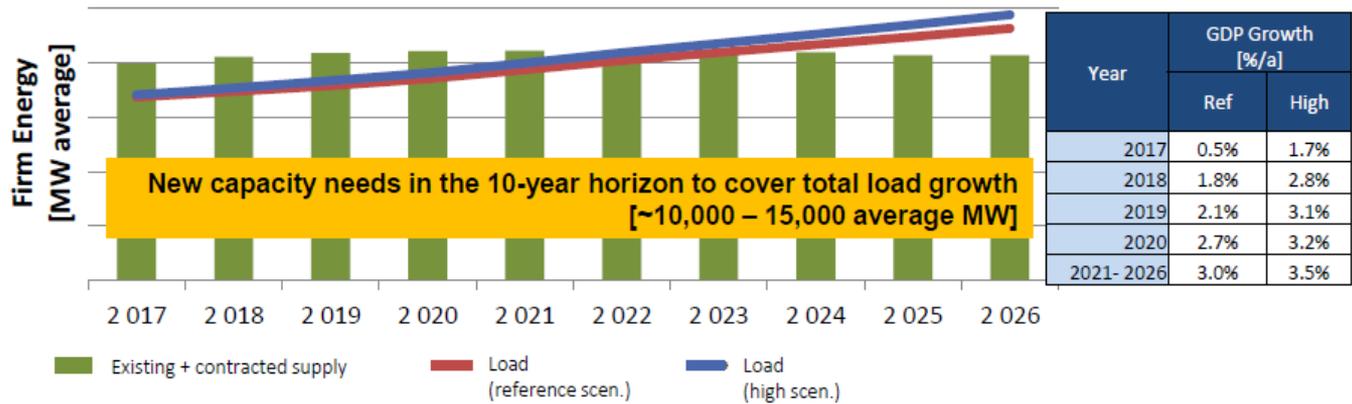
# 2026



Source: <http://www.epe.gov.br/en>



## The market space for new investments



SIN necessita de 1 a 1,5 GW por ano de nova capacidade em suas LTs

Source: <http://www.epe.gov.br/en>

Soi #1: Four main resources of modern society

Soi #2: Acceptance

Soi #3: Safety Operation

Soi #4: Digital New Young Generation

- Food #1
- H<sub>2</sub>O
- **Energy**
- **Digital**



#2: Acceptance



#3: Safety Operation



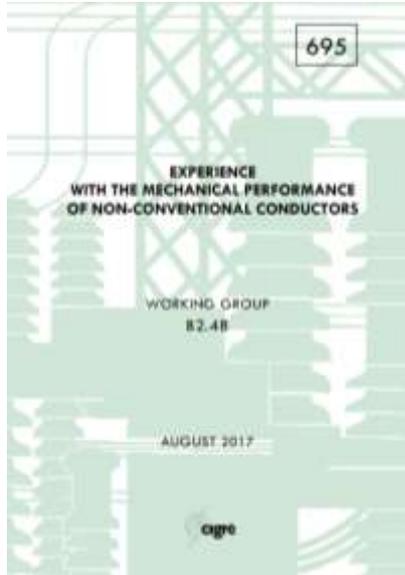
#4: Digital New Young Generation

Soi – scenarios of innovations

Palavra chave para as inovações tecnológicas:

- #1: novos materiais
- #2: automação e digitalização
- #3: compartilhamento de infraestrutura
- #4: smartgrid
- #5: eficiencia operacional
- #6: gerenciamento descentralizado
- #7: treinamento RH

# #1: novos materiais metallic vs non metallic materials

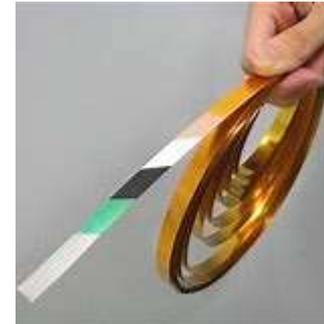


CIGRÉ TB 244 and 426: HTLS conductors and testing B2.WG.55: Conductors for the Upgrading of Existing Overhead Lines

- #1 Carbon →
- #2 Steel →
- #3 Aluminum
- #4 Polymer
- #5 Ceramic
- #6 ...



HTLS – High Temperature and Low Sag Conductors



Fita 2G - Supercondutor

# #1: novos materiais CONDUTORES non metallic materials

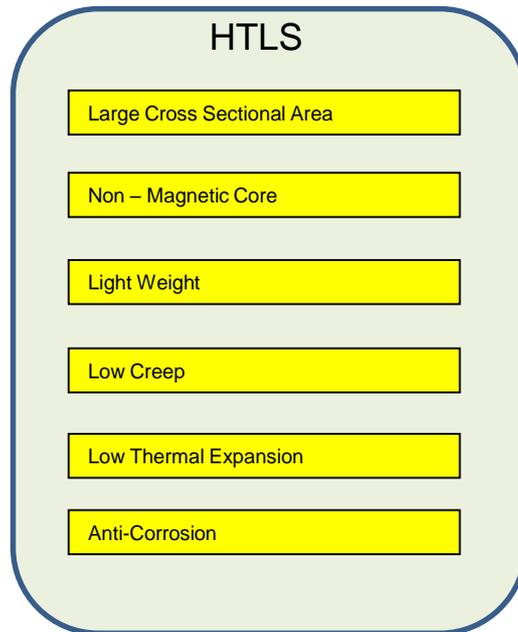
## Condutores ACSR X HTLS

**LTs em operação:**

ACSR

HTLS está sendo  
aplicado!

(sem alteração estrutural)



**Novas LTs:**

ACSR ou HTLS ?

HTLS tem elevado  
CAPEX!

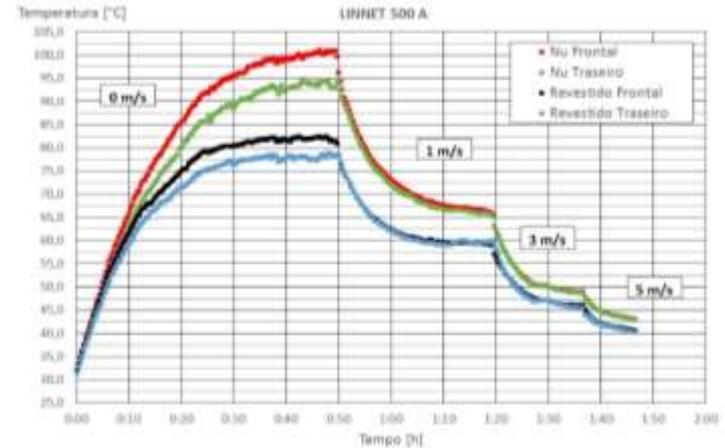


# #1: novos materiais Coating materials

B2.WG.69: Coatings for  
Power Network  
Equipment

B2.WG.69 will involve the study of:

- Anti-noise: conductors and fittings
- Anti-pollution: insulators
- Anti-icing : conductors and ground wires, insulators
- Anti-corrosion: metallic structures
- Camouflage: overhead line overall appearance



Source: Cemig / UFMG PeD-D309

# #1: novos materiais TOWER non metallic materials

**B2-WG.61:**  
Transmission Line  
**Structures with Fiber  
Reinforced Polymer  
(FRP) Composites**

Steel x FRP  
e  
Steel + FRP



# # 2 : automação ROBOS

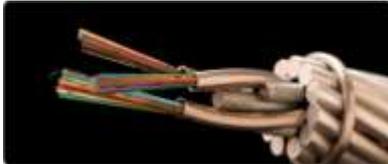


Robos em todas areas das LTs:

- # Planejamento
- # Projeto
- # Construção
- # O&M

# #3: Compartilhamento infraestrutura

OPPC  
CIGRÉ Paris 2014  
Meeting

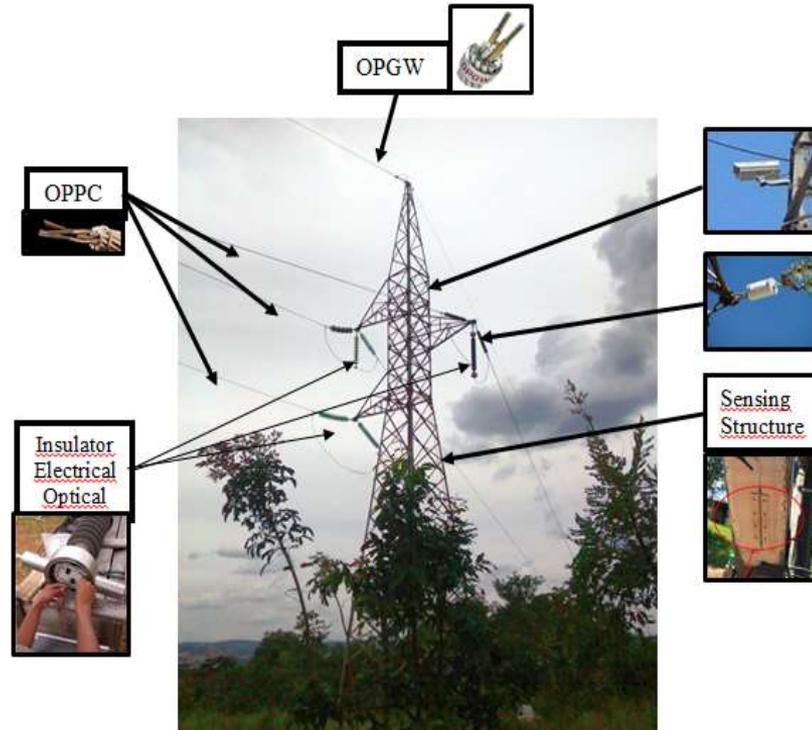


Brazil - UniverCemig – 2016  
Project R&D Aneel/Cemig D520



Source: CIGRÉ Paris 2018 B2-101

# #3: Compartilhamento infraestrutura

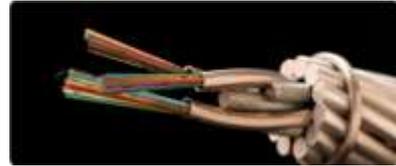


In this concept, how would the OHTL engineering be to work in future?

**You have to think in it!**

Source: CIGRÉ Paris 2018 SR-B2-2.3

# # 3 : Compartilhamento infraestrutura



Structures Parts	Preliminary Function	Secondary Function
ground wires – OPGW	i. broad band telecom	i. internet (internal or external networks)
phase conductor – OPPC	ii. redundancy of Telecom Infrastructure smartgrid	ii. IoT iii. industry 4.0
bundle of phase conductors – OPPC	iii. telecom infrastructure sensing	iv. point and distributed optical sensing of (strain, temperature and vibration) v. physical integrity (B2-101) vi. video monitoring vii. fire detection viii. phase swing ix. power over fiber – PoF
insulator electrical&optical	iv. sensing	i. physical integrity (B2-101) ii. point and distributed optical sensing of (strain, temperature and vibration) iii. electrical noise iv. free space optics – FSO
tower and foundation	i. sensing	i. physical integrity (strain, temperature, movement and vibration)

Source: CIGRÉ Paris 2018 2018 SR-B2-2.3

## # 4 : s m a r t g r i d

### Optical Networks:



- Broadband
- Passive
- Immune Interferences EMF
- They do not generate noise
- Multiband
- Low latency
- Has Physical Barriers cyber attacks

### Wireless Networks:



- Narrow Band of Data
- Non-passive
- Generate Environmental Noises
- Does not immune to EMF
- Requires Environmental Licenses
- High latency
- No physical barriers cyber attacks

# # 4 : smartgrid

## Convergence optical smart grid and industry 4.0

*In the "last mile" → optical fiber "FO" (we are sure about it!)*

*In the "last inch" → Fixed devices - FO network cable  
Mobile devices – Wireless network*

Only two devices walk in the power sector:  
electrician and electrician's work vehicle!

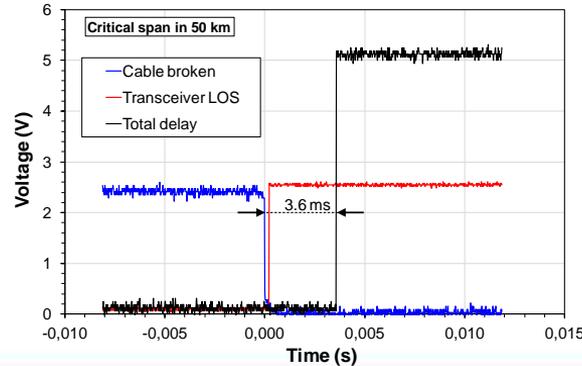
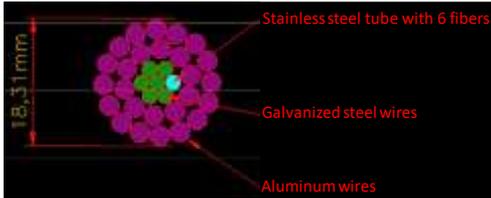
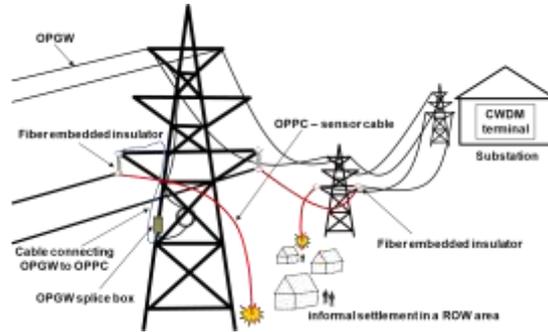


So, the smart grid of OHTL has to be FO cable network!



# #5: Eficiência operacional

Problema crônico na identificação do condutor rompido ou não em LTs!



Não religue a LT nessa condição!

Isso é ganho na eficiência operacional!

# #6: Gerenciamento Descentralizado

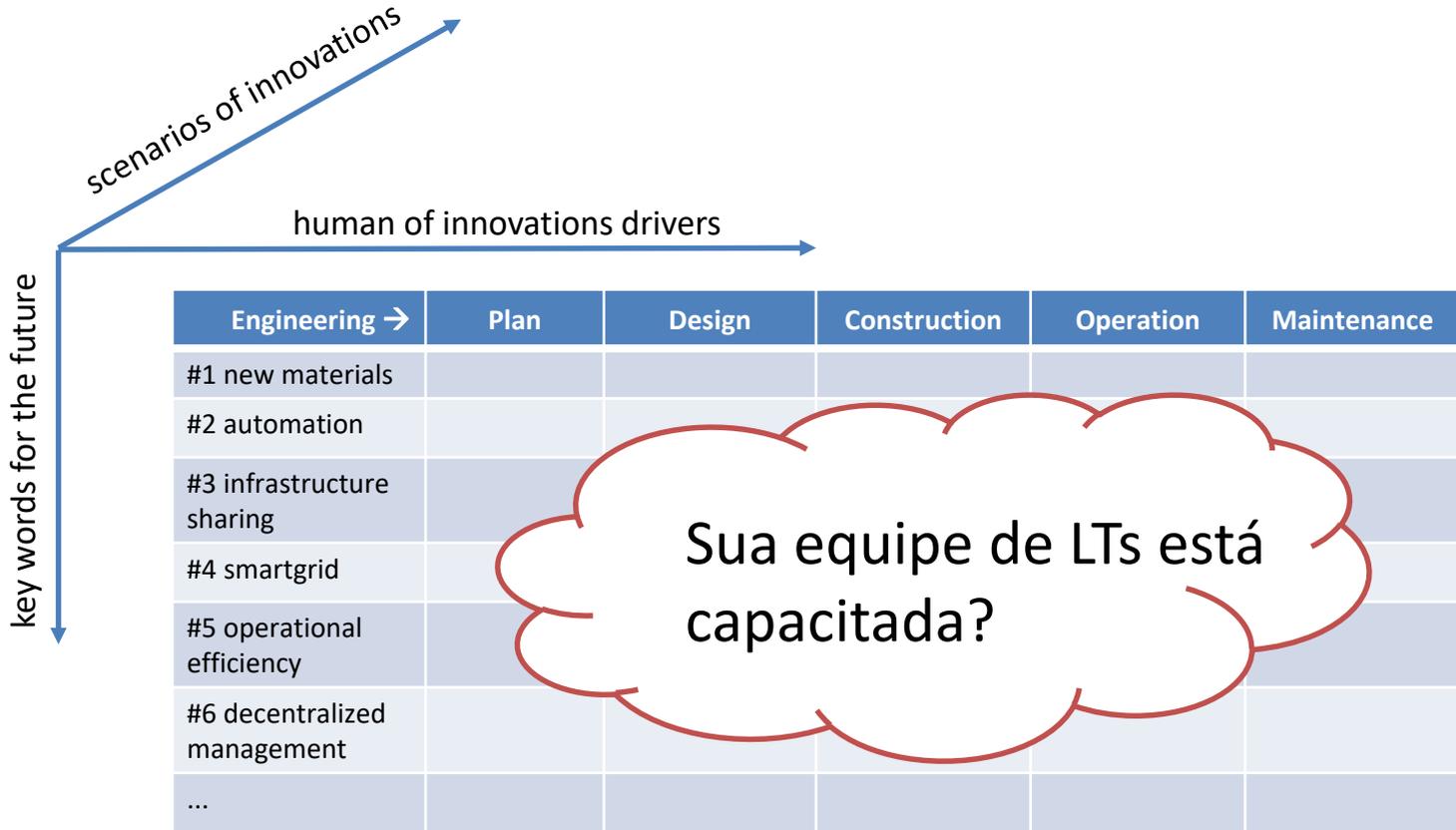
Gestão de Ativos das LTs pode ser via Blockchain ?



A blockchain is a decentralized, distributed and public digital ledger .....  
 used to record transactions across many places .....  
 record cannot be altered retroactively without consensus of the network...  
 This allows the participants to verify and audit transactions.....  
 A blockchain database is a distributed timestamping server.....

Could aging of OHTL be a BC?  
 Calculate aging of OHTL  
 Validate aging of OHTL  
 Is aging of OHTL true?  
 Management of aging of OHTL.

# # 7 : Treinamento RH



# Parte IV Próxima geração de LTs

tendency: We are developing the robotics for OHTL based on the assets in operation!



disruptive: We have to develop new design for OHTL based on robotics for OHTL!

# Parte IV Próxima geração de LTs

## Novos Condutores (OPPC+HTLS)

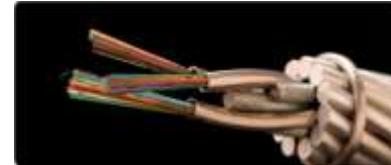
tendência: Desenvolvemos novos condutores pensando nas linhas em operação!



HTLS – High Temperature and Low Sag Conductors

+

OPPC - Optical Phase Conductor



ruptura: Devemos construir os novos condutores pensando na **digital industry 4.0!**



# Parte IV Próxima geração de LTs

ruptura:

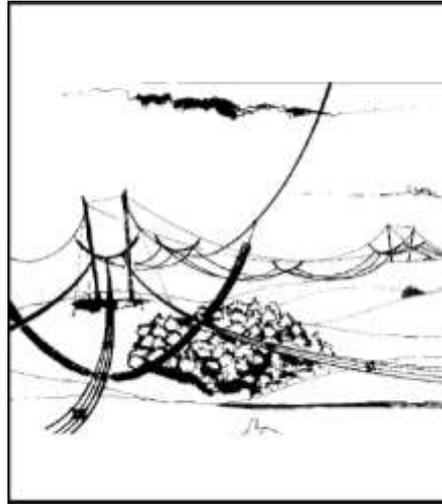
Temos que desenvolver as novas LTs baseado ...  
'key words for the future!'

#1 new materials; #2 automation; #3 infrastructure sharing; #4 smartgrid;  
#5 operational efficiency; #6 decentralized management and #7 training of labor

# Parte IV Próxima geração de LTs

tendência: Estamos desenvolvendo novos projetos baseados nas LTs em operação!

ruptura: Vamos nos basear em que para construir os novos projetos LTs ?



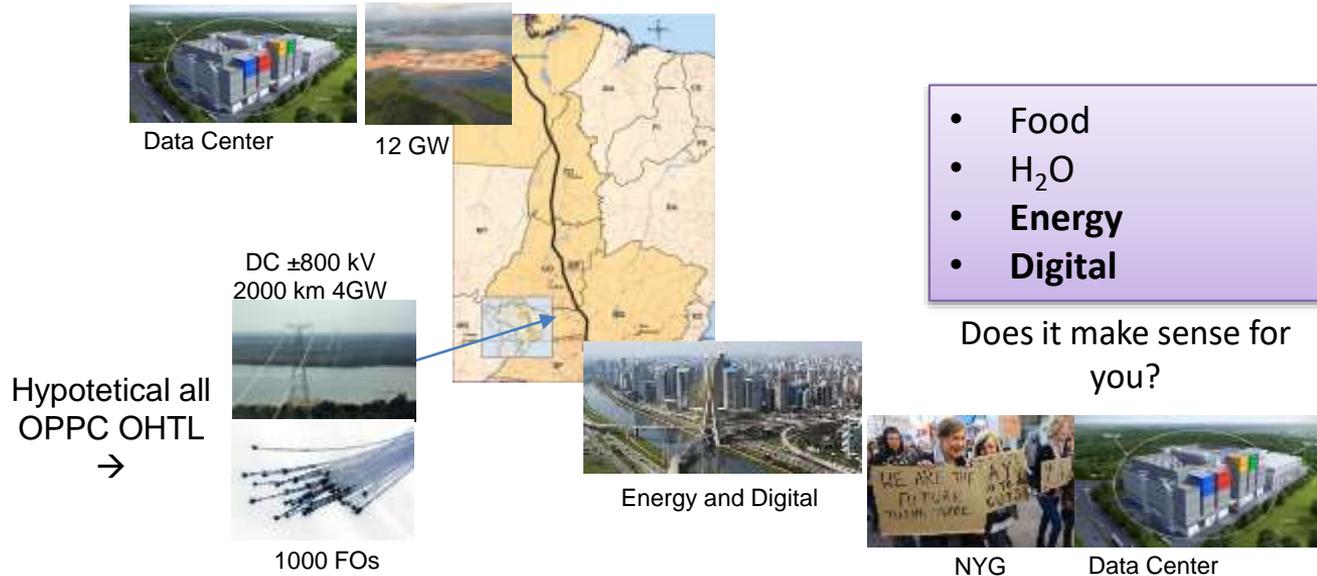
Conductors are supported by steel cables not by towers.

Insulated OHTL ?

Superconducting OHTL ?

# Parte IV Próxima geração de LTs

Ruptura tecnológica: Construir as novas LTs alinhado **digital industry 4.0!**





# Estado da Arte e Inovações em Linhas de Transmissão no Sistema Elétrico Brasileiro

## Parte V – Considerações Finais

- Brazil interconnected system of OHTL will continue to grow steadily in the coming decades (1 to 1.5 GW of new OHTL capacity a year);
- Technological innovations are required for an increasingly interconnected and aging system of OHTL;
- Untraditional OHTL projects → with a strong presence of intermittent renewable generation and restrictions imposed by a society;
- Scenarios of Innovations → 4\_main\_resources (food, H<sub>2</sub>O, Energy and digital); Acceptance, Safety Operation and Digital New Young Generation;
- Key words for the future → new materials, automation; infrastructure sharing; smartgrid; operational efficiency; decentralized management and training of labor;
- Next generations of OHTL → disruptive view → sharing infrastructure.



Thanks for your attention!