

TE061 - Introdução aos Sistemas de Energia Elétrica

Aula 05: Características básica dos SEEs, Dados do SEB; Cenário internacional de energia elétrica; Modelos em regime permanente dos componentes de um SEE.

Roman Kuiava, Prof. Dr.
kuiava@eletrica.ufpr.br
DELT-UFPR

Balanço instantâneo de carga e geração

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

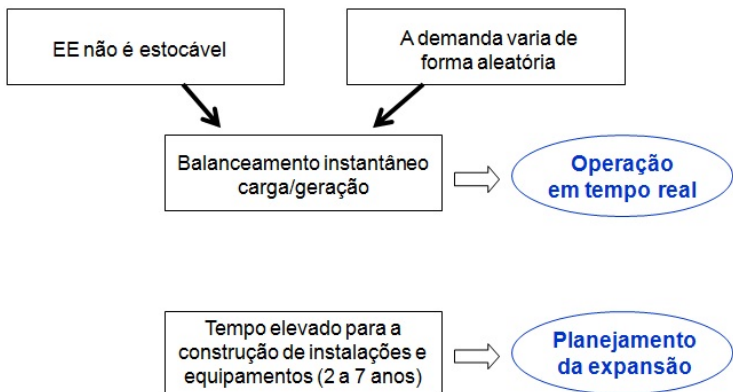
A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Características dos SEP:



Perfil de carga

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB
Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O consumo de energia elétrica é descrito em **potência** e **energia**.
- A potência, medida em watts (W) (ou seus múltiplos, kW, MW e GW), é a quantidade de energia consumida em uma unidade de tempo.
- A energia, medida em Wh (ou seus múltiplos, kWh, MWh e GWh), é o resultado da soma do que foi consumido em um determinado período.

Perfil de carga

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O consumo de energia elétrica é descrito em **potência** e **energia**.
- A potência, medida em watts (W) (ou seus múltiplos, kW, MW e GW), é a quantidade de energia consumida em uma unidade de tempo.
- A energia, medida em Wh (ou seus múltiplos, kWh, MWh e GWh), é o resultado da soma do que foi consumido em um determinado período.

Perfil de carga

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB
Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná

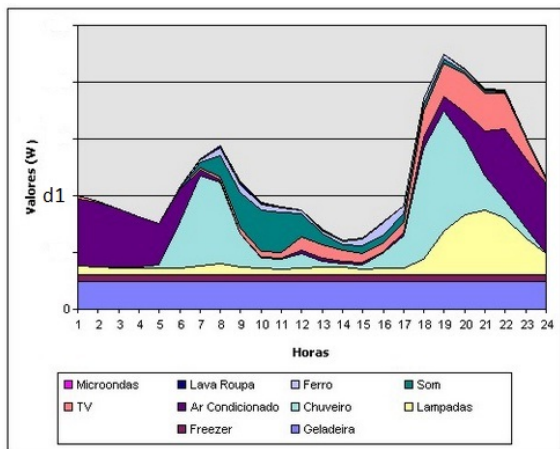
A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- O consumo de energia elétrica é descrito em **potência** e **energia**.
- A potência, medida em watts (W) (ou seus múltiplos, kW, MW e GW), é a quantidade de energia consumida em uma unidade de tempo.
- A energia, medida em Wh (ou seus múltiplos, kWh, MWh e GWh), é o resultado da soma do que foi consumido em um determinado período.

Perfil de carga



Perfil de carga

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração

Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

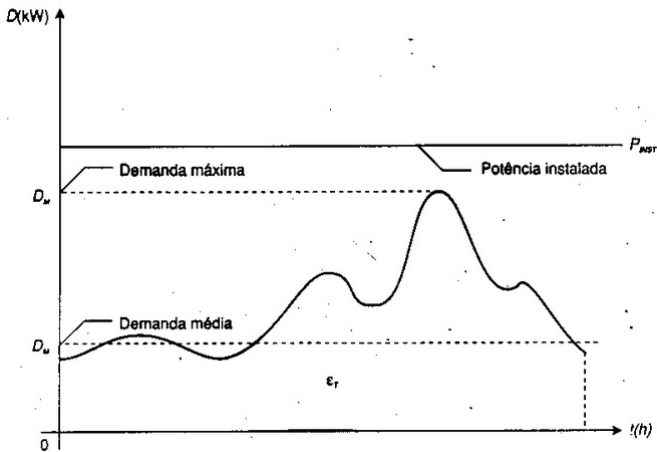
Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina



Perfil de carga

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração

Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

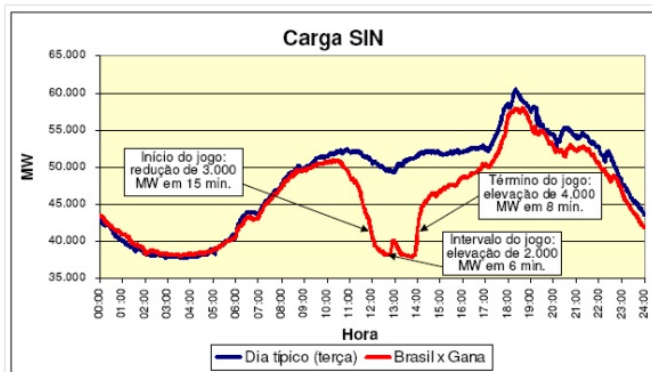
Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina



Sistema Integrado Nacional (SIN)

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos



Linhas de Transmissão:

• 230 kV CA:	33.760 km
• 345 kV CA:	9.024 km
• 440 kV CA:	6.668 km
• 500 kV CA:	21.924 km
• 600 kV CC:	1.612 km
• 750 kV CA:	2.684 km
Total:	75.672 km

Figura : Sistema Integrado Nacional

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

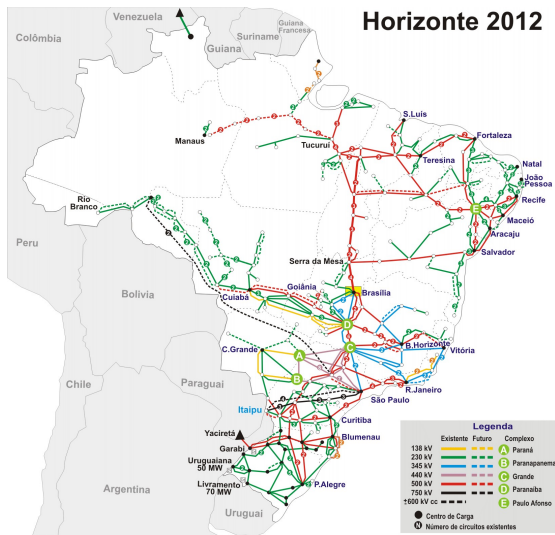


Figura : Sistema Integrado Nacional

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná
A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- As linhas de transmissão no Brasil costumam ser extensas, porque as grandes usinas hidrelétricas geralmente estão situadas a distâncias consideráveis dos centros consumidores de energia. **Hoje o país está quase que totalmente interligado, de norte a sul.**
- **Sistema Norte - Centro-oeste:** o primeiro circuito de interligação, conhecido por Linhão Norte-Sul, foi construído em 500kV, com 1.277km de extensão, capacidade de transmissão de 1.100MW e com transferência média de 600MW e inaugurado em 1999. O circuito interliga o estado de Tocantins ao Distrito Federal.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- As linhas de transmissão no Brasil costumam ser extensas, porque as grandes usinas hidrelétricas geralmente estão situadas a distâncias consideráveis dos centros consumidores de energia. **Hoje o país está quase que totalmente interligado, de norte a sul.**
- **Sistema Norte - Centro-oeste:** o primeiro circuito de interligação, conhecido por Linhão Norte-Sul, foi construído em 500kV, com 1.277km de extensão, capacidade de transmissão de 1.100MW e com transferência média de 600MW e inaugurado em 1999. O circuito interliga o estado de Tocantins ao Distrito Federal.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- **Sistema Norte - Centro-oeste:** Em março de 2004 foi inaugurado o segundo circuito de interligação norte-sul II, com 1278km de extensão, operando em 500kV, passando pelas SE Imperatriz, no Maranhão, Colinas, Miracema e Gurupi, no Tocantins, Serra da Mesa em Goiás, e Samambaia em Brasília.
- **Sistema Norte - Centro-oeste:** os circuitos em 500kV desta interligação transmitem energia da UHE de Lajeado, localizada no rio Tocantins, entre os municípios de Lajeado e Miracema do Tocantins com potência instalada de 902,5MW. **A UHE de Lajeado é o maior empreendimento de geração realizado pela iniciativa privada no Brasil.**

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- **Sistema Norte - Centro-oeste:** Em março de 2004 foi inaugurado o segundo circuito de interligação norte-sul II, com 1278km de extensão, operando em 500kV, passando pelas SE Imperatriz, no Maranhão, Colinas, Miracema e Gurupi, no Tocantins, Serra da Mesa em Goiás, e Samambaia em Brasília.
- **Sistema Norte - Centro-oeste:** os circuitos em 500kV desta interligação transmitem energia da UHE de Lajeado, localizada no rio Tocantins, entre os municípios de Lajeado e Miracema do Tocantins com potência instalada de 902,5MW. **A UHE de Lajeado é o maior empreendimento de geração realizado pela iniciativa privada no Brasil.**

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A interligação Sudeste-Nordeste compreende aproximadamente 1.062km de linhas de transmissão de 500kV, que se estendem da subestação Serra da Mesa, em Goiás, até a subestação de Sapeaçu, na Bahia, e cinco subestações.
- O sistema interligado Sudeste - Centro-oeste concentra pelo menos 60% da demanda de energia no Brasil.
- **Sistema Sul-Sudeste:** energia transferida da usina de Itaipu (2 circuitos em CC em 600kV ligando a usina a São Roque (SP), 3 circuitos em 765kV ligando a usina a Tijuco Preto). As linhas são de propriedade de Furnas.
- **Sistema Nordeste:** hoje a região Nordeste importa energia elétrica das hidrelétricas de Lajeado, em Tocantins, Cana Brava, em Goiás, e Tucuruí I e II, no Pará.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A interligação Sudeste-Nordeste compreende aproximadamente 1.062km de linhas de transmissão de 500kV, que se estendem da subestação Serra da Mesa, em Goiás, até a subestação de Sapeaçu, na Bahia, e cinco subestações.
- O sistema interligado Sudeste - Centro-oeste concentra pelo menos 60% da demanda de energia no Brasil.
- **Sistema Sul-Sudeste:** energia transferida da usina de Itaipu (2 circuitos em CC em 600kV ligando a usina a São Roque (SP), 3 circuitos em 765kV ligando a usina a Tijuco Preto). As linhas são de propriedade de Furnas.
- **Sistema Nordeste:** hoje a região Nordeste importa energia elétrica das hidrelétricas de Lajeado, em Tocantins, Cana Brava, em Goiás, e Tucuruí I e II, no Pará.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A interligação Sudeste-Nordeste compreende aproximadamente 1.062km de linhas de transmissão de 500kV, que se estendem da subestação Serra da Mesa, em Goiás, até a subestação de Sapeaçu, na Bahia, e cinco subestações.
- O sistema interligado Sudeste - Centro-oeste concentra pelo menos 60% da demanda de energia no Brasil.
- **Sistema Sul-Sudeste:** energia transferida da usina de Itaipu (2 circuitos em CC em 600kV ligando a usina a São Roque (SP), 3 circuitos em 765kV ligando a usina a Tijuco Preto). As linhas são de propriedade de Furnas.
- **Sistema Nordeste:** hoje a região Nordeste importa energia elétrica das hidrelétricas de Lajeado, em Tocantins, Cana Brava, em Goiás, e Tucuruí I e II, no Pará.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A interligação Sudeste-Nordeste compreende aproximadamente 1.062km de linhas de transmissão de 500kV, que se estendem da subestação Serra da Mesa, em Goiás, até a subestação de Sapeaçu, na Bahia, e cinco subestações.
- O sistema interligado Sudeste - Centro-oeste concentra pelo menos 60% da demanda de energia no Brasil.
- **Sistema Sul-Sudeste:** energia transferida da usina de Itaipu (2 circuitos em CC em 600kV ligando a usina a São Roque (SP), 3 circuitos em 765kV ligando a usina a Tijuco Preto). As linhas são de propriedade de Furnas.
- **Sistema Nordeste:** hoje a região Nordeste importa energia elétrica das hidrelétricas de Lajeado, em Tocantins, Cana Brava, em Goiás, e Tucuruí I e II, no Pará.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- Grande parte da região norte e uma parcela reduzida da região Centro-oeste, além de algumas pequenas localidades esparsas pelo território brasileiro, ainda não fazem parte do sistema interligado.
- A existência desses sistemas isolados, em algumas situações, como é o caso dos sistemas das cidades de Manaus, Boa Vista (Roraima) e Porto Velho (Rondônia), assumem proporções de relativa significância, com demandas superiores a 100 MW, em grande parte responsável pela predominância da geração termelétrica a diesel.
- Para atender às políticas externa e energética, o Brasil está interligado aos países vizinhos como Venezuela (para fornecimento a Manaus e Boa Vista), Argentina, Uruguai, e Paraguai.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- Grande parte da região norte e uma parcela reduzida da região Centro-oeste, além de algumas pequenas localidades esparsas pelo território brasileiro, ainda não fazem parte do sistema interligado.
- A existência desses sistemas isolados, em algumas situações, como é o caso dos sistemas das cidades de Manaus, Boa Vista (Roraima) e Porto Velho (Rondônia), assumem proporções de relativa significância, com demandas superiores a 100 MW, em grande parte responsável pela predominância da geração termelétrica a diesel.
- Para atender às políticas externa e energética, o Brasil está interligado aos países vizinhos como Venezuela (para fornecimento a Manaus e Boa Vista), Argentina, Uruguai, e Paraguai.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- Grande parte da região norte e uma parcela reduzida da região Centro-oeste, além de algumas pequenas localidades esparsas pelo território brasileiro, ainda não fazem parte do sistema interligado.
- A existência desses sistemas isolados, em algumas situações, como é o caso dos sistemas das cidades de Manaus, Boa Vista (Roraima) e Porto Velho (Rondônia), assumem proporções de relativa significância, com demandas superiores a 100 MW, em grande parte responsável pela predominância da geração termelétrica a diesel.
- Para atender às políticas externa e energética, o Brasil está interligado aos países vizinhos como Venezuela (para fornecimento a Manaus e Boa Vista), Argentina, Uruguai, e Paraguai.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuzava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Vantagens dos sistemas interligados:

⇒ **Aumento da estabilidade:** sistema torna-se mais robusto podendo absorver, sem perda de sincronismo, maiores impactos elétricos.

⇒ **Aumento da confiabilidade:** permite a continuidade do serviço em decorrência da falha ou manutenção de equipamento, ou ainda devido às alternativas de rotas para fluxo da energia.

⇒ **Mais econômico:** permite o intercâmbio de energia entre áreas distantes do sistema.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Vantagens dos sistemas interligados:

⇒ **Aumento da estabilidade:** sistema torna-se mais robusto podendo absorver, sem perda de sincronismo, maiores impactos elétricos.

⇒ **Aumento da confiabilidade:** permite a continuidade do serviço em decorrência da falha ou manutenção de equipamento, ou ainda devido às alternativas de rotas para fluxo da energia.

⇒ **Mais econômico:** permite o intercâmbio de energia entre áreas distantes do sistema.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Vantagens dos sistemas interligados:

⇒ **Aumento da estabilidade:** sistema torna-se mais robusto podendo absorver, sem perda de sincronismo, maiores impactos elétricos.

⇒ **Aumento da confiabilidade:** permite a continuidade do serviço em decorrência da falha ou manutenção de equipamento, ou ainda devido às alternativas de rotas para fluxo da energia.

⇒ **Mais econômico:** permite o intercâmbio de energia entre áreas distantes do sistema.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Vantagens dos sistemas interligados:

⇒ **Aumento da estabilidade:** sistema torna-se mais robusto podendo absorver, sem perda de sincronismo, maiores impactos elétricos.

⇒ **Aumento da confiabilidade:** permite a continuidade do serviço em decorrência da falha ou manutenção de equipamento, ou ainda devido às alternativas de rotas para fluxo da energia.

⇒ **Mais econômico:** permite o intercâmbio de energia entre áreas distantes do sistema.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

■ Desvantagens dos sistemas interligados:

⇒ Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.

⇒ A operação e proteção tornam-se mais complexas.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

■ Desvantagens dos sistemas interligados:

⇒ Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.

⇒ A operação e proteção tornam-se mais complexas.

Sistema Integrado Nacional (SIN) - 2012

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

■ Desvantagens dos sistemas interligados:

⇒ Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.

⇒ A operação e proteção tornam-se mais complexas.

Sistema de geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O sistema de produção de energia elétrica do Brasil pode ser classificado como um **sistema hidrotérmico de grande porte**, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.
- A maior parte da capacidade instalada é composta por usinas hidrelétricas, que se distribuem em 14 diferentes bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país de maior atratividade econômica.
- A capacidade de geração do Brasil em 2010 é de 110.053MW de potência, com um total de 2.100 empreendimentos em operação.

Sistema de geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuzava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O sistema de produção de energia elétrica do Brasil pode ser classificado como um **sistema hidrotérmico de grande porte**, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.
- A maior parte da capacidade instalada é composta por usinas hidrelétricas, que se distribuem em 14 diferentes bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país de maior atratividade econômica.
- A capacidade de geração do Brasil em 2010 é de 110.053MW de potência, com um total de 2.100 empreendimentos em operação.

Sistema de geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuzava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O sistema de produção de energia elétrica do Brasil pode ser classificado como um **sistema hidrotérmico de grande porte**, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.
- A maior parte da capacidade instalada é composta por usinas hidrelétricas, que se distribuem em 14 diferentes bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país de maior atratividade econômica.
- A capacidade de geração do Brasil em 2010 é de 110.053MW de potência, com um total de 2.100 empreendimentos em operação.

Sistema de geração no Brasil

- Evolução da capacidade instalada no Brasil:

Capacidade Instalada de 1999 a 2007 (MW)	
Ano	Potência (MW)
1999	67.946,4
2000	72.299,0
2001	74.876,7
2002	80.314,9
2003	83.807,1
2004	90.678,5
2005	92.865,5
2006	96.294,5
2007	100.352,4

Figura : Capacidade instalada no Brasil de 1999 à 2007 (Fonte: ANEEL).

Matriz de energia elétrica brasileira

- Matriz de energia elétrica brasileira (2012):

Empreendimentos em Operação							
Tipo	Capacidade Instalada		%	Total		%	
	N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)		
<u>Hidro</u>		972	82.370.591	65,74	972	82.370.591	65,75
<u>Gás</u>	Natural	104	11.427.953	9,12	143	13.225.136	10,56
	Processo	39	1.797.183	1,43			
<u>Petróleo</u>	Óleo Diesel	904	3.158.990	2,52	938	7.095.301	5,66
	Óleo Residual	34	3.936.311	3,14			
<u>Biomassa</u>	Bagaco de Cana	348	7.267.988	5,8	431	8.998.637	7,18
	Licor Negro	14	1.245.198	0,99			
	Madeira	43	376.535	0,3			
	Biogás	18	76.308	0,06			
	Casca de Arroz	8	32.608	0,03			
<u>Nuclear</u>		2	2.007.000	1,6	2	2.007.000	1,6
<u>Carvão Mineral</u>		10	1.944.054	1,55	10	1.944.054	1,55
<u>Eólica</u>		73	1.471.192	1,17	73	1.471.192	1,17
<u>Importação</u>	Paraguai		5.650.000	5,46	8.170.000		6,52
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
Total		2.579	125.287.756	100	2.579	125.287.756	100

Figura : Matriz de energia elétrica brasileira.

Matriz de energia elétrica brasileira

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Matriz de energia elétrica brasileira (2012):

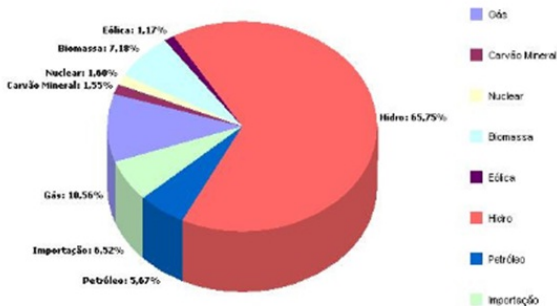


Figura : Matriz de energia elétrica brasileira.

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- Maiores agentes de geração de capacidade instalada no Brasil:

Nº	Agentes do Setor	Potência Instalada (kW)
1º	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco CHESF	10.615.131
2º	Furnas Centrais Elétricas S/A. FURNAS	9.703.000
3º	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. ELETRONORTE	9.217.381,10
4º	Companhia Energética de São Paulo CESP	7.455.300
5º	Itaipu Binacional ITAIPU	7.000.000
6º	Tractebel Energia S/ATRACTEBEL	6.965.350
7º	CEMIG Geração e Transmissão S/A CEMIG-GT	6.781.584
8º	Petróleo Brasileiro S/APETROBRÁS	5.291.067,60
9º	Copel Geração e Transmissão S.A.COPEL-GT	4.544.870
10º	AES Tietê S/AAES TIETÊ	2.645.050

Figura : Maiores agentes de capacidade instalada no Brasil (Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- **COPEL:** O Agente Copel Geração e Transmissão S.A. possui no total 21 empreendimentos. A sua capacidade de geração representa 4,3714% da capacidade do País.

Empreendimentos		
Fase	Quantidade	Potência (kW)
Construção	3	680.000
Operação	18	4.547.270
Total	21	5.227.270

Estados onde o Agente possui usinas	
As usinas localizadas em divisa de Estado do Brasil estão quantificada para ambos os Estados.	
Estado	Nº de usinas
MT	1 (Construção)
PR	2 (Construção)
PR	18 (Operação)

Figura : Dados da Copel Geração e Transmissão S.A. (Fonte: ANEEL).

- As usinas em construção são: Cavernoso II (PCH/19MW, municípios de Candói e Virmond); Colíder (UHE/300MW, municípios de Nova Canaã do Norte - MT); Mauá (UHE/361MW, municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba).

Sistema de Geração no Brasil

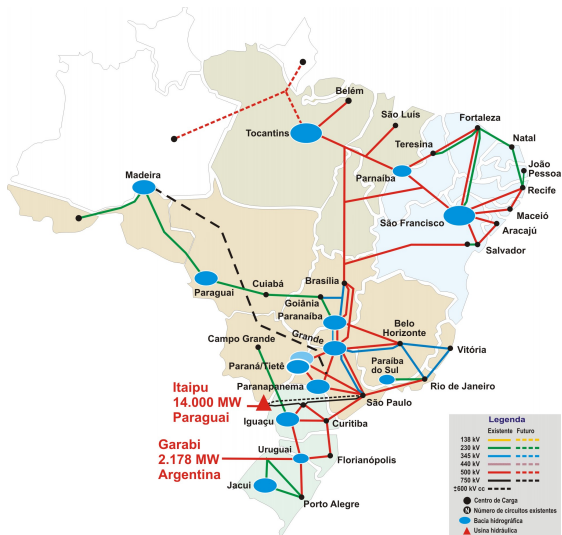


Figura : Bacias hidrográficas em potencial

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básicas dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

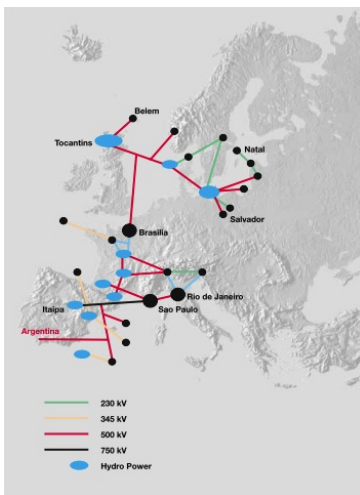


Figura : Sistema de transmissão brasileiro e bacias hidrográficas sobre o mapa europeu.

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

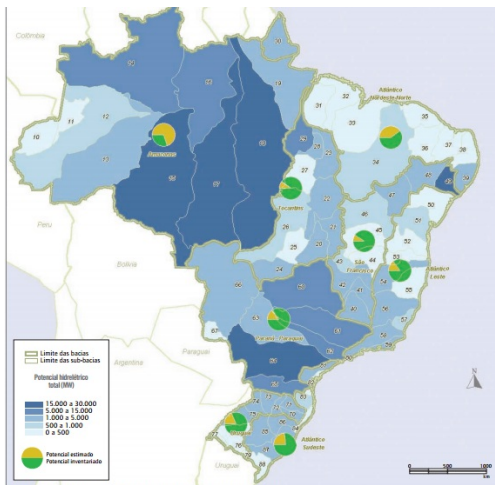
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos



Nota: os números correspondem aos códigos das sub-bacias, como indicado nas tabelas 3.2 e 3.4.

Figura : Potencial hidroelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica (fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Bacia Hidrográfica	(MW)	(%)
Rio Amazonas	592	0,98
Rio Tocantins	5.394	8,91
Atlântico N/NE	303	0,50
Rio São Francisco	10.473	17,31
Atlântico Leste	2.367	3,91
Rio Paraná	38.580	63,76
Rio Uruguai	294	0,49
Atlântico Sudeste	2.508	4,15
Total	60.511	100,00

Figura : Potencial existente e capacidade instalada em alguns rios do país (MW) (Fonte: ANEEL, 2001).

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Bacia Hidrográfica	Existente [b] (MW)	Aproveitado [c] (MW)	[c/a]	[c/b]
Bacia do Rio Amazonas	105.410	592	0,02	0,01
Bacia do Rio Tocantins	27.540	5.394	0,22	0,20
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3.402	303	0,15	0,09
Bacia do Rio São Francisco	26.319	10.473	0,44	0,40
Bacia do Atlântico Leste	14.092	2.367	0,20	0,17
Bacia do Rio Paraná	60.378	38.580	0,75	0,64
Bacia do Rio Uruguai	13.337	294	0,03	0,02
Bacia do Atlântico Sudeste	9.617	2.508	0,34	0,26
Brasil	260.095	60.511	0,37	0,23

Figura : Potenciais existente e aproveitado e índices de aproveitamento por bacia (Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

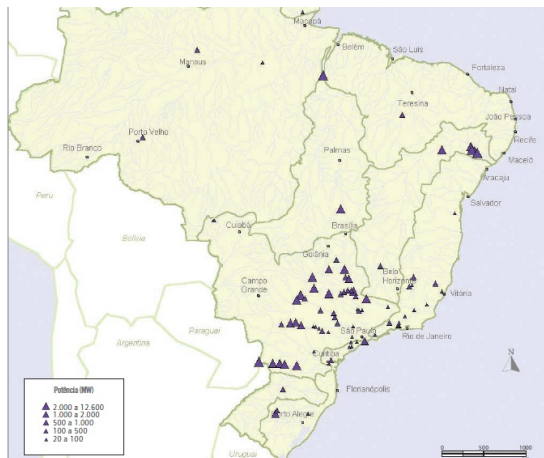


Figura : Usinas hidrelétricas por classe de potência e bacia hidrográfica (Fonte: ANEEL).

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs
Balanço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB
Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná
A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos



Figura : Localização dos pequenos aproveitamentos hidrelétricos (micro e PCHs) existentes no Brasil (Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

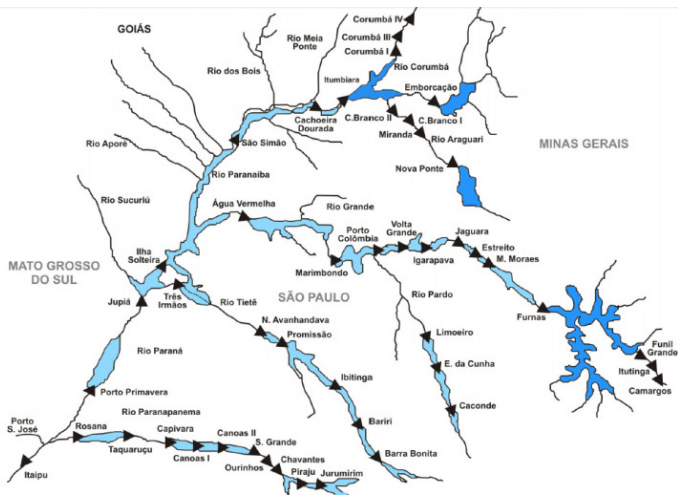
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

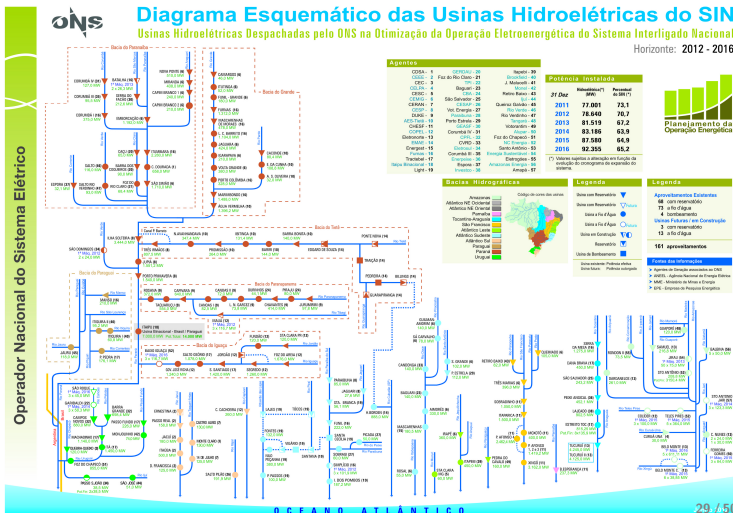


Fonte: ONS - Plano Anual de Prevenção de Cheias - Ciclo 2011/2012

Figura : Usinas da Bacia do Paraná.

Sistema de Geração no Brasil

■ Diagrama esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN:



TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração

Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

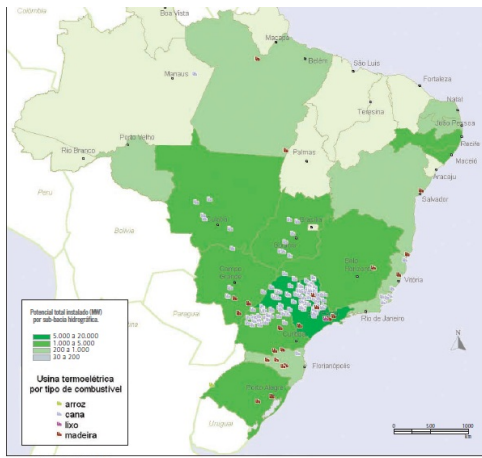


Figura : Usinas termelétricas a biomassa e potencial de geração por Estado (Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

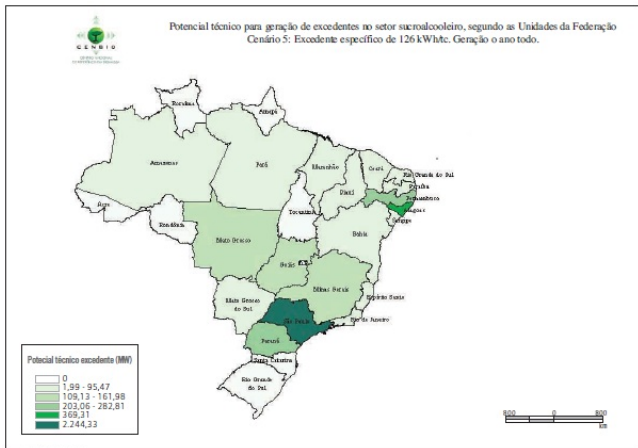


Figura : Potencial de geração de excedentes de eletricidade no setor sucroalcooleiro do Brasil(Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

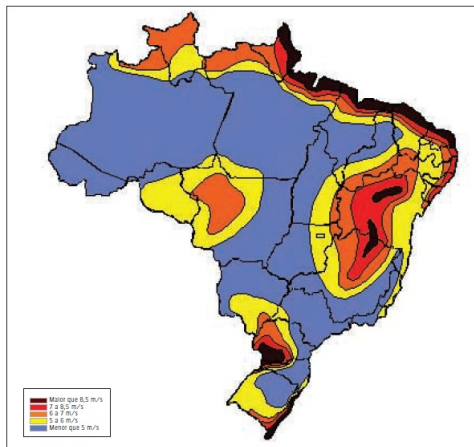


Figura 5.1 – Atlas eólico do Brasil (dados preliminares de 1998)

Figura : Atlas eólico do Brasil (Fonte: ANEEL).

Sistema de Geração no Brasil

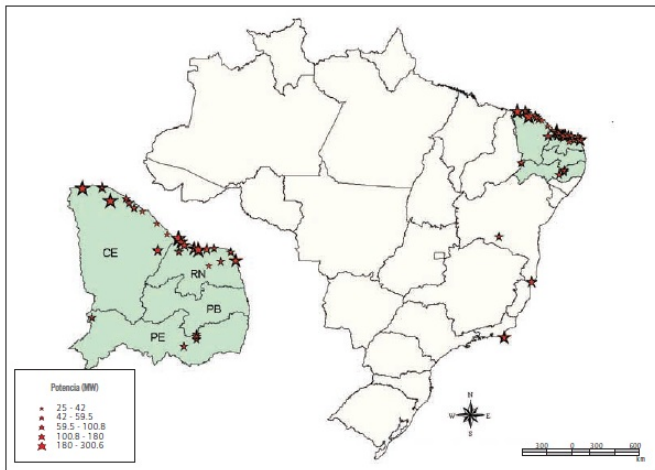


Figura : Localização dos projetos eólicos outorgados no Brasil em 2004
(Fonte: ANEEL).

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuzava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Sistema de Geração no Brasil



Figura : Centrais termelétricas a derivados de petróleo em operação no Brasil (Fonte: ANEEL).

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Sistema de transmissão no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- As linhas de transmissão no Brasil costumam ser extensas, porque as grandes usinas hidrelétricas geralmente estão situadas a distâncias consideráveis dos centros consumidores de energia.

Nº	Agentes do Setor	km de linhas
1º	FURNAS	19.082
2º	CTEEP	18.495
3º	CHESF	18.260
4º	Eletrosul	10.693
5º	Eletronorte	7.856
6º	CEEE	6.008
7º	CEMIG	4.875
8º	COPEL	1.766

Figura : Maiores transmissores do país - Extensão de linhas (km)
(Fonte: ABRATE Maio/2008).

Sistema de distribuição no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil incluem todas as redes e linhas de distribuição de energia elétrica em tensão inferior a 230kV:

⇒ **Alta tensão (AT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV;

⇒ **Média tensão (MT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1kV e inferior a 69kV;

⇒ **Baixa tensão (BT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1kV.

Sistema de distribuição no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil incluem todas as redes e linhas de distribuição de energia elétrica em tensão inferior a 230kV:

⇒ **Alta tensão (AT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV;

⇒ **Média tensão (MT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1kV e inferior a 69kV;

⇒ **Baixa tensão (BT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1kV.

Sistema de distribuição no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil incluem todas as redes e linhas de distribuição de energia elétrica em tensão inferior a 230kV:

⇒ **Alta tensão (AT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV;

⇒ **Média tensão (MT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1kV e inferior a 69kV;

⇒ **Baixa tensão (BT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1kV.

Sistema de distribuição no Brasil

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil incluem todas as redes e linhas de distribuição de energia elétrica em tensão inferior a 230kV:

⇒ **Alta tensão (AT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV;

⇒ **Média tensão (MT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1kV e inferior a 69kV;

⇒ **Baixa tensão (BT):** Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1kV.

Sistema de distribuição no Brasil

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- O Brasil possui atualmente 39 agentes de distribuição. Os maiores são:

Nº	Empresa	Consumo em GWh
1º	Eletropaulo	32.548
2º	Cemig	20.693
3º	CPFL	18.866
4º	Copel	18.523
5º	Light	18.235
6º	Celesc	13.829
7º	Coelba	11.403
8º	Elektro	10.055
9º	Celpe	8.171
10º	Piratininga	8.015

Figura : Dez Maiores agentes de distribuição do país (por consumo)
(Fonte ABRADÉE, 2007).

Sistema de distribuição no Brasil



Figura : Áreas de abrangência das concessionárias de distribuição de energia elétrica (Fonte ANEEL, 2005).

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

**Sistema de
distribuição**

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Sistema de suprimento de energia no Paraná

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

**Sistema do
Paraná**

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A estrutura do serviço de energia no Paraná, fornecido pela Copel, compreende a operação de um parque gerador próprio composto por 18 usinas, sendo 17 delas hidrelétricas, cuja potência instalada totaliza 4.550 MW, e que responde pela produção de algo como 7% de toda eletricidade consumida no Brasil.
- O sistema de transmissão totaliza 1.942km de linhas e 30 subestações.
- O sistema de distribuição possui 348 subestações e 179.351km de linhas.
- O atendimento da Copel atende mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras em 393 municípios e 1.109 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses.
- Detalhes do sistema elétrico paranaense: ver arquivo SistemaSul.pdf (obtido em www.ons.org.br)

Sistema de suprimento de energia no Paraná

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

**Sistema do
Paraná**

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A estrutura do serviço de energia no Paraná, fornecido pela Copel, compreende a operação de um parque gerador próprio composto por 18 usinas, sendo 17 delas hidrelétricas, cuja potência instalada totaliza 4.550 MW, e que responde pela produção de algo como 7% de toda eletricidade consumida no Brasil.
- O sistema de transmissão totaliza 1.942km de linhas e 30 subestações.
- O sistema de distribuição possui 348 subestações e 179.351km de linhas.
- O atendimento da Copel atende mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras em 393 municípios e 1.109 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses.
- Detalhes do sistema elétrico paranaense: ver arquivo SistemaSul.pdf (obtido em www.ons.org.br)

Sistema de suprimento de energia no Paraná

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A estrutura do serviço de energia no Paraná, fornecido pela Copel, compreende a operação de um parque gerador próprio composto por 18 usinas, sendo 17 delas hidrelétricas, cuja potência instalada totaliza 4.550 MW, e que responde pela produção de algo como 7% de toda eletricidade consumida no Brasil.
- O sistema de transmissão totaliza 1.942km de linhas e 30 subestações.
- O sistema de distribuição possui 348 subestações e 179.351km de linhas.
- O atendimento da Copel atende mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras em 393 municípios e 1.109 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses.
- Detalhes do sistema elétrico paranaense: ver arquivo SistemaSul.pdf (obtido em www.ons.org.br)

Sistema de suprimento de energia no Paraná

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A estrutura do serviço de energia no Paraná, fornecido pela Copel, compreende a operação de um parque gerador próprio composto por 18 usinas, sendo 17 delas hidrelétricas, cuja potência instalada totaliza 4.550 MW, e que responde pela produção de algo como 7% de toda eletricidade consumida no Brasil.
- O sistema de transmissão totaliza 1.942km de linhas e 30 subestações.
- O sistema de distribuição possui 348 subestações e 179.351km de linhas.
- O atendimento da Copel atende mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras em 393 municípios e 1.109 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses.
- Detalhes do sistema elétrico paranaense: ver arquivo SistemaSul.pdf (obtido em www.ons.org.br)

Sistema de suprimento de energia no Paraná

TE061 -

Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração
Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- A estrutura do serviço de energia no Paraná, fornecido pela Copel, compreende a operação de um parque gerador próprio composto por 18 usinas, sendo 17 delas hidrelétricas, cuja potência instalada totaliza 4.550 MW, e que responde pela produção de algo como 7% de toda eletricidade consumida no Brasil.
- O sistema de transmissão totaliza 1.942km de linhas e 30 subestações.
- O sistema de distribuição possui 348 subestações e 179.351km de linhas.
- O atendimento da Copel atende mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras em 393 municípios e 1.109 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses.
- Detalhes do sistema elétrico paranaense: ver arquivo SistemaSul.pdf (obtido em www.ons.org.br).

Sistema de transmissão de Itaipu

- A Itaipu entrega a energia produzida na usina até os pontos de conexão com o Sistema Interligado. No lado brasileiro a conexão é localizado na subestação de Foz do Iguaçu de propriedade de Furnas, e no lado paraguaio, a conexão é realizada na subestação Margem Direita, situada na área da usina de Itaipu.

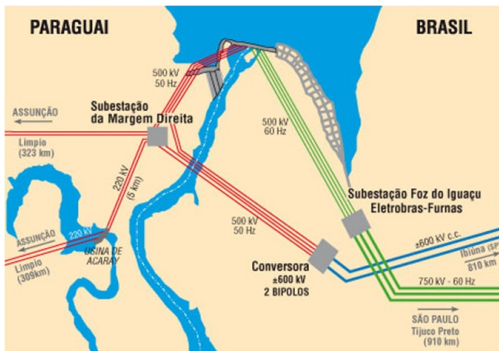


Figura : Sistema de transmissão de Itaipu

Cenário internacional de energia elétrica

- Capacidade instalada de geração de energia elétrica (em GW):

	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Mundo</i>	3.975,1	4.112,4	4.293,1	4.467,6	4.624,8
Estados Unidos	962,9	978,0	986,2	994,9	1.010,2
China	444,1	519,0	625,5	717,4	797,1
Japão	275,3	277,3	278,7	279,2	280,5
Rússia	218,4	219,6	222,1	224,7	224,2
Índia	139,3	147,6	156,6	170,2	177,4
Alemanha	124,6	125,0	131,6	134,1	139,3
Canadá	120,5	122,8	123,9	126,4	127,6
França	117,0	115,8	115,7	116,5	117,8
Brasil	90,8	93,2	96,6	100,4	102,9
Itália	81,3	85,5	89,5	93,6	98,6
Outros	1.401,0	1.428,7	1.466,6	1.510,3	1.549,2

Figura : Capacidade instalada de geração de energia elétrica (em GW).

Cenário internacional de energia elétrica

- Capacidade instalada de geração de energia elétrica (em GW):

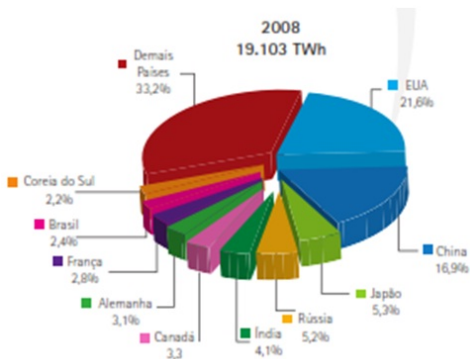


Figura : Capacidade instalada de geração de energia elétrica (em GW).

Cenário internacional de energia elétrica

■ Geração de energia elétrica por fonte:

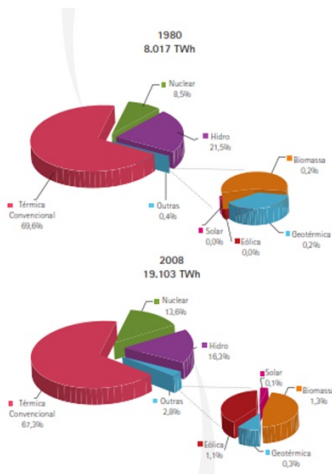


Figura : Geração de energia elétrica por fonte (em %)

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

Cenário internacional de energia elétrica

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs
Balanço
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB
Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005
Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná
A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Geração hidrelétrica no mundo:

	2004	2005	2006	2007	2008	$\Delta\%$ (2008/07)	Part. % (2008)
Mundo	752,4	772,4	795,9	825,2	856,8	3,8	100,0
China	105,2	117,4	128,6	145,3	171,5	18,1	20,0
Estados Unidos	77,6	77,5	77,8	76,9	77,9	0,1	9,1
Brasil	69,0	70,9	73,7	76,9	77,5	0,9	9,1
Canadá	70,7	71,8	72,7	73,3	74,4	0,0	8,5
Rússia	45,5	45,8	46,1	46,8	47,0	0,4	5,5
Índia	32,6	34,2	36,6	38,1	39,3	3,2	4,6
Noruega	26,1	26,4	27,5	27,8	28,2	1,5	3,3
Japão	22,0	22,1	22,2	21,8	21,9	0,1	2,6
França	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9	0,2	2,4
Suécia	16,3	16,3	16,2	16,6	16,4	-1,4	1,9
Outros	266,5	269,2	273,7	280,6	283,6	1,1	33,1

Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA). Para o Brasil, dados do Balanço Energético Nacional (BEN) 2011; Elaboração: EPE

Figura : Geração hidrelétrica no mundo (em GW).

Cenário internacional de energia elétrica

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

■ Hidreletricidade no mundo:

Tabela 3.3 - Participação da hidreletricidade na produção total de energia elétrica em 2006

	País	%
1ª	Noruega	98,5
2ª	Brasil	83,2
3ª	Venezuela	72,0
4ª	Canadá	58,0
5ª	Suécia	43,1
6ª	Rússia	17,6
7ª	Índia	15,3
8ª	China	15,2
9ª	Japão	8,7
10ª	Estados Unidos	7,4
	Outros países	14,3
	Mundo	16,4

Fonte: IEA, 2008.

Figura : Hidreletricidade no mundo.

Ementa

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Modelos

- 1. **Sistemas de Energia Elétrica (SEE): uma visão geral, histórico, dados do setor elétrico.**
- 2. **Estrutura física do SEE: equipamentos, componentes.**
- 3. Modelos equivalentes dos componentes do SEE para regime permanente: diagramas de impedância.
- 4. Valores por unidade (p.u.).
- 5. Matrizes de rede: Y_{barra} e Z_{barra} .
- 6. Fluxo de potência: problema geral, equacionamento, métodos de resolução.
- 7. Noções de despacho de geração (térmica).
- 8. Noções de estabilidade, planejamento e proteção de SEE.

Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

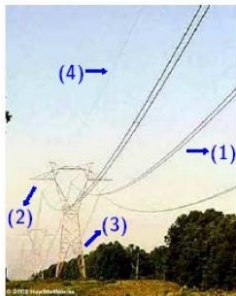
Sistema de
geração
Sistema de
transmissão
Sistema de
distribuição
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

Os componentes básicos de uma linha de transmissão aérea são: Condutores, Isoladores, Estrutura de Suporte, e Pára-raios.



Componentes:

- (1) Condutores
- (2) Isoladores
- (3) Estrutura (torres ou postes)
- (4) Cabo pára-raios

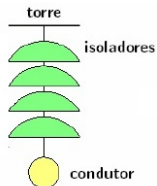


Figura : Linha de transmissão e seus componentes básicos.

Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Características necessárias para condutores de LTs:
 - ⇒ Alta condutibilidade elétrica.
 - ⇒ Baixo custo.
 - ⇒ Boa resistência mecânica.
 - ⇒ Baixo peso específico.
 - ⇒ Alta resistência à oxidação e corrosão.

Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

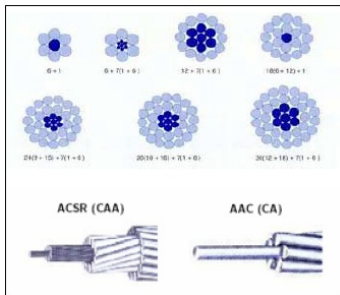
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- Ligas metálicas e condutores compostos: ACSR (Alumínio Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço).



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

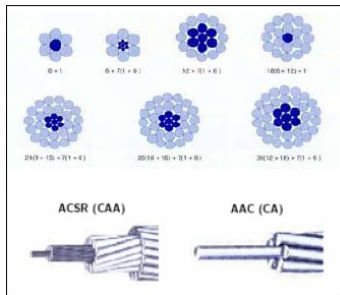
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- **Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- Ligas metálicas e condutores compostos: ACSR (Alumínio Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço).



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

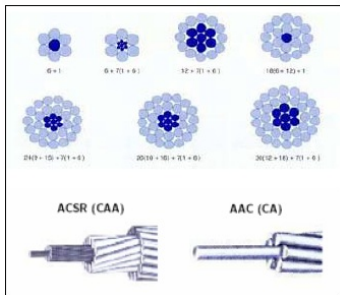
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- **Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- **Ligas metálicas e condutores compostos:** ACSR (Aluminium Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço).



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

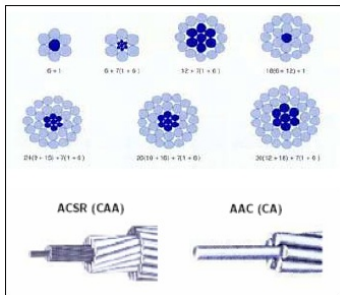
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- Ligas metálicas e condutores compostos:** ACSR (Aluminium Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço).



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

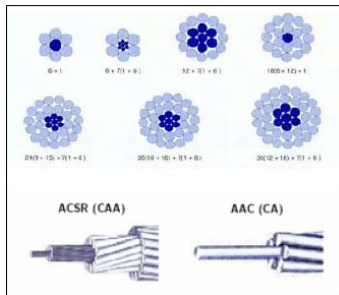
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- **Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- **Ligas metálicas e condutores compostos:** ACSR (Aluminium Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço).



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

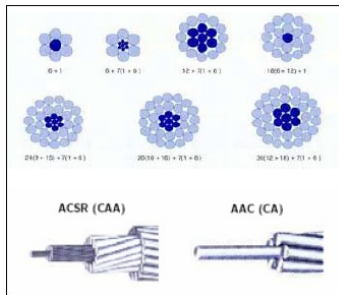
Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Os materiais condutores mais empregados para as LTs são o cobre e o alumínio.
- **Cobre:** Baixa resistividade, baixa oxidação, fácil deformação a frio e a quente, alta resistência à corrosão, permite fácil soldagem.
- **Ligas metálicas e condutores compostos:** ACSR (Aluminium Core Steel Reinforced) ou CAA (Cabos de Alumínio-Aço) ou AAC (Alumínio-Aço) ou CA.



Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Um aumento no diâmetro externo nos condutores compostos de aço-alumínio, comparado ao do condutor de cobre de mesma condutividade, é uma vantagem em linhas de transmissão uma vez que se tem reduzida a possibilidade de descarga corona.
- No Brasil utilizam-se quase que exclusivamente condutores de alumínio com alma de aço.
- O espaçamento entre condutores de uma linha de transmissão aérea depende da tensão da linha e de seu comprimento.

Tensão linha-linha kV	Espaçamento equivalente m
11	1
33	1,3
66	2,6
110	5
132	6
166	8
230	10,2

Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Um aumento no diâmetro externo nos condutores compostos de aço-alumínio, comparado ao do condutor de cobre de mesma condutividade, é uma vantagem em linhas de transmissão uma vez que se tem reduzida a possibilidade de descarga corona.
- No Brasil utilizam-se quase que exclusivamente condutores de alumínio com alma de aço.
- O espaçamento entre condutores de uma linha de transmissão aérea depende da tensão da linha e de seu comprimento.

Tensão linha-linha kV	Espaçamento equivalente m
11	1
33	1,3
66	2,6
110	5
132	6
166	8
230	10,2

Modelos equivalentes: Linhas de transmissão

TE061 -
Introdução aos
Sistemas de
Energia Elétrica

Roman Kujawa,
Prof. Dr.

Características
básica dos SEEs

Balanco
instantâneo de
carga e geração
Perfil de carga

Dados do SEB

Sistema
Integrado
Nacional (SIN)
- 2005

Sistema de
geração

Sistema de
transmissão

Sistema de
distribuição

Sistema do
Paraná

A Usina de
Itaipu

Cenário
internacional

Andamento da
disciplina

- Um aumento no diâmetro externo nos condutores compostos de aço-alumínio, comparado ao do condutor de cobre de mesma condutividade, é uma vantagem em linhas de transmissão uma vez que se tem reduzida a possibilidade de descarga corona.
- No Brasil utilizam-se quase que exclusivamente condutores de alumínio com alma de aço.
- O espaçamento entre condutores de uma linha de transmissão aérea depende da tensão da linha e de seu comprimento.

Tensão linha-linha kV	Espaçamento equivalente m
11	1
33	1,3
66	2,6
110	5
132	6
166	8
230	10,2