



# SEL0365 – Linhas de Transmissão de Energia Elétrica

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
Prof. Rogério Andrade Flauzino



SEL0365 – Linhas de Transmissão de Energia Elétrica  
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
Prof. Rogério Andrade Flauzino | [raflauzino@sc.usp.br](mailto:raflauzino@sc.usp.br)

## CAPÍTULO 0 ASPECTOS INTRODUTÓRIO

## Conteúdo Programático

- Aspectos introdutórios;
- Cálculo de parâmetros de linhas de transmissão;
- Parâmetros de linhas de transmissão em componentes de sequência;
- Teoria da transmissão de energia elétrica;
- Modelos de linhas de transmissão;
- Compensação de linhas de transmissão;

## Referências Bibliográficas

- NOTAS DE AULA
- STENVENSON JR, W.D. - Elementos de análise de sistema de potência. McGraw-Hill.
- FUCHS, R.D. - Transmissão de energia elétrica de linhas aéreas. Livros Técnicos e Científicos.
- GUNGOR, B.R. Power systems. Harcourt Brace Javanovich Publisher. CAMARGO, C.C.B.- Transmissão de energia elétrica. UFSC.

## Visão Geral do Setor Elétrico Brasileiro

- **A indústria da eletricidade**

- O termo indústria geralmente designa o conjunto de atividades que visam à **manipulação de matérias-primas para a produção de bens de consumo**.
- No caso da indústria de eletricidade, o bem produzido é a energia elétrica, **um produto impalpável utilizado de forma indireta**, seja para produzir luz, movimento, calor ou qualquer outra transformação energética.

## Visão Geral do Setor Elétrico Brasileiro

- Com o crescimento da viabilidade econômica de **pequenos geradores elétricos**, dentre eles os geradores de fontes renováveis, apresenta-se de forma crescente um novo paradigma de operação dos sistemas elétricos: **a geração distribuída (GD)**.
- A partir da descentralização crescente da geração, o que tem ocorrido em diversos países no mundo, as **redes de transmissão e distribuição passam a ter papel protagonista na operação do sistema**, contrabalançando os efeitos intermitentes desses pequenos geradores e aumentando a qualidade do fornecimento de energia.

## Visão Geral do Setor Elétrico Brasileiro

- Um ponto relevante a ser mencionado sobre a produção e o consumo de energia elétrica é que, diferentemente de outros sistemas de redes, como saneamento e gás, a energia elétrica **não pode ser armazenada de forma economicamente viável**, e isso implica na necessidade de equilíbrio constante entre oferta e demanda.

## Segmentos da indústria de energia elétrica

- A partir da década de 1990, buscando eficiência e autonomia econômica, o setor elétrico mundial começa a passar por **reformas estruturais** em sua forma de operação, sofrendo influência da doutrina do estado mínimo no pensamento econômico.
- Como resultado destas reformas, que também ocorreram no Brasil, **os segmentos de geração, transporte e comercialização de energia passam a ser separados**, sendo administrados e operados por agentes distintos.
- A ideia predominante foi a de que a **livre concorrência deveria prevalecer onde fosse possível**, relegando ao estado o papel da regulação onde necessário.

## Segmentos da indústria de energia elétrica

- Neste contexto, **os segmentos de geração e comercialização foram caracterizados como segmentos competitivos**, dada a existência de muitos agentes e também pelo fato do produto, a energia elétrica, ser homogêneo, como uma *commodity*.
- Por sua vez, **os setores de transporte da energia – a transmissão e a distribuição – são considerados monopólios naturais**, pois sua estrutura física torna economicamente inviável a competição entre dois agentes em uma mesma área de concessão.
- Nestes dois segmentos, predomina o modelo de regulação de preços ou regulação por incentivos.

## Geração

- A **geração** é o segmento da indústria de eletricidade responsável por **produzir energia elétrica** e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores.
- Especificamente no Brasil, o segmento de geração é bastante pulverizado, atualmente contando, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com **2.661 empreendimentos geradores**.

## Geração

- **A maioria desses empreendimentos, 1.570, são usinas termelétricas de médio porte**, movidas a gás natural, biomassa, óleo diesel, óleo combustível e carvão mineral.
- Apesar disso, praticamente 70% da capacidade instalada no país, e **74% da energia gerada, são de origem hidrelétrica e limpa, contando com 199 empreendimentos de grande porte, 418 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 385 micro usinas hidrelétricas.**

## Geração

Empreendimentos de geração em operação no Brasil		
Tipo	Quantidade	Potência Instalada (kW)
Micro Usinas Hidrelétricas (menor que 1MW)	385	228.866
Central Geradora Eolielétrica (Eólica)	79	1.638.232
Pequena Central Hidrelétrica (entre 1 MW e 30 MW)	418	4.020.623
Usina Fotovoltaica (Solar)	8	1.494
Usina Hidrelétrica de Energia (maior que 30 MW)	199	78.826.649
Usina Termelétrica de Energia (Fósseis ou Biomassa)	1.570	32.143.273
Usina Termonuclear (Nuclear)	2	2.007.000
<b>Total</b>	<b>2.661</b>	<b>118.866.137</b>

## Geração

- **O segmento de geração era considerado um segmento competitivo** no Brasil até 2012, pois a maioria absoluta dos geradores eram livres para negociar seus preços, seja diretamente com consumidores livres, seja por meio de leilões regulados.
- A partir de **2013**, muitas usinas hidroelétricas antigas **passaram a ter seus preços controlados pela ANEEL**, pois essa foi a condição para a **renovação antecipada de seus contratos de concessão**.

## Transporte (Transmissão e Distribuição)

- **O segmento de transmissão é aquele que se encarrega de transportar grandes quantidades de energia** provenientes das usinas geradoras.
- A interrupção de um linha de transmissão pode afetar cidades inteiras ou até mesmo estados.
- No Brasil, esse segmento conta com **77 concessionárias**, responsáveis pela **administração e operação de mais de cem mil quilômetros de linhas de transmissão** espalhadas pelo país, conectando os geradores aos grandes consumidores ou, como é o caso mais comum, às empresas distribuidoras.
- **No Brasil, o segmento de transmissão é aquele que se caracteriza por operar linhas em tensão elétrica superior a 230 kV.**

## Transporte (Transmissão e Distribuição)

- O segmento de distribuição, por sua vez, é aquele que **recebe** grande quantidade de **energia do sistema de transmissão e a distribui** de forma pulverizada **para consumidores médios e pequenos.**
- **Existem também unidades geradoras de menor porte,** normalmente menores do que 30 MW, que **injetam sua produção nas redes do sistema de distribuição.**
- No Brasil, esse segmento é **composto por 63 concessionárias,** as quais são responsáveis pela administração e operação de linhas de transmissão de menor tensão (abaixo de 230 kV), mas principalmente das redes de média e baixa tensão, como aquelas instaladas nas ruas e avenidas das grandes cidades.
- É a empresa distribuidora quem faz com que a energia elétrica chegue às residências e pequenos comércios e indústrias.

## Transporte (Transmissão e Distribuição)

- Diferentemente do segmento de geração, **a transmissão e a distribuição de energia, no Brasil, tem seus preços regulados pela ANEEL,** que é a agência reguladora do setor. Desse modo, **essas empresas não são livres para praticar os preços que desejam,** inserindo-se no contexto dos contratos de concessão, que usualmente contam com **mecanismos de revisões e reajustes tarifários periódicos,** operacionalizados pela própria agência reguladora.

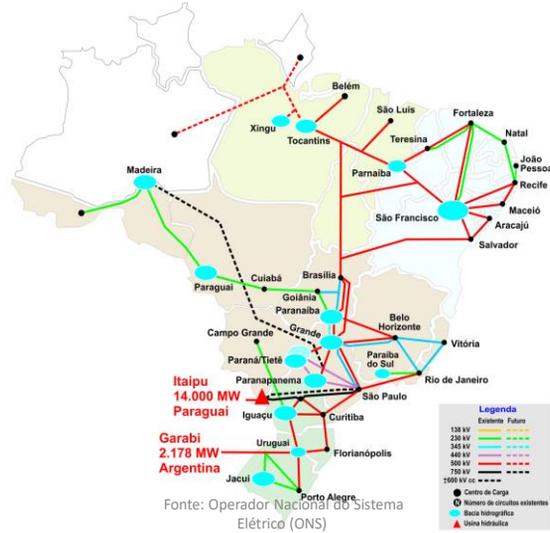
## Comercialização

- O segmento de comercialização de energia é relativamente novo, tanto no Brasil quanto no mundo.
- Seu **surgimento está relacionado com a reestruturação do setor elétrico**, ocorrida na década de 1990, e seu papel muito mais relacionado ao contexto econômico e institucional do que propriamente ao processo físico de produção e transporte da energia.

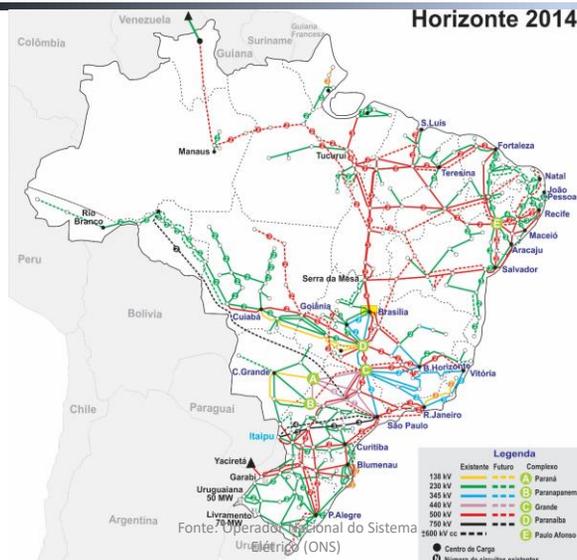
## Comercialização

- No Brasil, o primeiro contrato de comercialização de energia elétrica, nos moldes do novo modelo, ocorreu em 1999, aproximadamente dois anos após a criação da ANEEL.
- Atualmente, existem **mais de 100 agentes de comercialização de energia elétrica no Brasil**, muitos deles atuando como intermediários entre usinas e consumidores livres.

# Integração Eletroenergética Brasileira



# Sistema de Transmissão Horizonte - 2014



# Extensão de Linhas de Transmissão



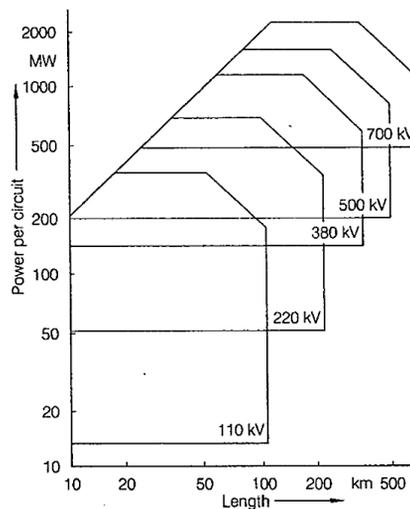
Fonte: Associação Brasileira de Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica (ABRATE)

- CEEE - Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
- CELG - Geração e Transmissão S/A
- CEMIG - Geração e Transmissão S/A
- CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
- COPEL - Geração e Transmissão S/A
- CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista
- ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A
- ELETROSUL - Centrais Elétricas S.A
- FURNAS - Centrais Elétricas S.A
- STATE GRID BRASIL

## EXTENSÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (CIRCUITOS) (km)

TENSÃO	CEEE	CEMIG	CHESF	COPEL	CTEEP	ELETRONORTE	ELETROSUL	FURNAS	S. GRID	TOTAL	TOTAL BRASIL	% ABRATE
69/88	226	0	337	5	1.383	3	122	0	0	2.076	ND	-
138	760	0	384	7	8.856	214	1.863	2.204	0	14.288	ND	-
<b>TOTAL 1</b>	<b>986</b>	<b>0</b>	<b>721</b>	<b>12</b>	<b>10.239</b>	<b>217</b>	<b>1.985</b>	<b>2.204</b>	<b>0</b>	<b>16.364</b>	<b>ND</b>	<b>-</b>
230	4.877	789	12.806	1.738	1.409	5.148	5.205	1.949	3	33.924	45.709	74,22
345	0	1.967	0	0	725	0	0	6.221	0	8.913	10.061	88,59
440	0	0	0	0	6.409	0	0	0	3	6.412	6.681	95,97
500	0	2.176	5.118	163	0	3.243	3.572	4.571	3.249	22.092	35.003	63,11
600 (CC)	0	0	0	0	0	0	0	1.612	0	1.612	1.612	100,00
750	0	0	0	0	0	0	0	2.698	0	2.698	2.698	100,00
<b>TOTAL 2</b>	<b>4.877</b>	<b>4.932</b>	<b>17.924</b>	<b>1.901</b>	<b>8.543</b>	<b>8.391</b>	<b>8.777</b>	<b>17.051</b>	<b>3.255</b>	<b>75.651</b>	<b>101.764</b>	<b>74,34</b>
<b>TOTAL 3</b>	<b>5.863</b>	<b>4.932</b>	<b>18.645</b>	<b>1.913</b>	<b>18.782</b>	<b>8.608</b>	<b>10.762</b>	<b>19.255</b>	<b>3.255</b>	<b>92.015</b>	<b>ND</b>	<b>-</b>

# Nível de Tensão e Capacidade de Transmissão



KISSLING, F., NEFZGER, P., NOLASCO, J., AND KAJNTZYK, U. *Overhead power lines: planning, design, construction*. Springer, 2003.