

VISÃO GERAL do Planejamento Energético de Longo Prazo

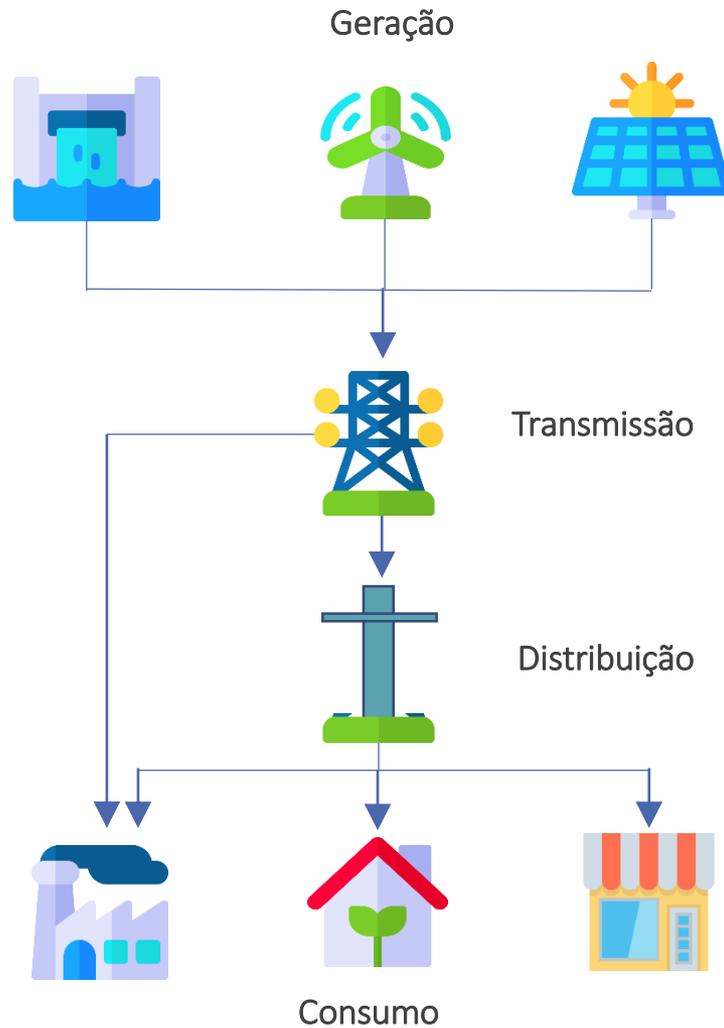
Curso básico sobre planejamento do setor elétrico brasileiro e o contexto da UHE Bem Querer

Rio de Janeiro, 01 de Setembro de 2018

Introdução



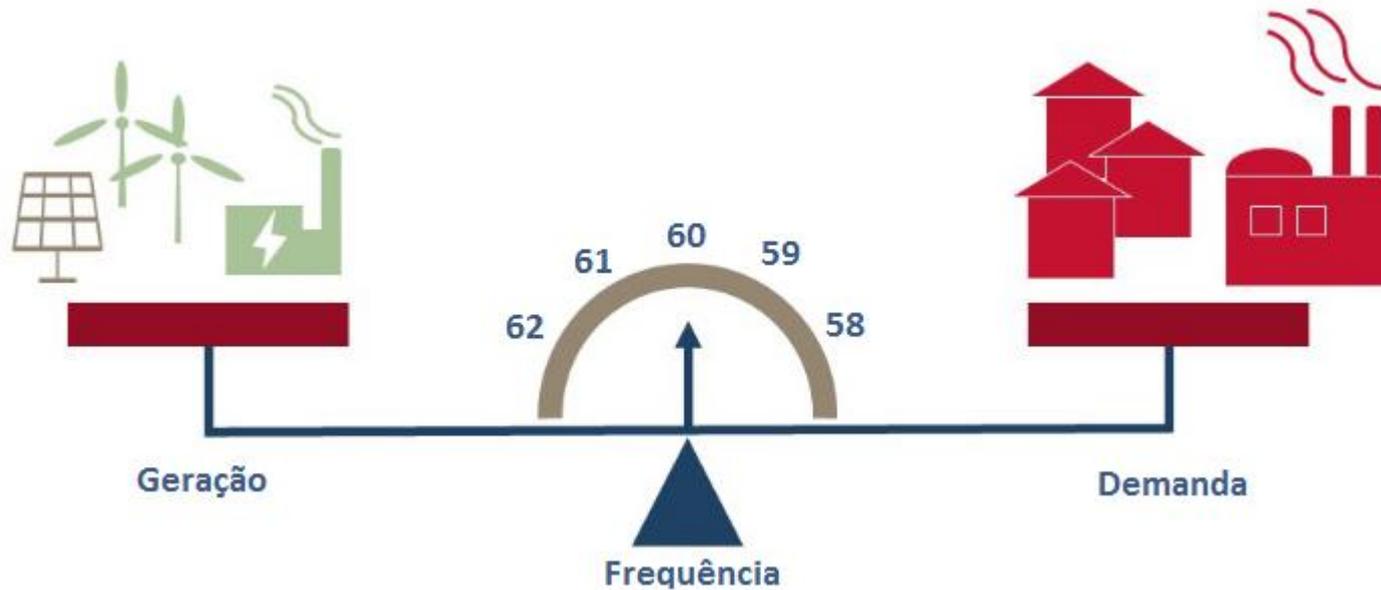
O caminho da eletricidade



Icons made by Freepik from www.flaticon.com

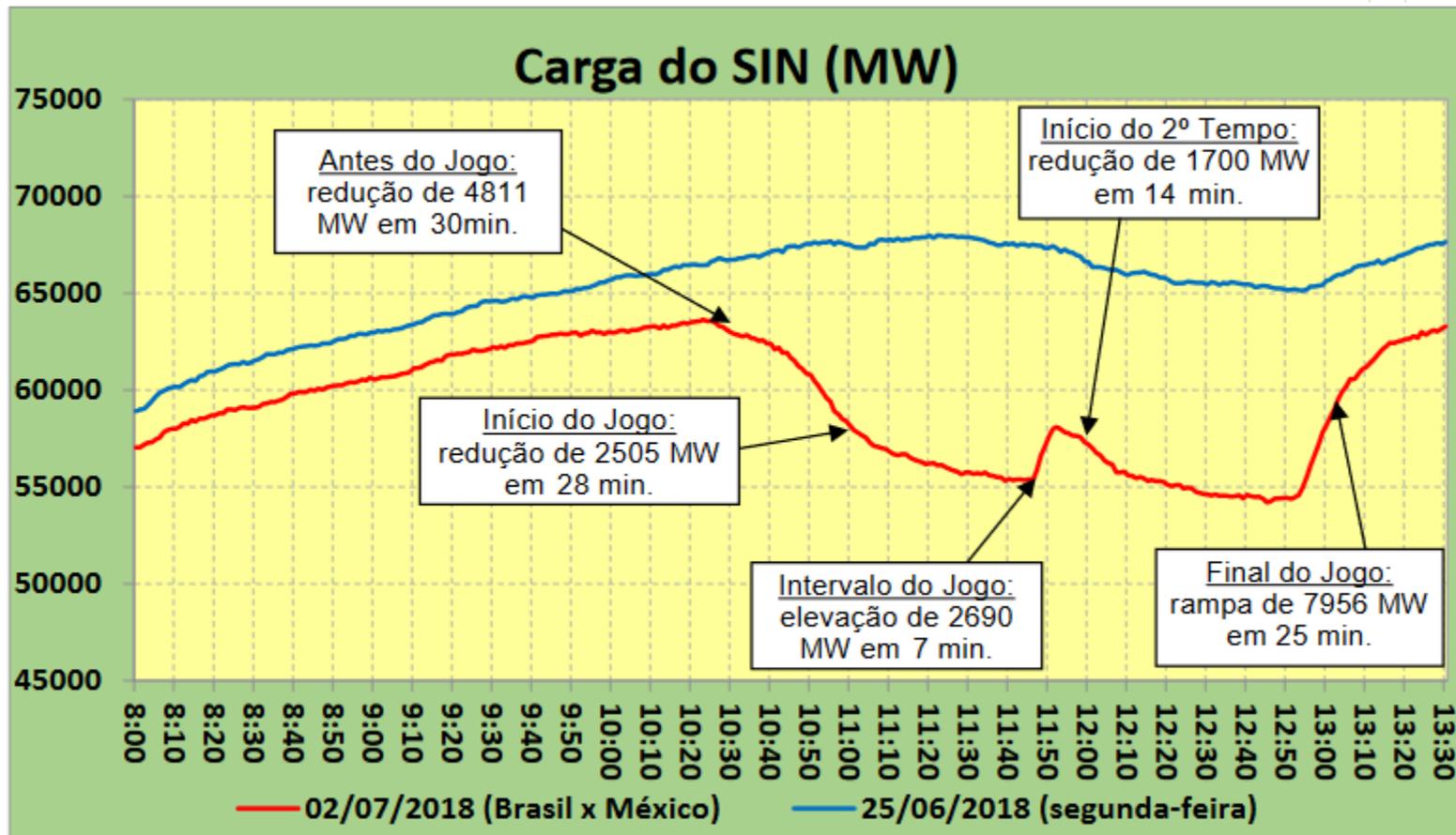
Conceitos Fundamentais

“O sistema precisa estar em equilíbrio em todo momento”



Mudanças na carga exigem adaptações na operação das usinas

Conceitos Fundamentais



Mudanças na carga exigem adaptações na operação das usinas

Fonte: ONS

Conceitos Fundamentais

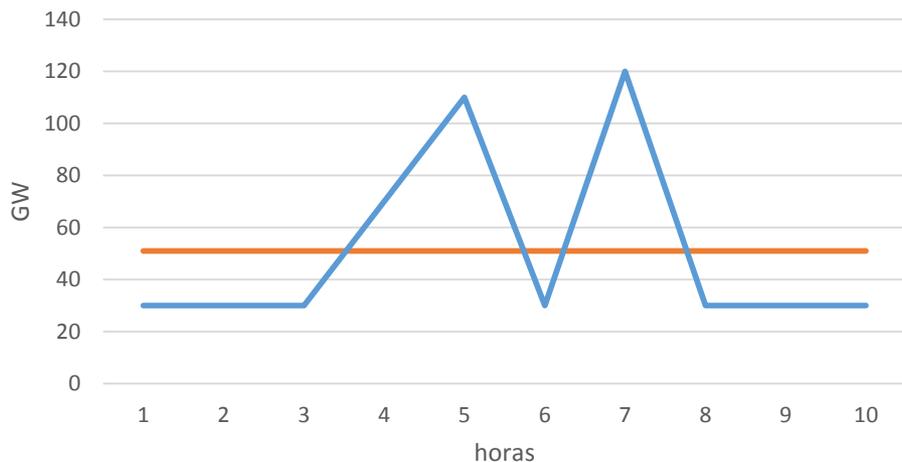
“Precisamos mais que energia”

Adequação do
Suprimento

Energia

Capacidade de
atendimento à ponta

Flexibilidade

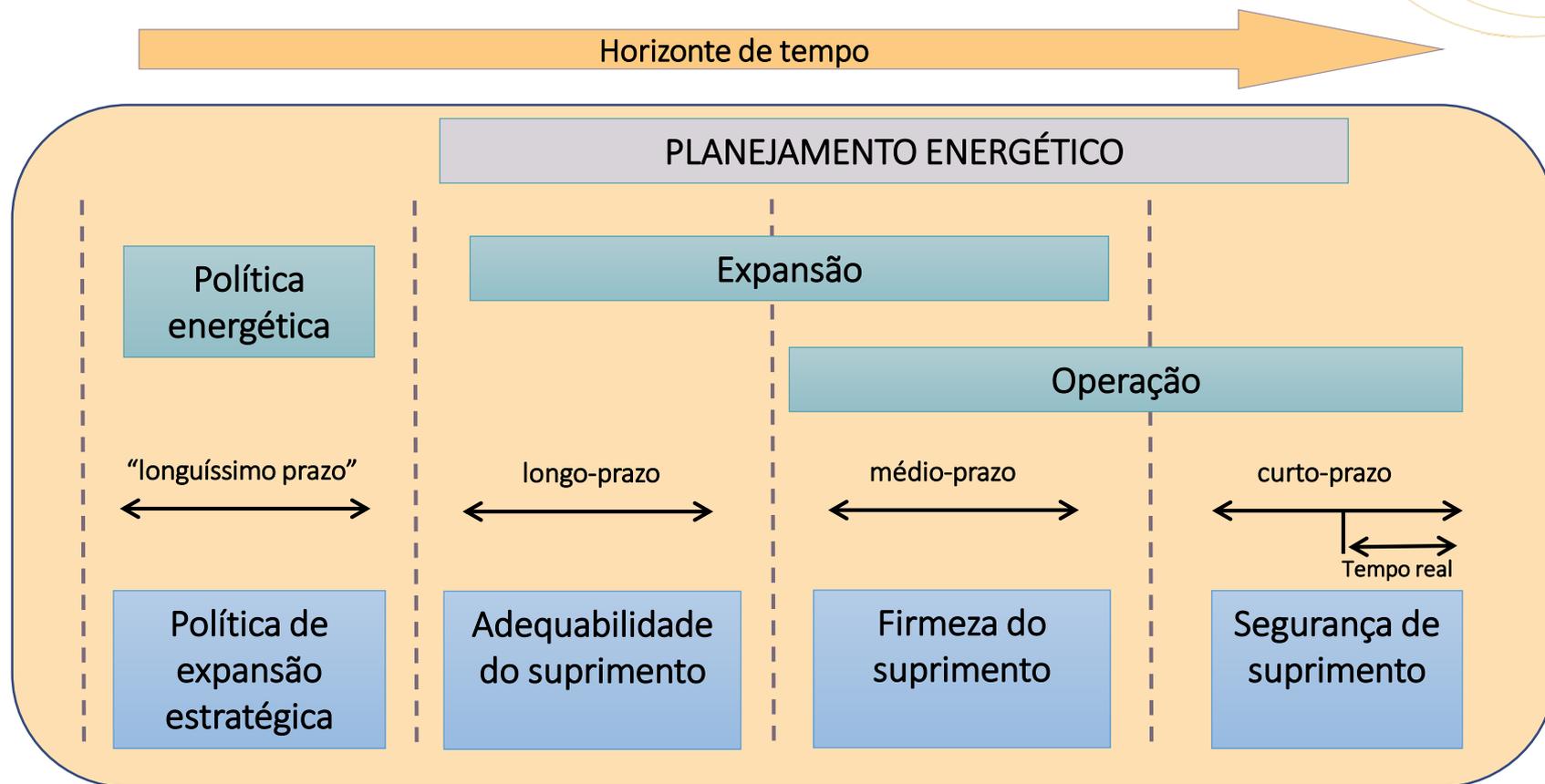


Duas curvas resultam no mesmo consumo (500 GWh), mas necessidades de potência e rampa são bem diferentes.

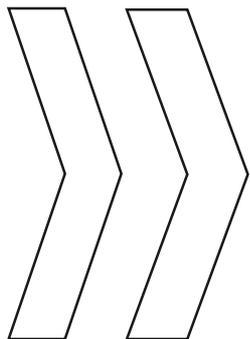
— Curva 1 — Curva 2

Conceitos Fundamentais

“o planejamento é uma cadeia de ações integradas”



Diretrizes para a Expansão da Matriz Elétrica



O desafio para a Matriz Elétrica Brasileira é **atender à demanda de energia de forma segura**, com o **menor custo possível** e considerando políticas e compromissos de **proteção ambiental e social**

Buscar o menor custo possível da expansão



Manter a confiabilidade do sistema

Aproveitar os recursos nacionais

Manter emissões de GEE no menor patamar possível

Minimizar interferências em áreas protegidas

O dilema do planejamento da expansão

“investir ou esperar?”



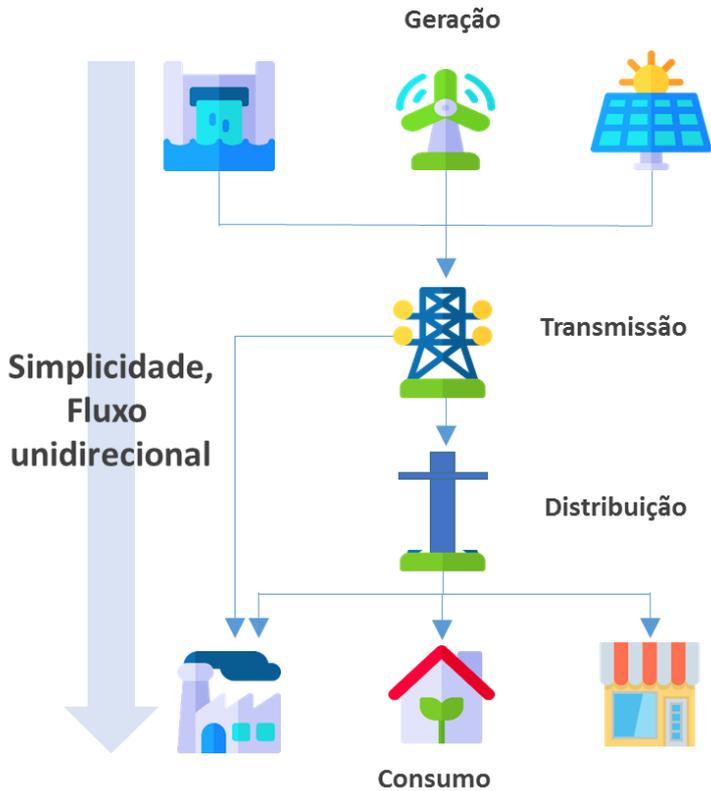
A estrutura presente e futura do setor elétrico



Presente



Futuro



Complexidade, Fluxo bidirecional



Icon made by Freepik from www.flaticon.com

Maior número de agentes; Decisão nem sempre com base em aspectos econômicos -> mais incerteza para o planejamento

O Processo do Planejamento da Expansão

1. Estudos econômicos
2. Modelo para projeção de demanda
3. Inventário dos recursos primários
4. Análise tecnológica e ambiental
5. Escolha dos projetos candidatos para a modelagem
6. Estabelecimento de premissas para construção de cenários
7. Planejamento energético integrado e produção de um plano, que atenda a algum critério econômico/físico
8. Ao repetir o processo anterior para distintas hipóteses, podemos comparar planos candidatos oriundo do planejamento
9. Escolhemos um plano para ser o “nosso” (ufa!)
10. Implementação de mecanismos de política e regulação para implementação

ESTUDOS e PNE 2050 - Processo de elaboração

Evolução da economia mundial e brasileira

Evolução da demanda de energia

Potencial dos recursos energéticos

Evolução da oferta de energia elétrica

Evolução da oferta de combustíveis

Apresentar cenários de evolução da economia brasileira até 2050, com o seu desdobramento setorial e regional, considerando o contexto internacional.

Cenários de demanda de energia até 2050, considerando as hipóteses demográficas, econômicas, tecnológica, padrões de consumo de bens e energia, com seu consequente impacto no uso eficiente de energia.

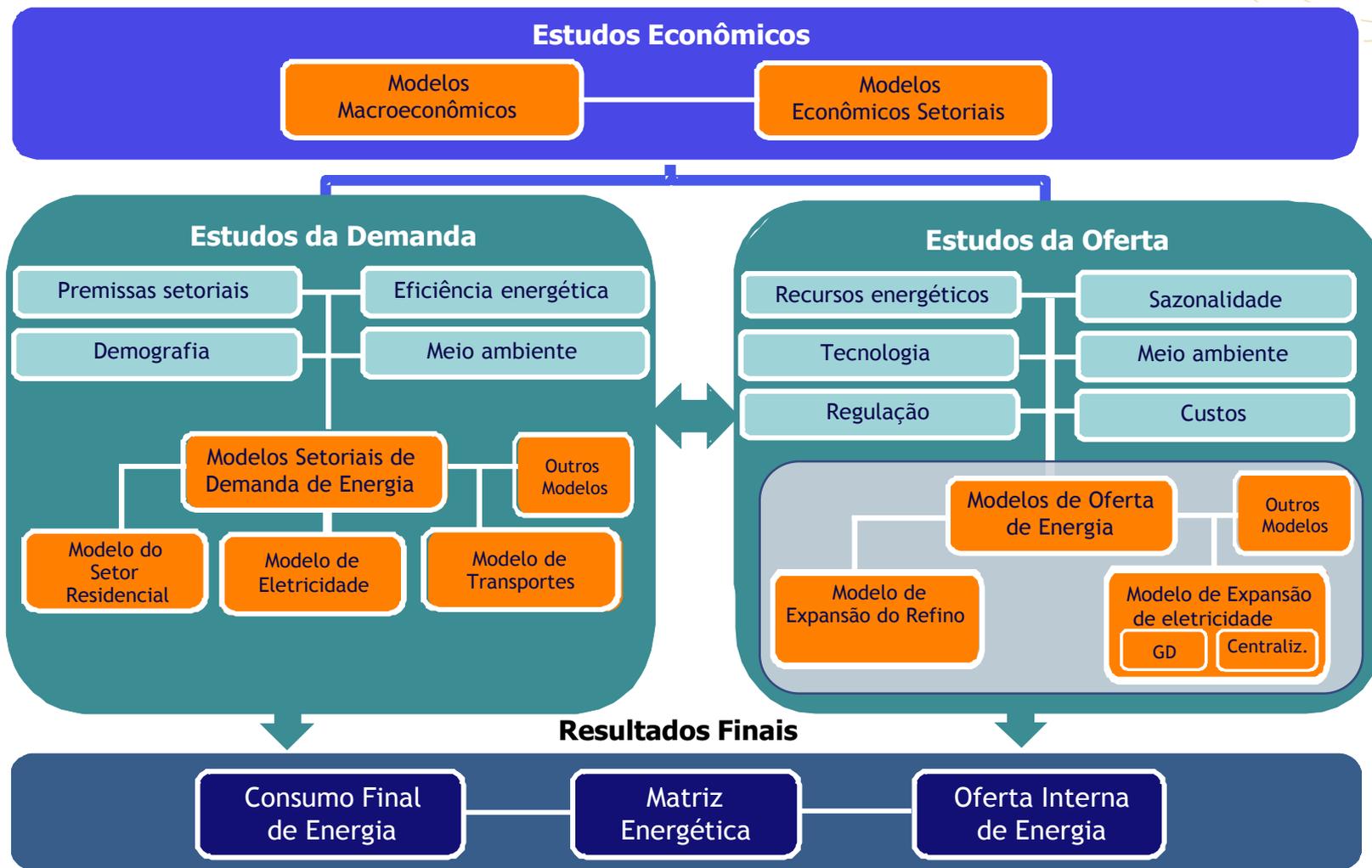
Analisar sob os pontos de vista técnico-econômico e socioambiental a disponibilidade de fontes energéticas no país até 2050. Este estudo define as fronteiras máximas de produção nacional de cada fonte até 2050.

Simular cenários de evolução da oferta de energia elétrica até 2050, considerando a competitividade relativa das fontes e seus condicionantes técnico-econômicos e socioambientais.

Simular cenários de evolução da oferta de combustíveis até 2050, considerando a competitividade relativa das fontes e seus condicionantes técnico-econômicos e socioambientais.

Notas Técnicas do PNE 2050

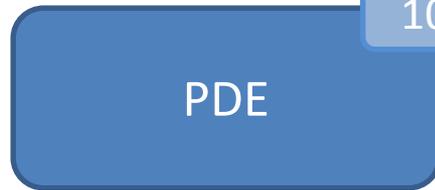
Visão Integrada dos Estudos de Planejamento Energético



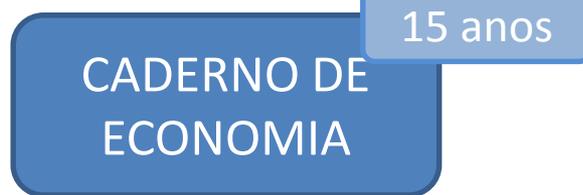
Estudos de Economia

Principais produtos - Cenários

Planos da EPE

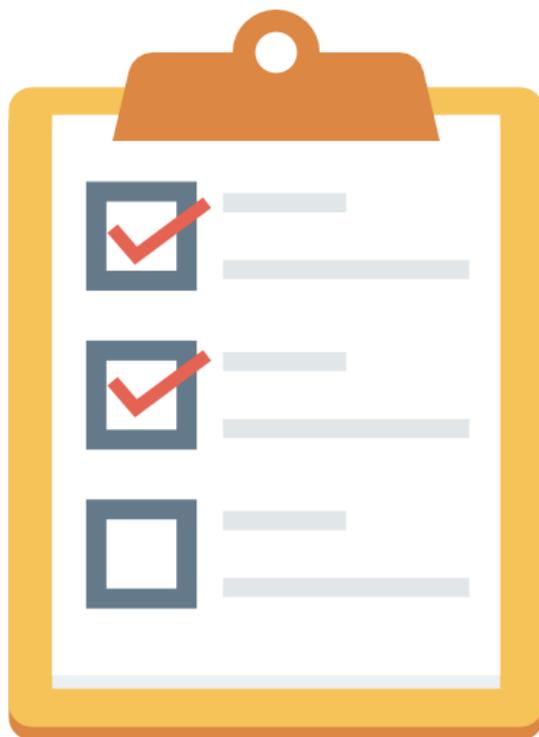


Produtos da equipe de economia



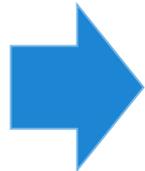
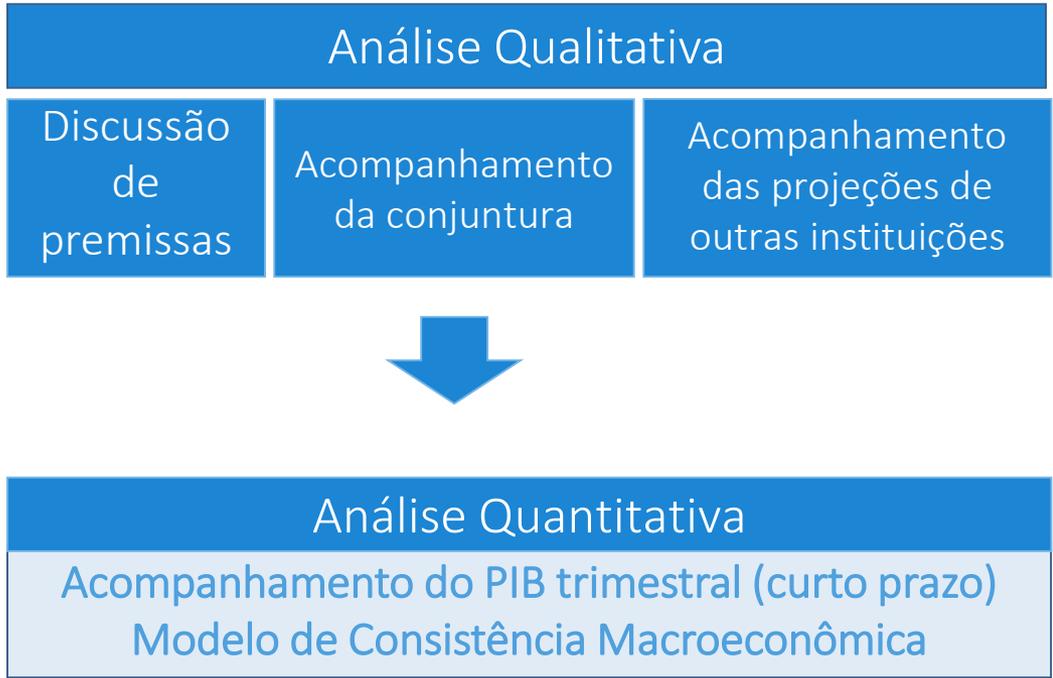
Produtos em parceria com ONS/CCEE



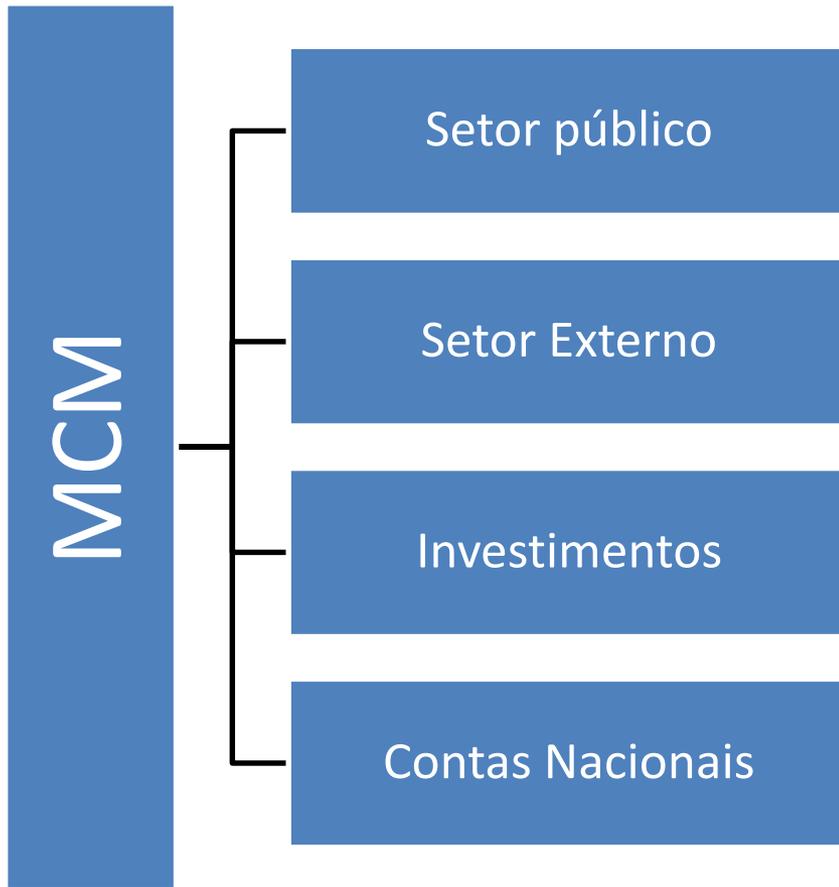


Metodologia e conceitos principais

Metodologia de projeção macroeconômica



Modelo de consistência macroeconômica

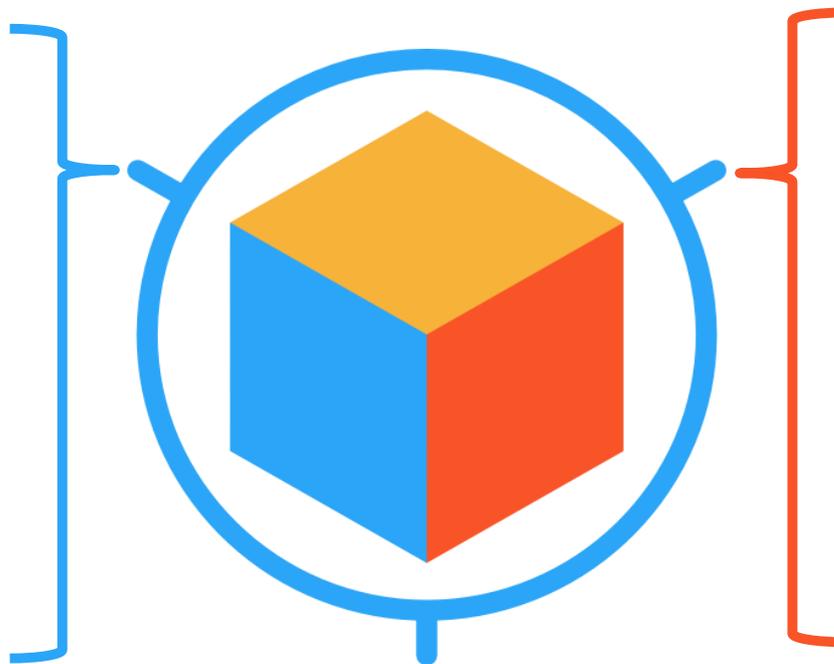


- ✓ O modelo é dividido em 4 blocos: Setor Público, Setor Externo, Investimentos e Contas Nacionais.
- ✓ O bloco de Contas Nacionais consolida as informações dos demais a partir das identidades contábeis.
- ✓ A ideia central do MCM é a de que o movimento das variáveis endógenas, como função da evolução das variáveis exógenas, atenda a restrição de que, em um dado período, o dispêndio nacional seja totalmente financiado doméstica ou externamente.

Modelo de consistência macroeconômica

Principais variáveis de entrada

- ✓ PIB
- ✓ População
- ✓ IPCA
- ✓ Selic
- ✓ PTF
- ✓ Impostos
- ✓ PIB mundial
- ✓ Preço de petróleo



Principais resultados

- ✓ Investimentos
- ✓ Superávit primário
- ✓ Déficit nominal
- ✓ DLSP/PIB
- ✓ Saldo da Balança comercial
- ✓ Saldo de Transações Correntes

Modelo de consistência macroeconômica

O que é o PIB?



Ótica da oferta

Ótica da demanda



Agropecuária



Indústria



Serviços

PIB

=

Soma, em valores monetários, de todos os bens e serviços finais produzidos no país.



Consumo das famílias



Gasto público

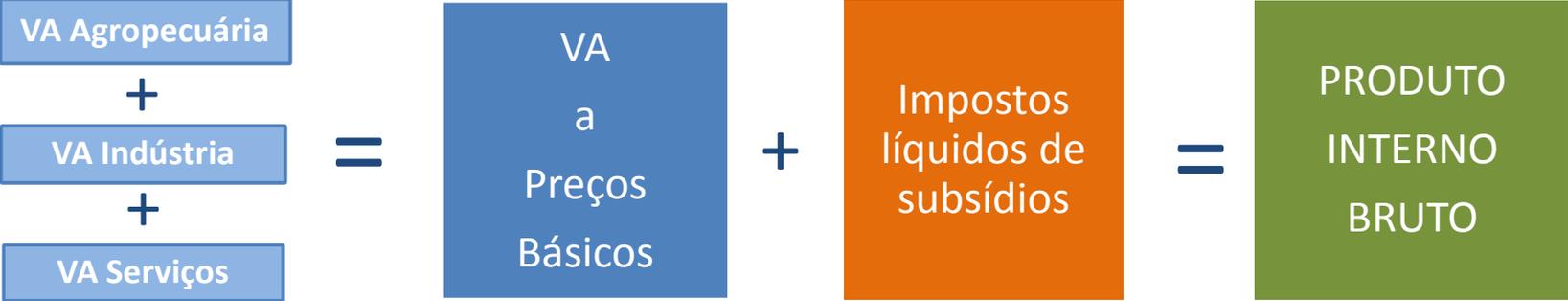


Investimento



Exportações líquidas

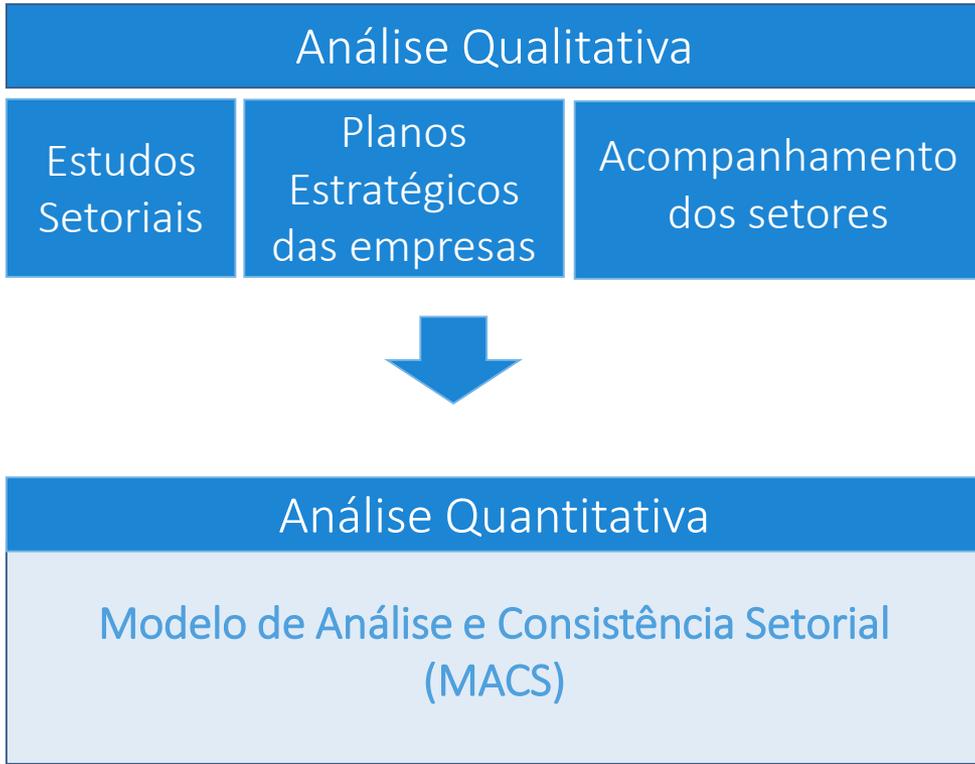
O que é o Valor Adicionado (VA)?



- ✓ Representa a contribuição de cada atividade econômica ao PIB
- ✓ Evita dupla contagem

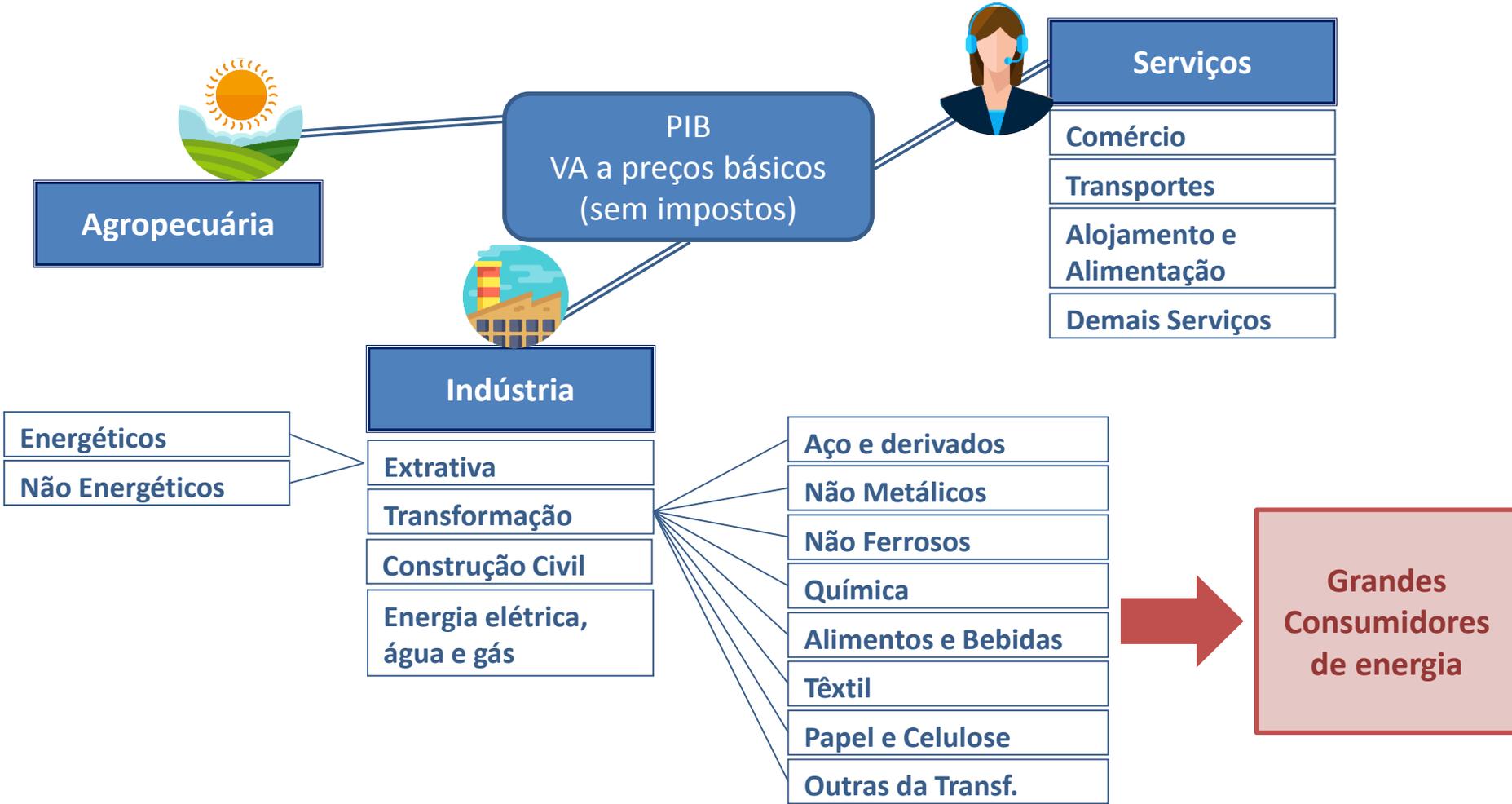


Metodologia de projeção setorial



Modelo de análise e consistência setorial

- ✓ O modelo permite dividir o **PIB**, através da ótica da oferta, distinguindo os **setores de interesse energético**. Dessa forma, se garante **consistência** com as projeções macros e entre as próprias projeções setoriais.
- ✓ Os **valores adicionados** de cada setor são calculados a partir do PIB de 2010, excluindo impostos e mantendo **preços fixos de 2010** em cada ano.



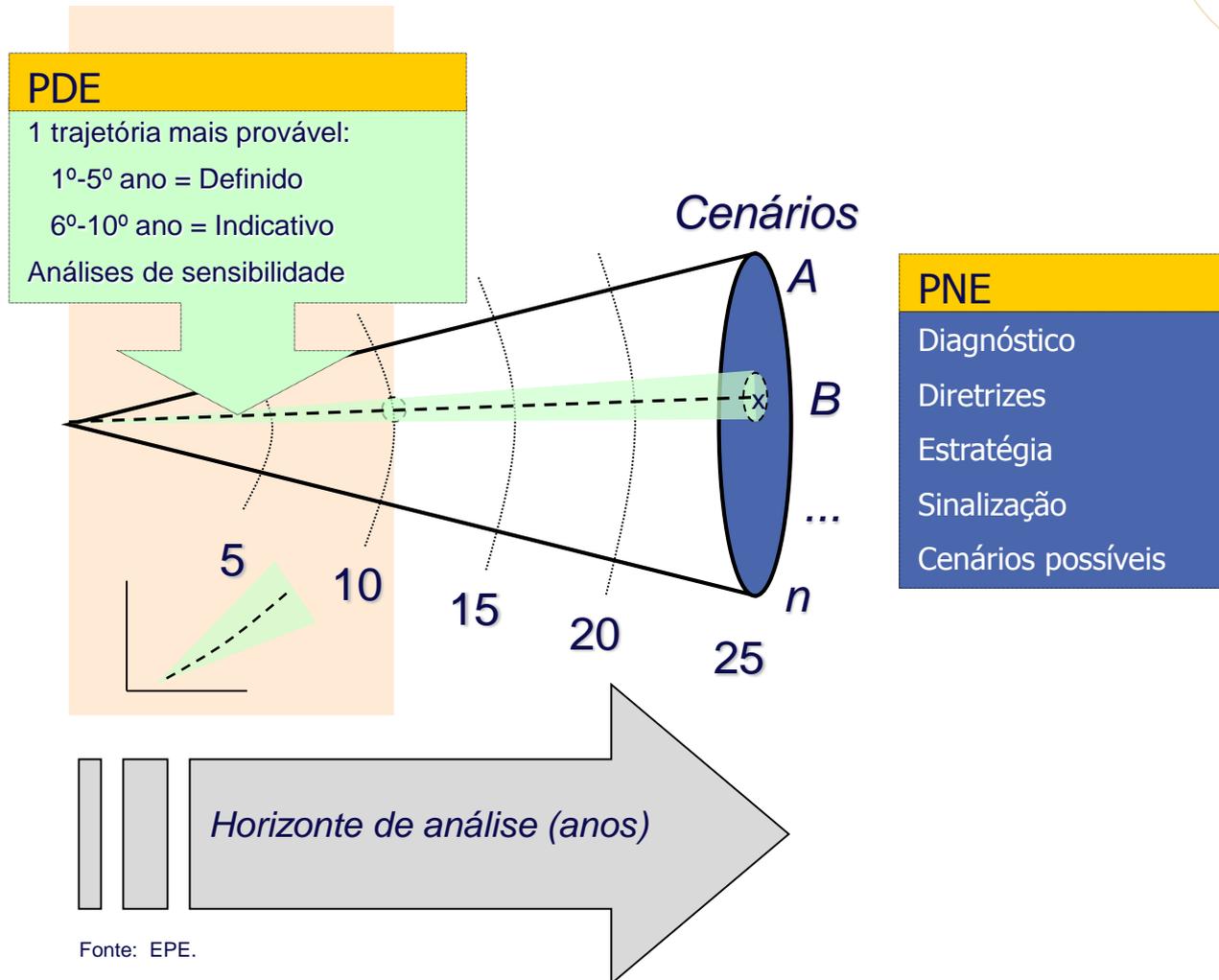
Estudos de Demanda e Eficiência Energética

DEMANDA DE ELETRICIDADE

Planejamento Energético: Análise de Cenários

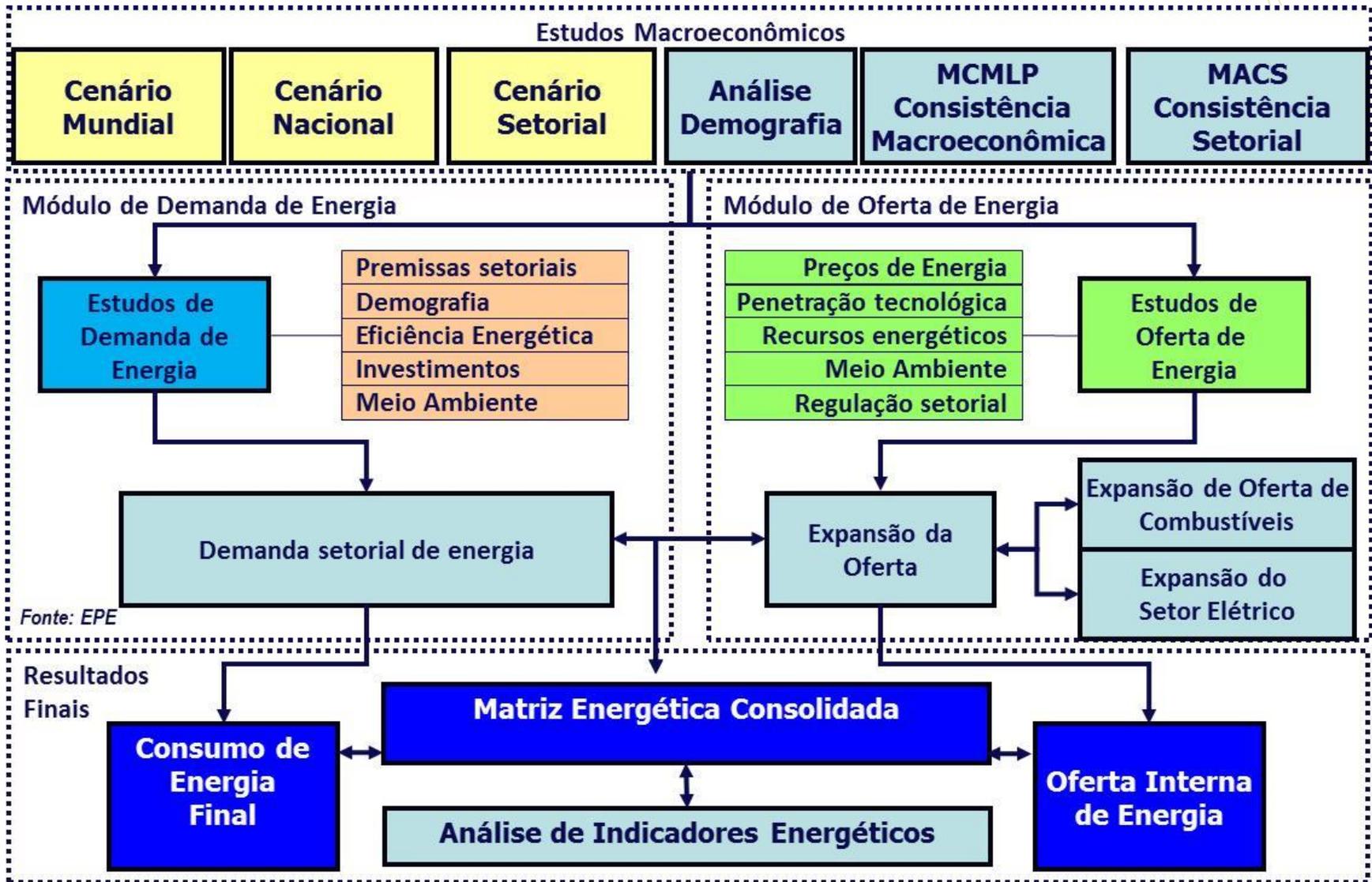
CENÁRIOS ECONÔMICO-ENERGÉTICOS

➤ Relação entre médio e longo prazos

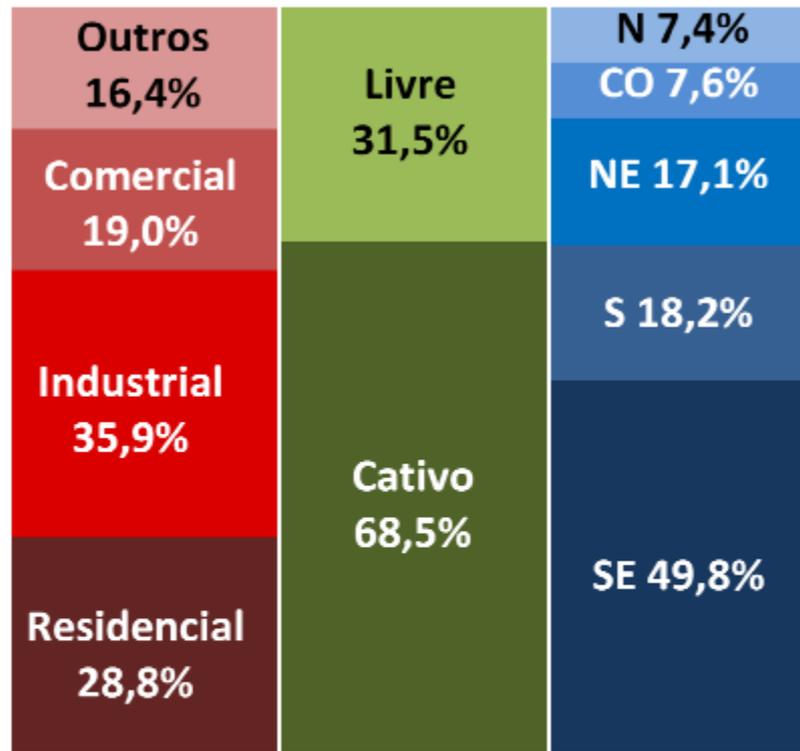


Aspectos Metodológicos

VISÃO GERAL DA METODOLOGIA – OFERTA X DEMANDA



Consumo na rede: Estrutura do consumo na rede por classe, modalidade de contratação e subsistema elétrico em 2017



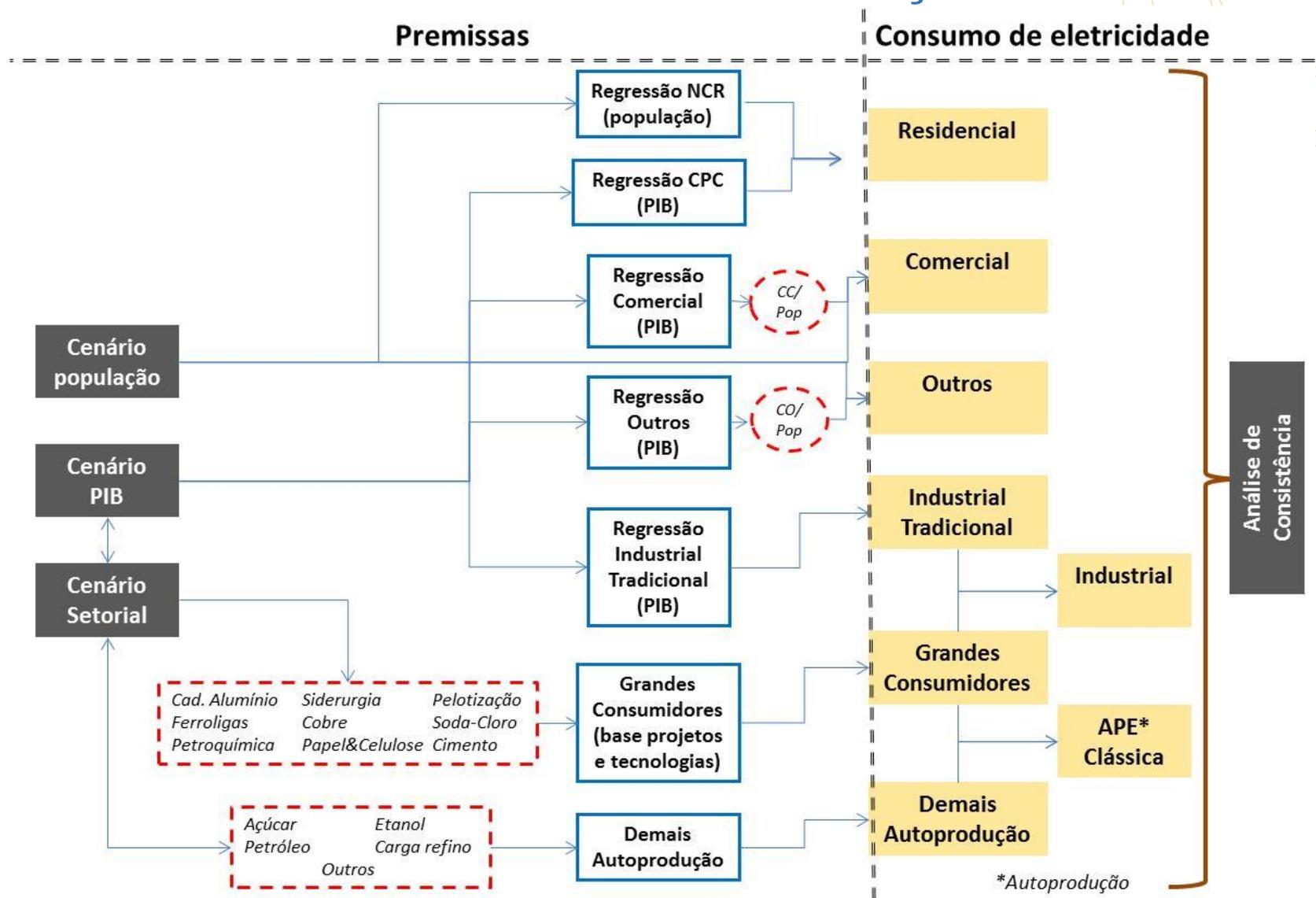
Notas: Consumo na rede não inclui autoprodução clássica.

Fonte: EPE - Consumo de Energia Elétrica.

Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf#search=caderno%20eletricidade>

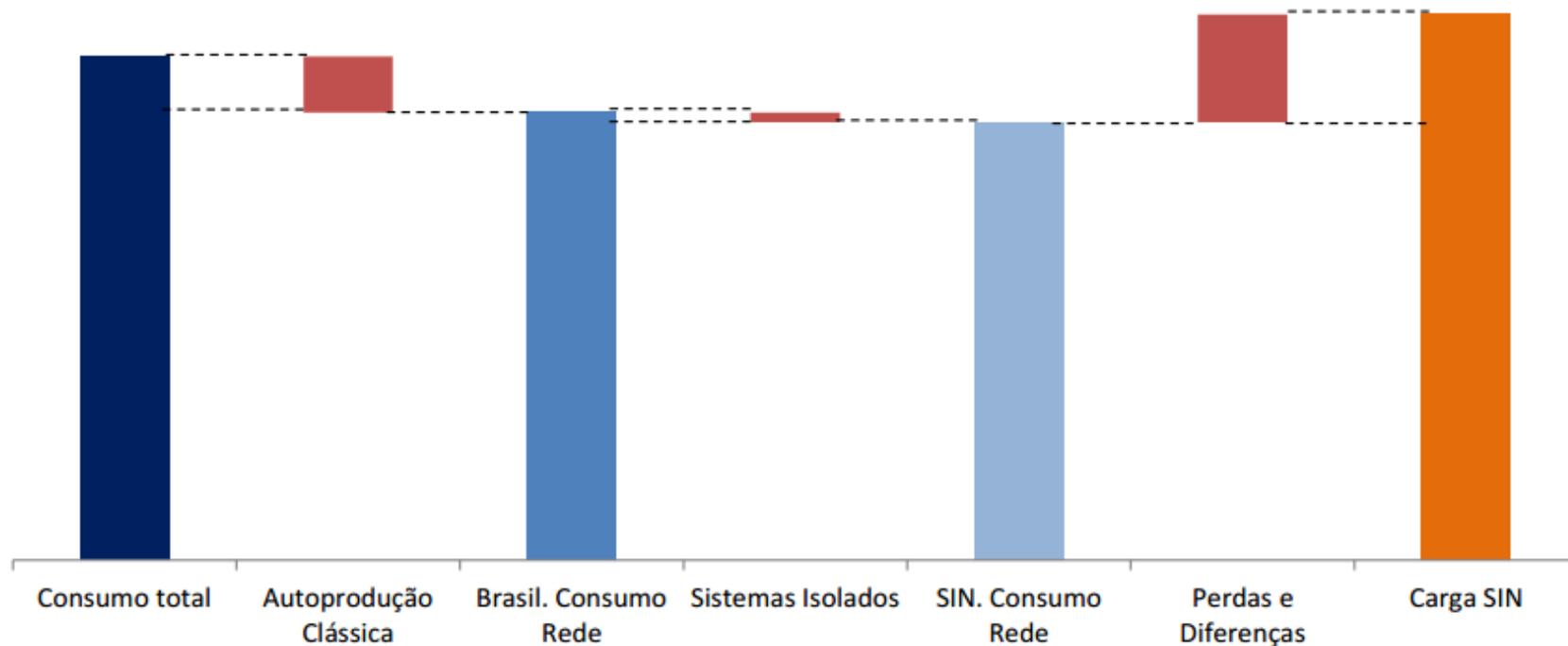
Demanda de Eletricidade

VISÃO GERAL DA METODOLOGIA DE PROJEÇÃO



CONSUMO X CARGA

Decomposição do consumo de eletricidade e da carga de energia elétrica

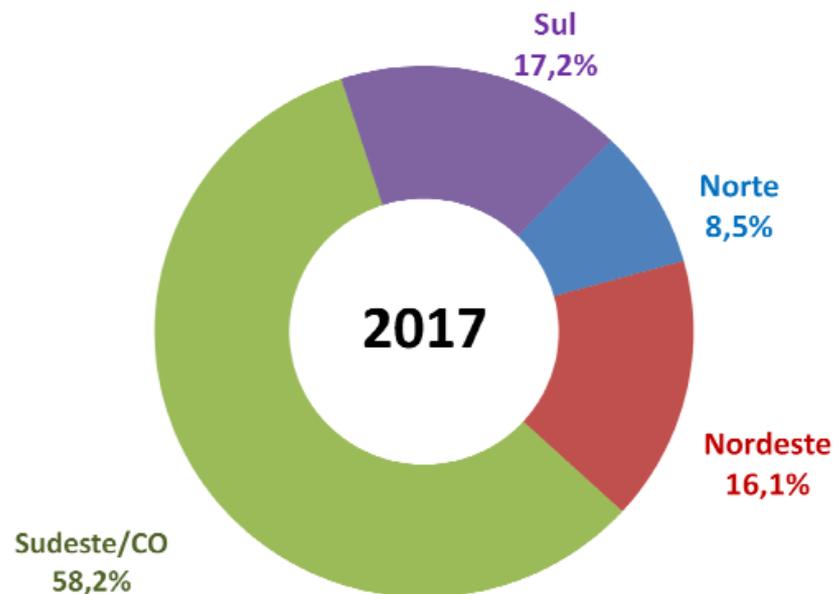


Carga de energia

Estrutura básica

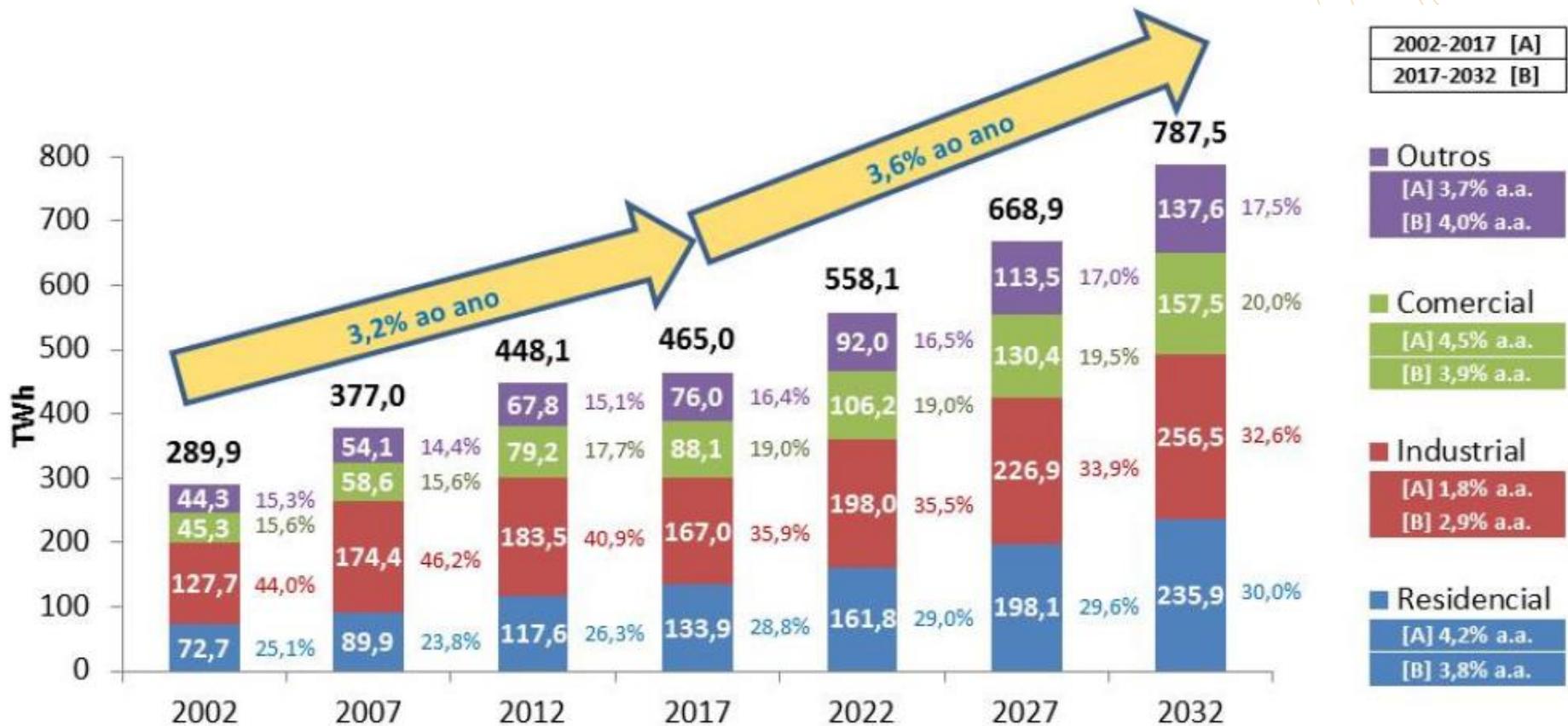


SIN. Participação por subsistema elétrico



Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf#search=caderno%20eletricidade>

Consumo na rede: Brasil. Projeção do consumo para os próximos 15 anos no cenário de referência



Fonte: EPE

Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf#search=caderno%20eletricidade>

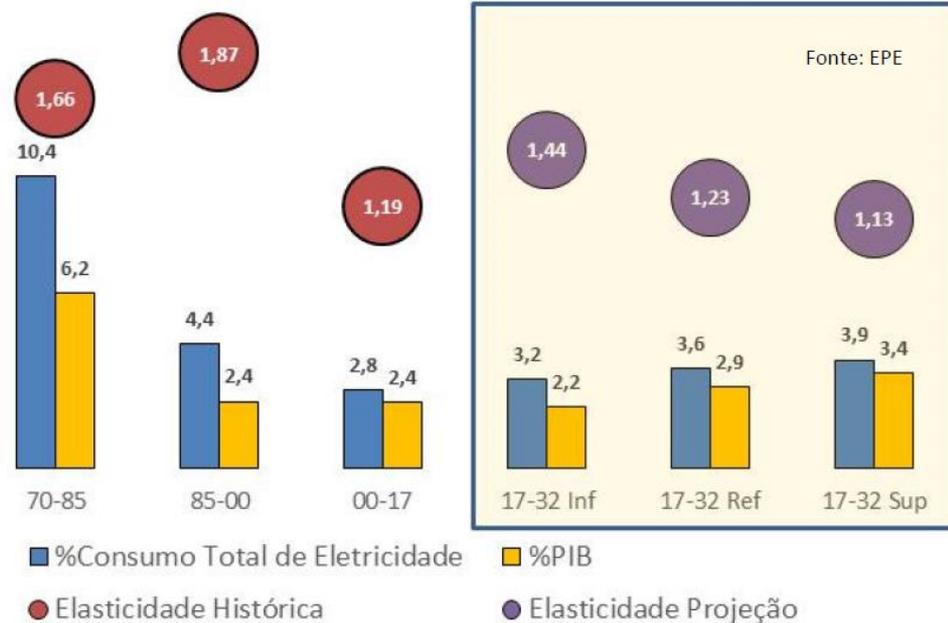
Consumo total de eletricidade

Projeção do consumo total de eletricidade no Brasil



Fonte: EPE.

Elasticidade-renda do consumo de eletricidade: histórico x projeção



Fonte: EPE

Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-295/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Eletricidade.pdf#search=caderno%20eletricidade>

EFICIÊNCIA ELÉTRICA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – CONCEITOS BÁSICOS

SERVIÇO ENERGÉTICO – Trabalho efetivamente demandado (Iluminação, mobilidade, calor, condicionamento ambiental, etc)

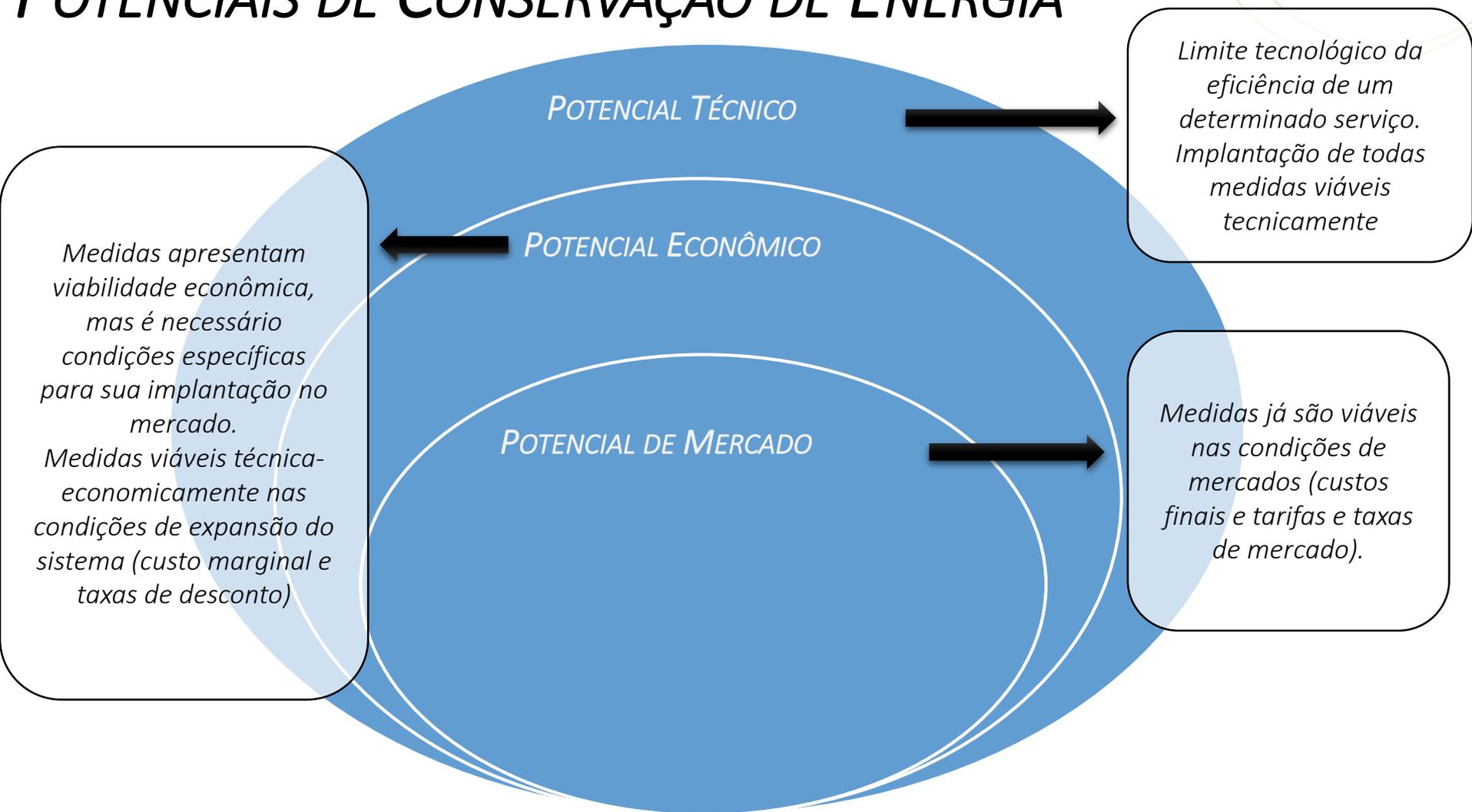
ENERGIA ÚTIL – Energia realmente demanda para realização do serviço energético que realiza o serviço energético

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – Relação entre a energia consumida e a energia utilizada para o trabalho

ENERGIA CONSERVADA – Energia evitada por aumento da eficiência energética

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA – Ação que visa evitar o consumo de energia

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA



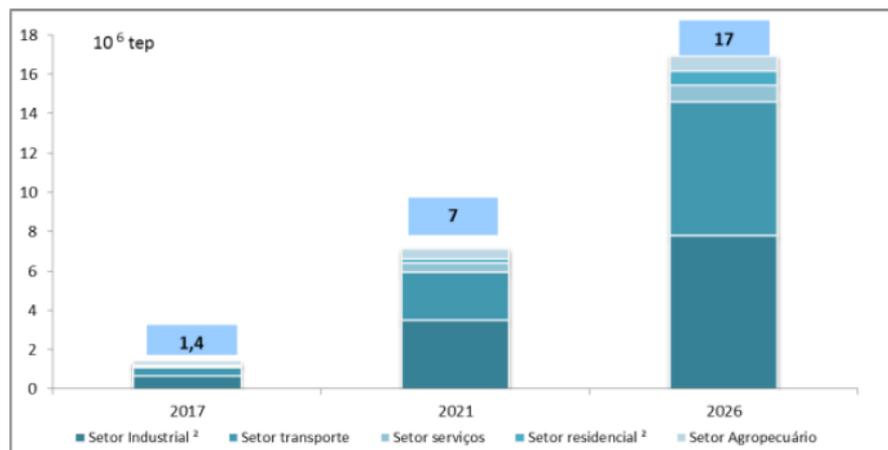
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – MOTIVADORES E BARREIRAS

▶ Motivadores para aumento da Eficiência Energética

- **EE como “fonte alternativa de suprimento das necessidades de energia”:** cada kWh economizado permite evitar a construção de capacidade adicional de produção de energia. Reduzindo a vulnerabilidade à importação de energéticos e às oscilações de seus preços.
- **Minimização de Impactos Ambientais:** ao evitar a implantação de novos empreendimentos de energia, evita-se os impactos ambientais dela proveniente (queima de combustíveis fósseis, poluição visual, sonora, dos solos e da água, entre outros). A única “fonte” de energia que não gera, de modo geral, impactos ambientais negativos é a eficiência energética.
- **Competitividade e desenvolvimento:** o aumento da EE, em geral, vem acompanhado de desenvolvimento tecnológico, otimização de processos e redução de custos.

PDE 2026 – Eficiência Energética (base 2016)

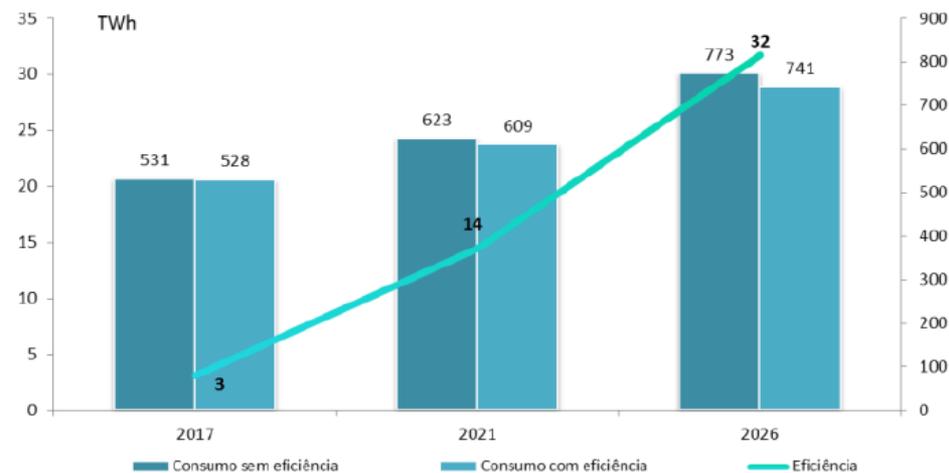
Energia conservada total por classe



Notas: (1) Corresponde ao consumo total de eletricidade em todos os setores somado ao consumo de combustíveis nos setores industrial, energético, agropecuário, comercial, público e de transportes. Não inclui, portanto, o consumo de combustíveis no setor residencial.
(2) Inclui setor energético.
(3) Compreende consumo de energia nos domicílios urbanos e rurais.

Obs.: Equivale a 7% do consumo final energético do Brasil em 2015.

Consumo de eletricidade e energia conservada



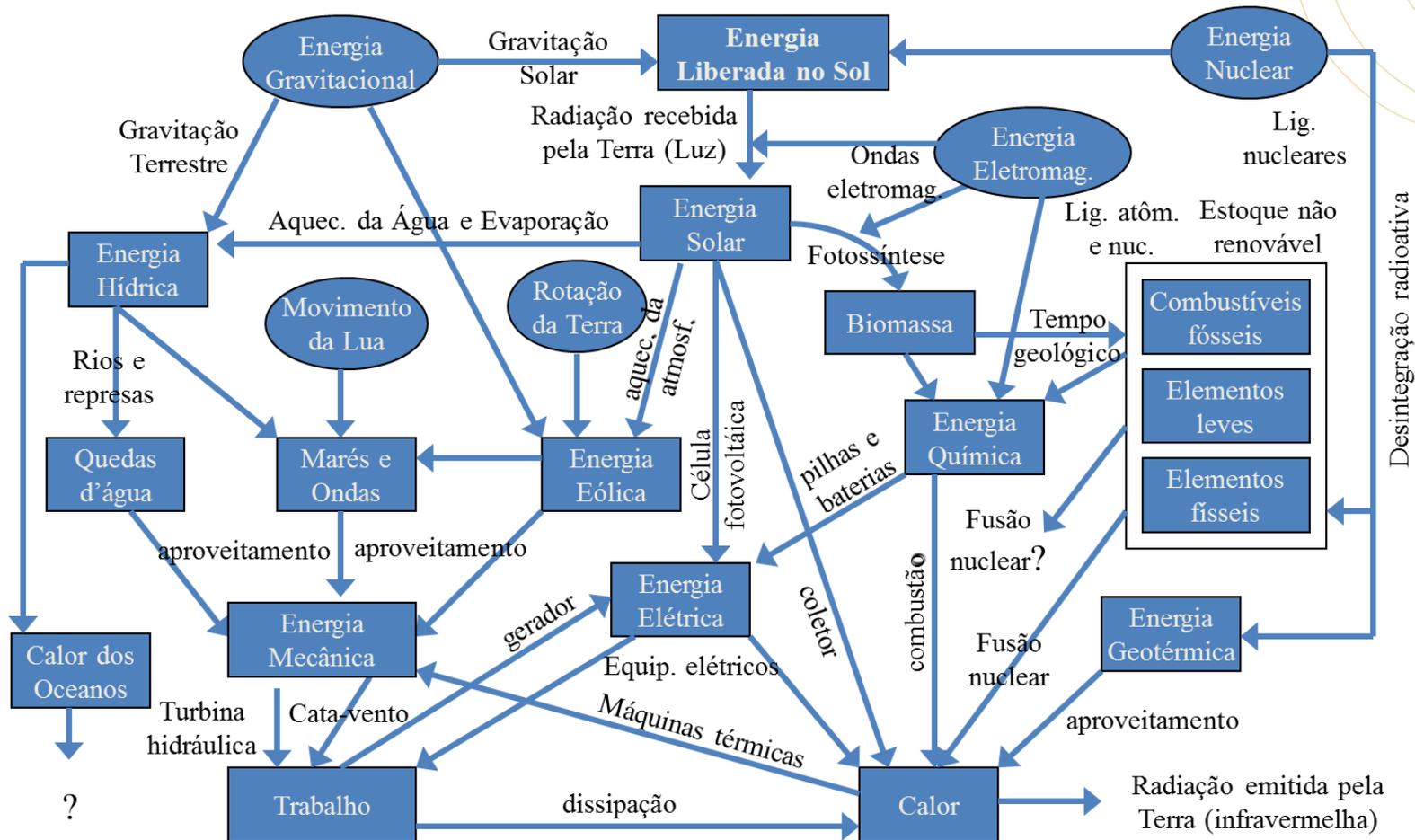
Notas: (1) Inclui autoprodução.
(2) Inclui setor energético.
(3) Compreende domicílios urbanos e rurais.

Obs.: Em 2026, corresponde a uma usina hidrelétrica com potência instalada de 7 GW, equivalente à parte brasileira de Itaipu.

Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-75/Cap9_Texto.pdf

Recursos Energéticos

Origem e Transformações Energéticas

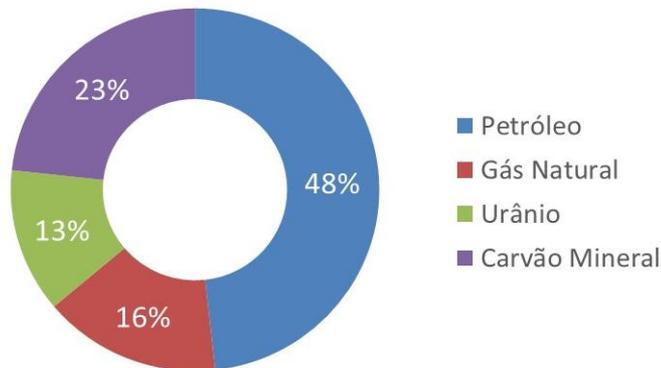


Fonte: Adaptado de LA ROVERE et al., 1985.

Disponibilidade para a expansão 2015-2050

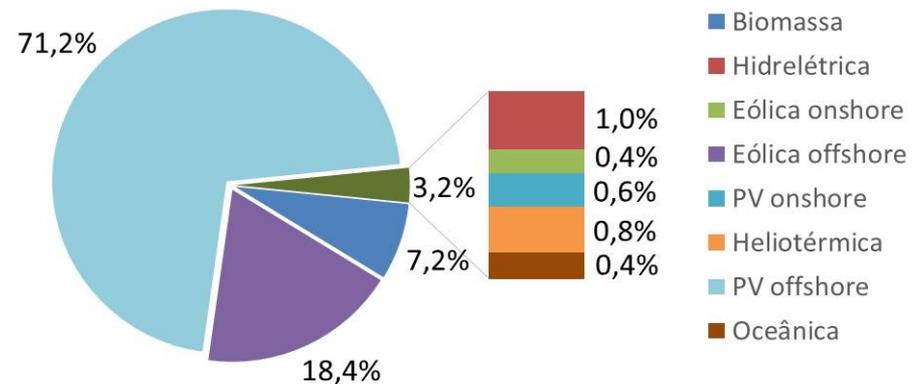
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS

18.750 Mtep



RECURSOS RENOVÁVEIS

7.371 Mtep



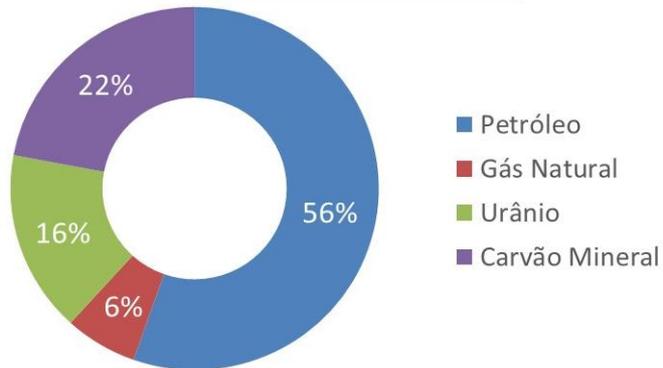
Demanda em 2015: 300 Mtep (45% Renováveis → mantidas)

Previsão para 2050: 600 Mtep → +300 Mtep

Disponibilidade para a expansão 2015-2050

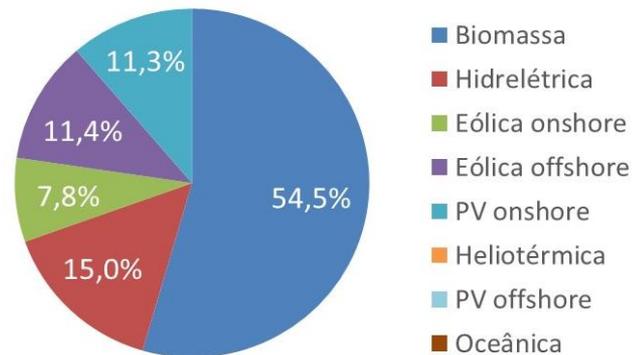
Não Renováveis "Fáceis"

11.705 Mtep



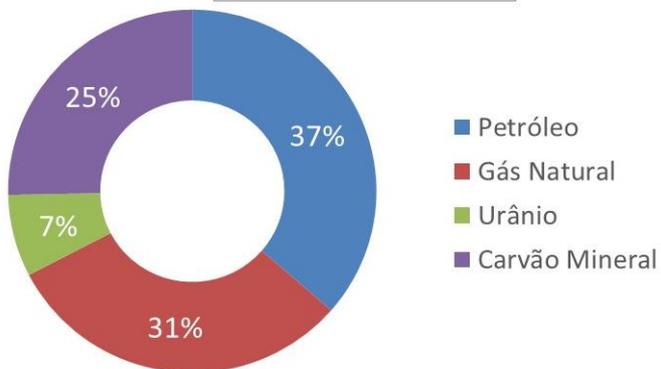
Renováveis "Fáceis"

381 Mtep



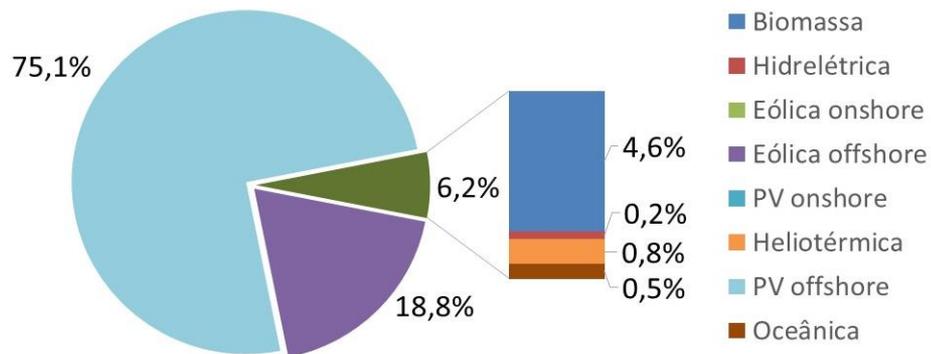
Não Renováveis "Difíceis"

7.045 Mtep



Renováveis "Difíceis"

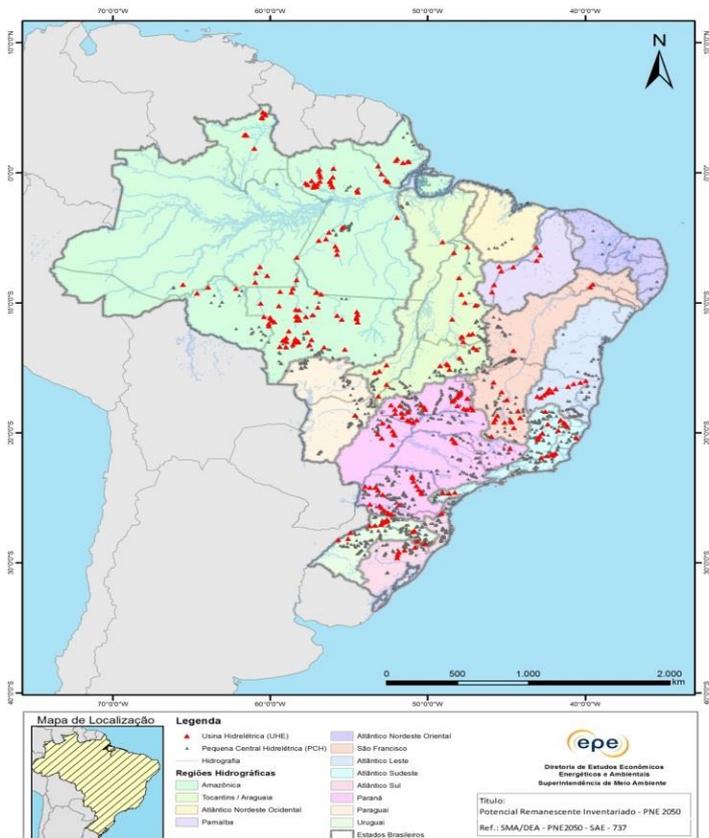
6.990 Mtep



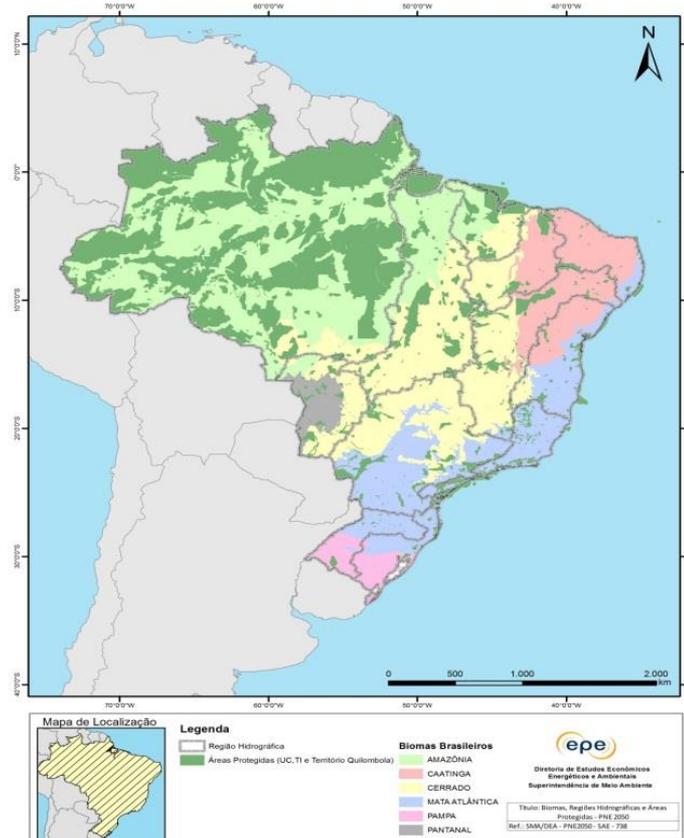
RECURSOS - Hidrelétrica

Com relação ao aproveitamento futuro do potencial, merece destaque o fato de a maior parte do potencial remanescente inventariado estar localizado nas regiões hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia, onde há um número elevado de unidades de conservação e terras indígenas.

Potencial Hidrelétrico Remanescente



Regiões Hidrográficas e Áreas Protegidas





Potencial de UHE

Potencial inventariado

O PNE 2050 considerará apenas o potencial hidrelétrico inventariado pós PDE 2026 (6 GW). A base de UHEs, incluindo dados de potência e custos, foi atualizada.

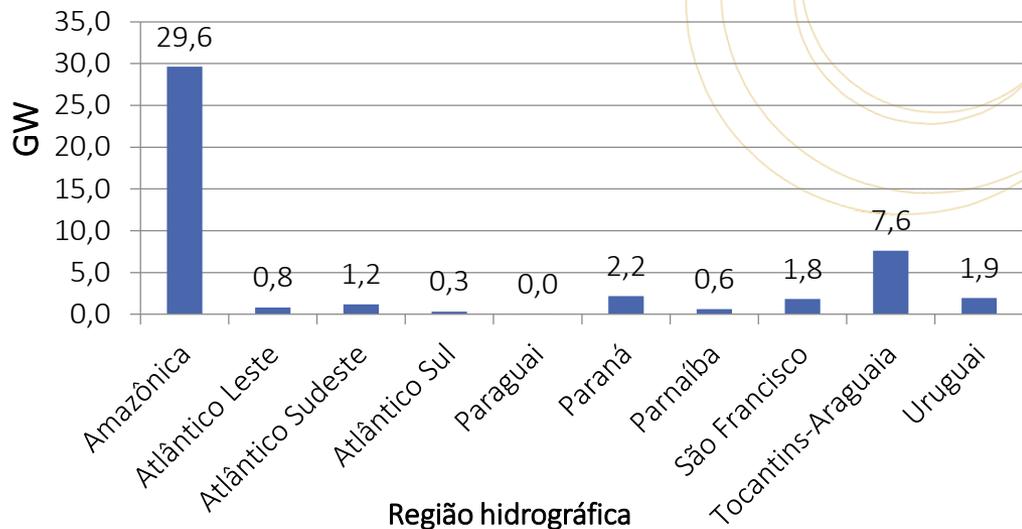
O conjunto de projetos inventariados pós PDE 2026 soma ~ 45 GW (6 GW livres).

PCH: Potencial de 16 GW (Inventariado).

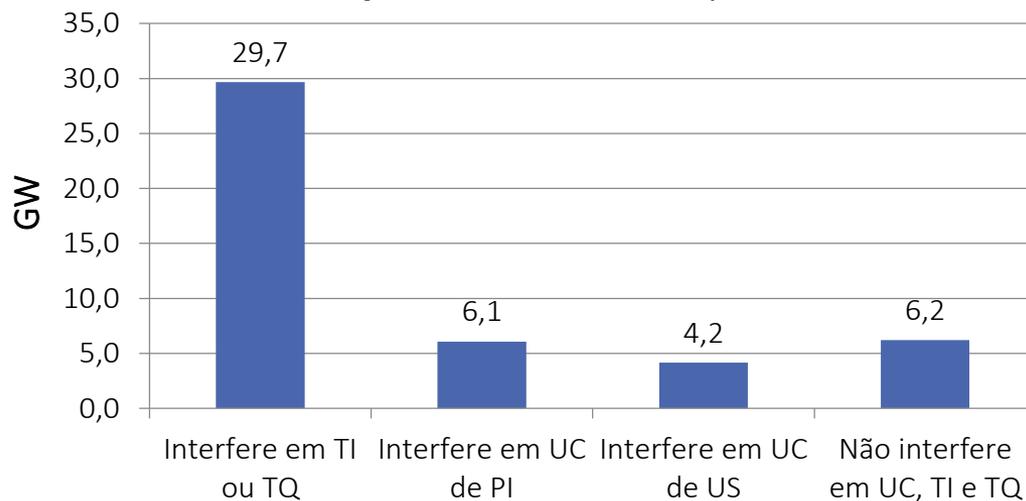
Classificação socioambiental

Com base na localização dos eixos dos projetos e dos respectivos reservatórios foi feita a classificação socioambiental, que indica se os projetos apresentam ou não interferência em áreas protegidas (Unidades de conservação, Terras Indígenas e Territórios Quilombolas).

Localização do potencial hidrelétrico



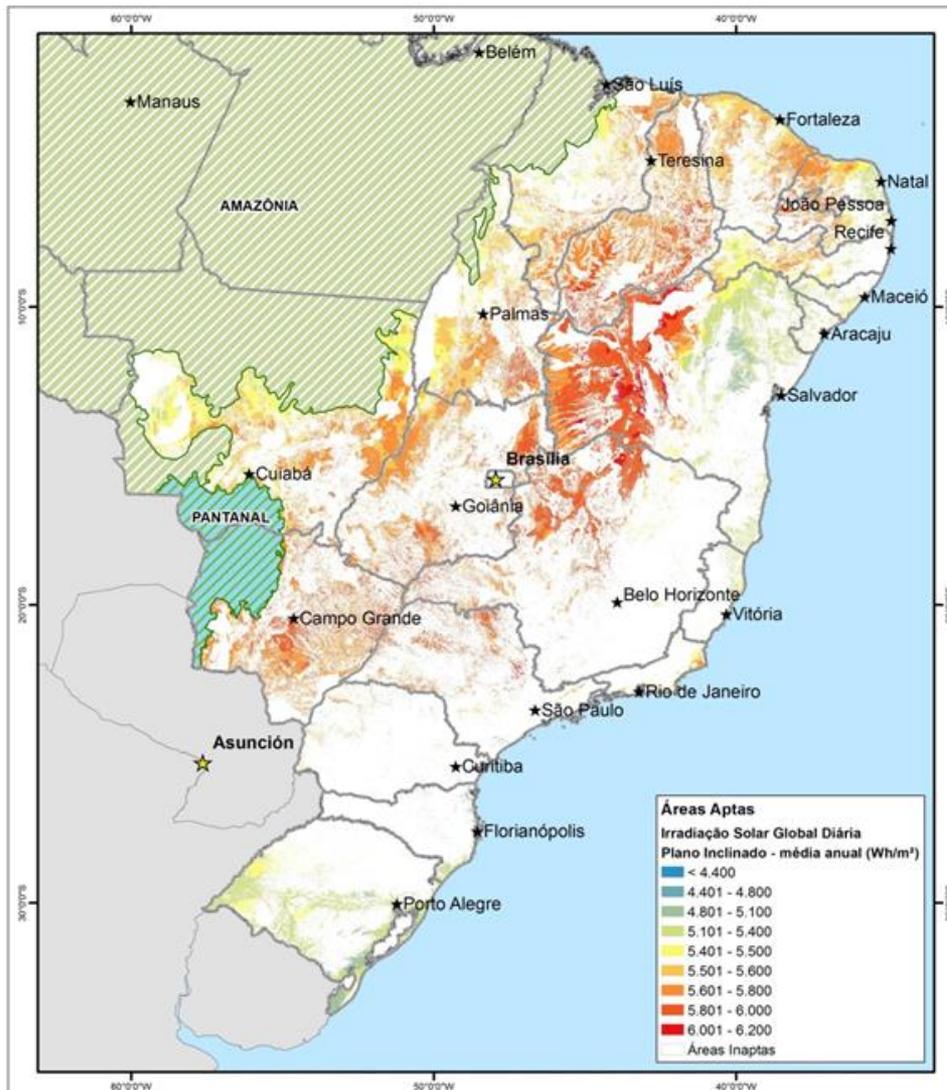
Classificação socioambiental do potencial





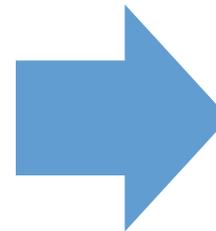
RECURSOS - Solar Fotovoltaico (centralizada)

Excluindo áreas com vegetação nativa:

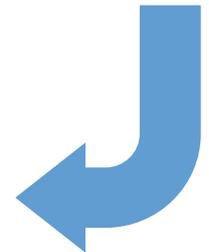
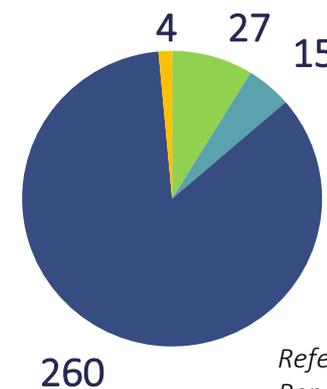


Faixa de irradiação (Wh/m ² .dia)	Potência Fotovoltaica (GWp)
4400-4800	24
4800-5100	747
5100-5400	4.803
5400-5500	2.618
5500-5600	3.406
5600-5800	10.101
5800-6000	6.513
6000-6200	307

~450 TWh



- SP
- MG
- BA
- PI



Referência: EPE – Livro Energia Renovável, 2016



RECURSOS - Solar Heliotérmico

Cilindro Parabólico



Receptor Central (Torre)

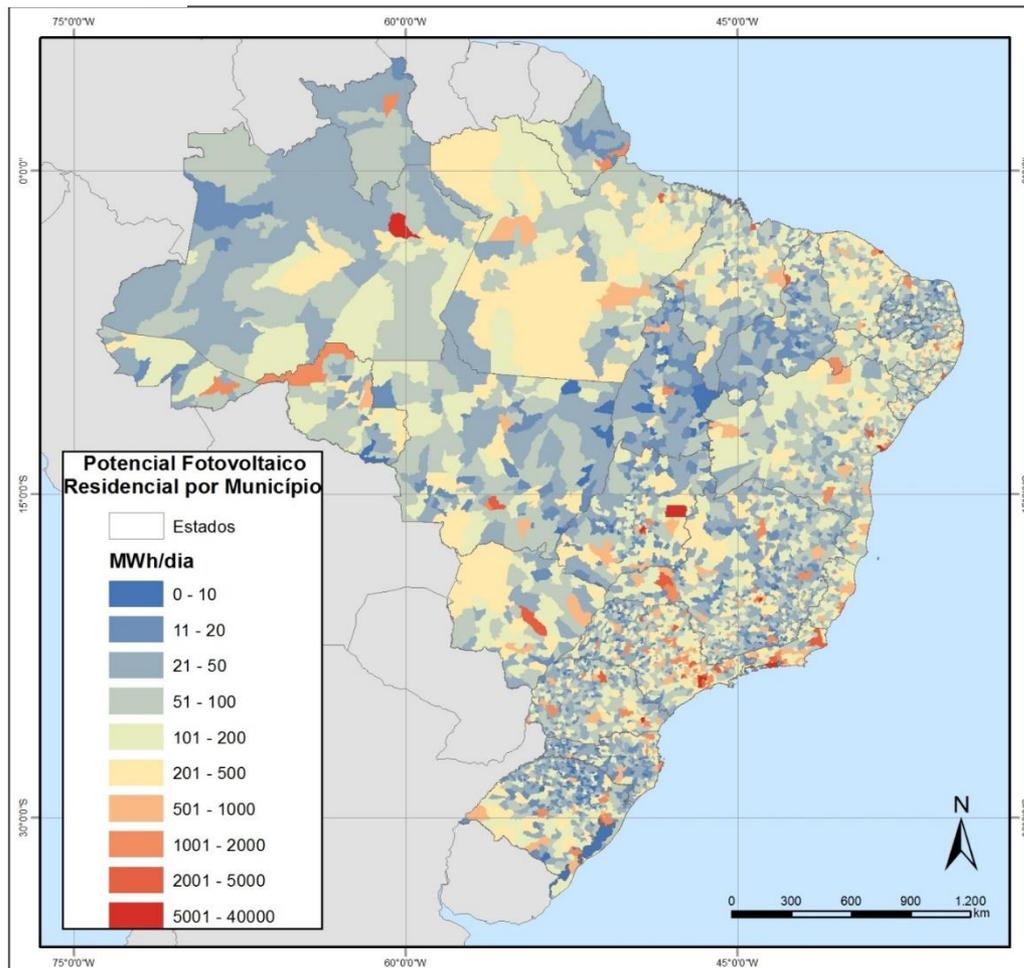


Referência: Burgi, 2013

Tecnologias	UF	Potencial (MW)	Potencial de Eletricidade (TWh/ano)
Cilindro parabólico (com armazenamento)	Tocantins	2.250	7,7
	Maranhão	125	0,4
	Piauí	11.400	36,1
	Ceará	94	0,3
	Paraíba	13.133	41,8
	Bahia	61.740	215,4
	Minas Gerais	16.517	54,7
	São Paulo	3.829	10,3
	Paraná	123	0,4
	Mato Grosso do Sul	66.823	204,0
	Mato Grosso	-	
	Goiás	27.272	89,7
	Brasil	203.306	660,8
	Torre solar (com armazenamento)	Tocantins	814
Maranhão		-	
Piauí		4.328	15,2
Ceará		-	
Paraíba		6.935	25,9
Bahia		33.685	130,6
Minas Gerais		7.429	26,8
São Paulo		1.188	3,6
Paraná		-	
Mato Grosso do Sul		31.527	111,7
Mato Grosso		-	
Goiás		11.833	42,4
Brasil		97.739	359,0



RECURSOS - Solar Fotovoltaico (Geração Distribuída Residencial)



UF	Potencial Fotovoltaico Residencial (MWmédio)	Potencial Fotovoltaico Residencial (TWh/ano)
Rondônia	265	2,3
Acre	110	1,0
Amazonas	420	3,7
Roraima	65	0,6
Pará	1.020	8,9
Amapá	80	0,7
Tocantins	255	2,2
Maranhão	1.020	8,9
Piauí	555	4,9
Ceará	1.430	12,5
Rio Grande do Norte	555	4,9
Paraíba	655	5,7
Pernambuco	1.410	12,4
Alagoas	505	4,4
Sergipe	350	3,1
Bahia	2.360	20,7
Minas Gerais	3.675	32,2
Espírito Santo	595	5,2
Rio de Janeiro	2.685	23,5
São Paulo	7.100	62,2
Paraná	1.960	17,2
Santa Catarina	1.075	9,4
Rio Grande do Sul	1.970	17,3
Mato Grosso do Sul	505	4,4
Mato Grosso	570	5,0
Goiás	1.220	10,7
Distrito Federal	410	3,6
Brasil	32.820	287,5

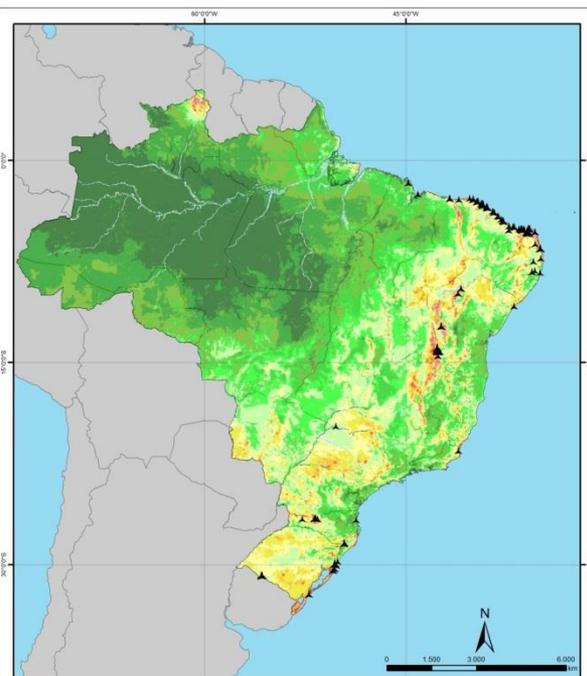
Referência: EPE - Nota Técnica DEA 19/14 – Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos



RECURSOS - Eólica onshore

O potencial eólico brasileiro é objeto de interesse com inventários desde os anos 1970, considerando registros obtidos a alturas de 10m. Em 2001, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro foi elaborado com acesso a torres de medição de 50m (altura dos aerogeradores da época), indicando um potencial instalável de 143 GW para todo o país, que ainda é a referência nacional.

- ✓ Alguns estados elaboraram seus atlas, buscando identificar o potencial eólico a maiores alturas. A Bahia apresenta o mais recente (2013), com um potencial de 195 GW a 150m, superior ao estimado para todo o Brasil pelo atlas de 2001.



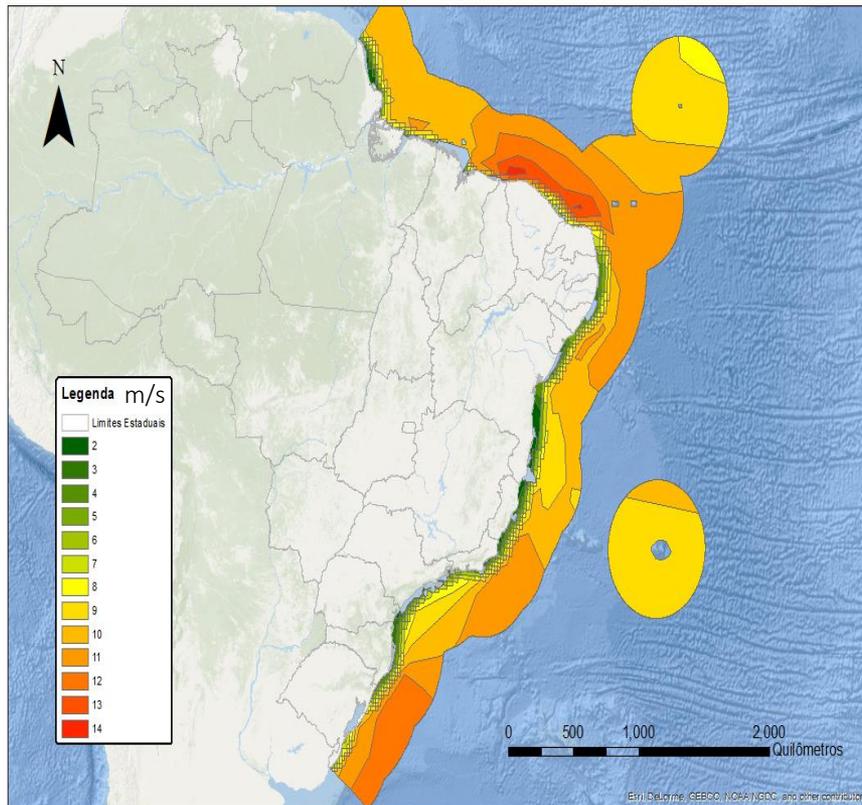
Potencial eólico dos atlas brasileiros

Altura	75m (*80m, **70m)		100 m		150 m	
	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)
Estados						
Potencial (>7m/s)						
Alagoas 2008	336	822	649	1.340	n.d.	n.d.
Bahia 2013	38.600*	150.400*	70.100	273.500	195.200	766.500
Ceará 2000	24.900**	51.900**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Espírito Santo 2009	448	1.073	1.143	2.397	n.d.	n.d.
Minas Gerais 2010	24.742	57.812	39.043	92.076	n.d.	n.d.
Paraná 2007	1.363	3.756	3.375	9.386	n.d.	n.d.
Rio de Janeiro 2002	1.524	4.835	2.813	8.872	n.d.	n.d.
Rio Grande do Norte 2003	19.431	55.901	27.080	69.293	n.d.	n.d.
Rio Grande do Sul 2014	n.d.	n.d.	102.800	382.000	245.300	911.000
São Paulo 2012	15	48	564	1.753	n.d.	n.d.
Total dos Atlas	111.023	325.725	246.918	839.277	440.500	1.677.500



RECURSOS - Eólica offshore

O Brasil não possui nenhum parque eólico offshore, mas já existem 3 projetos com solicitação de licença ambiental no Ibama, mostrando que o mercado está estudando o assunto.

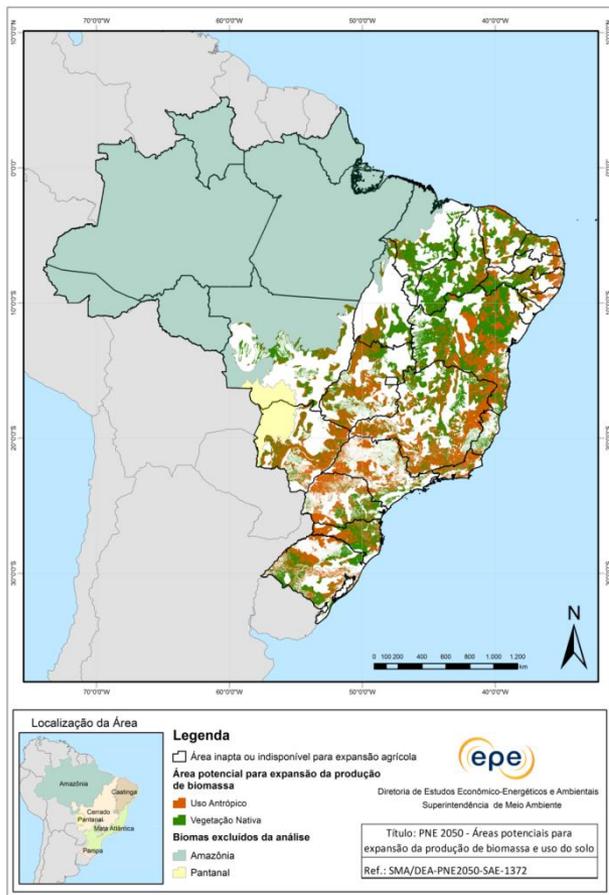


- ✓ A média da magnitude do vento offshore no Brasil apresenta variação entre **7 e 12 m/s**, com valores mínimos próximos à costa de São Paulo e valores máximos próximos à costa de Sergipe e Alagoas.
- ✓ Ao utilizar o fator de capacidade de **39,55%** estima-se um potencial de aproximadamente **6.150 TWh por ano**, um enorme potencial para ser explorado na costa brasileira.
- ✓ A área de **menor profundidade** (até 20 m), **maior proximidade da costa** (até 10 km) e **maior velocidade de vento** (a partir de 9 m/s) atinge 16.858 km², correspondente a três vezes o Distrito Federal, e tem um potencial de aproximadamente **75 GW** e 256 TWh por ano (para FC = 39,55%, mas há medições superiores a 60%).



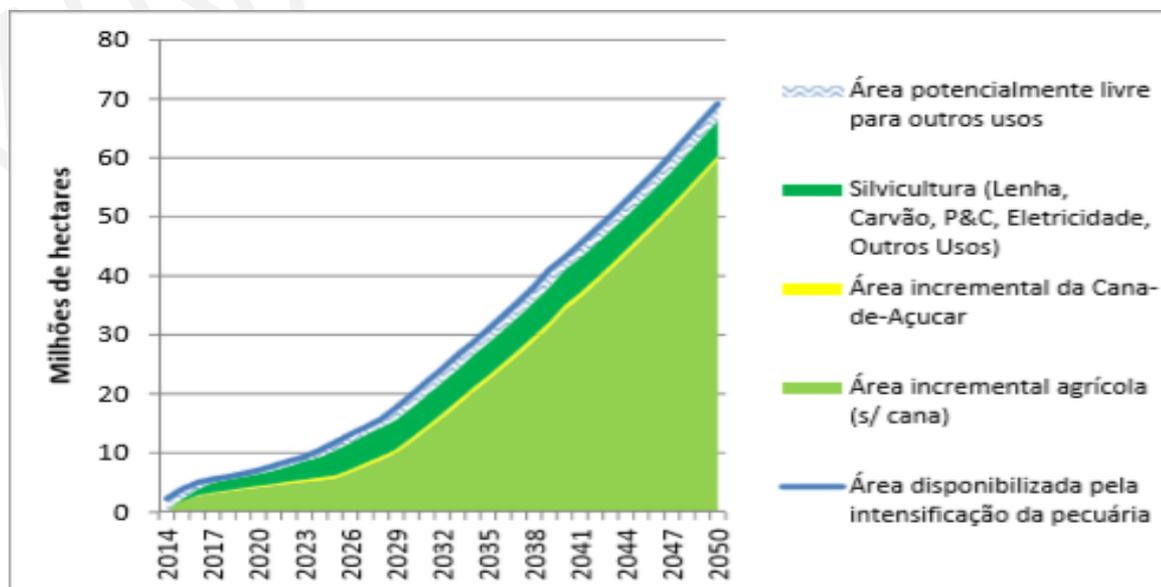
RECURSOS - BIOMASSA

Áreas aptas para a produção



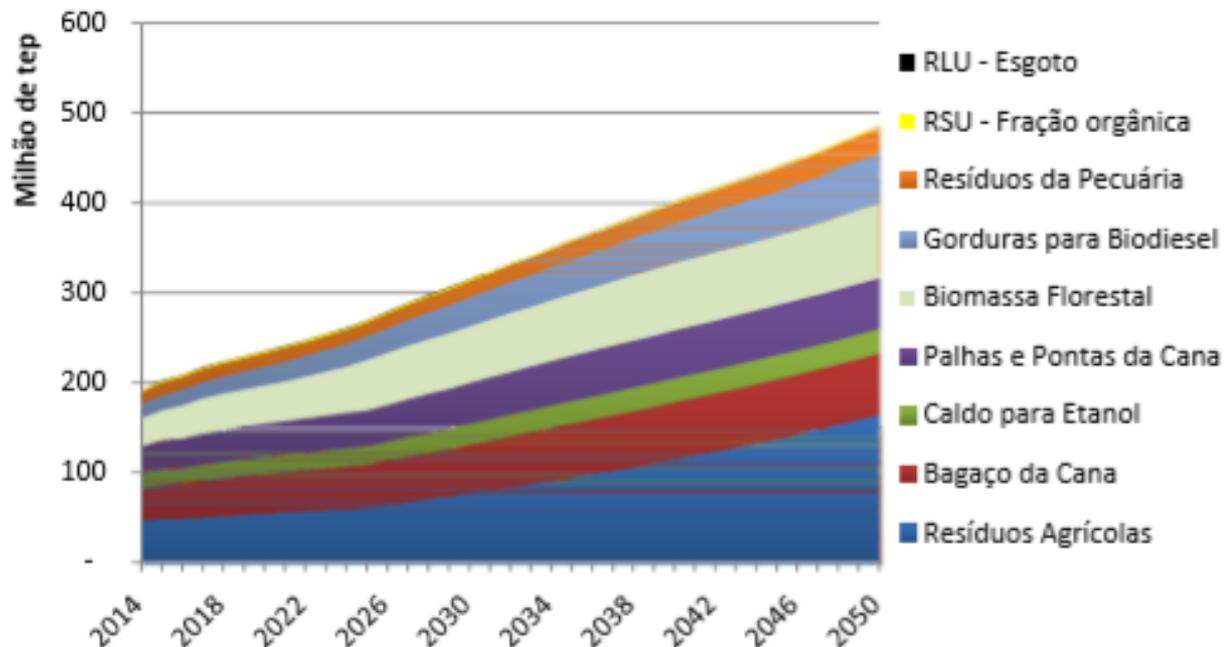
Fonte: EPE (2017)

- ✓ O Brasil é um grande produtor agrícola, de pecuária e florestal, o que o coloca entre os principais atores no cenário internacional da bioenergia.
- ✓ A previsão de expansão da agropecuária no horizonte 2050 atende a:
 - ✓ os requisitos ambientais;
 - ✓ evolução do PIB;
 - ✓ participação setorial;
 - ✓ restrições técnicas de produtividade;
 - ✓ possibilidade de restrições climáticas.





RECURSOS - BIOMASSA



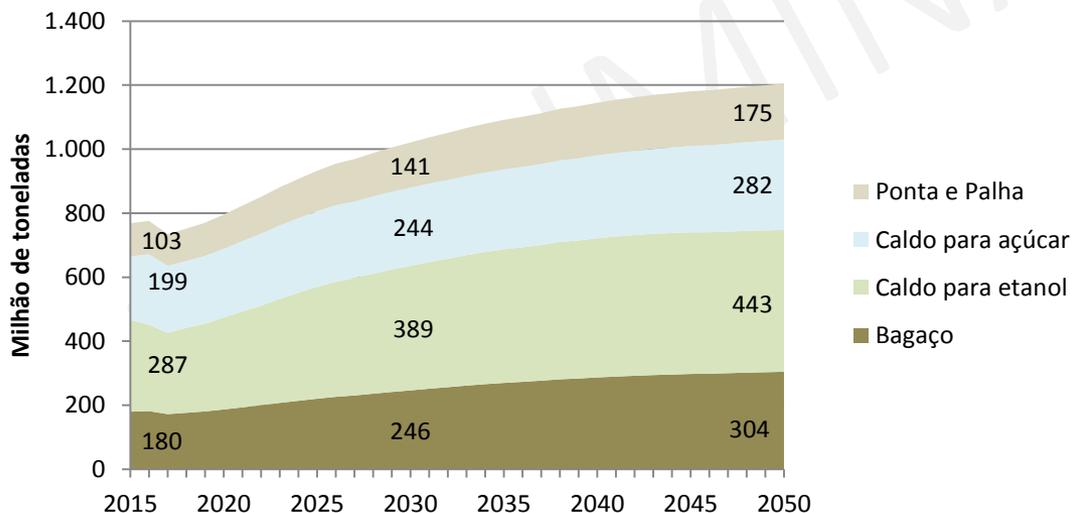
- ✓ Os resíduos da agropecuária são, em média, de 1 t de biomassa em base seca por tonelada de produto obtido.
- ✓ Custos de coleta apontam para oportunidade em Geração Distribuída.



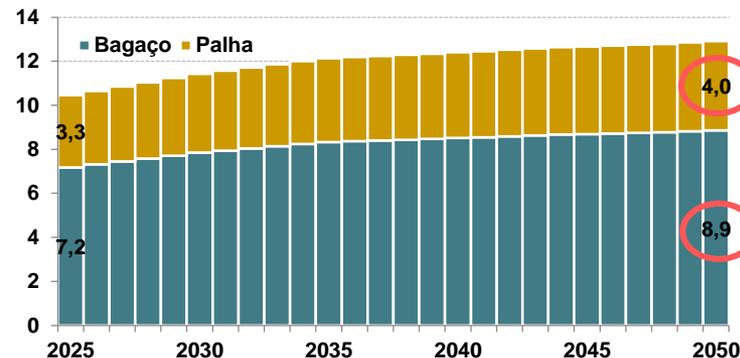
RECURSOS - BIOMASSA DA CANA

- ✓ Os produtos da cana somados - bagaço, caldo dedicado para etanol e palhas e pontas de cana – ocupam a segunda colocação e deverão responder por 152 milhões de tep.
- ✓ Até 2050, a área plantada com cana poderá aumentar 20% em relação a 2015, graças ao aumento de 29% da produtividade agrícola, chegando a 99 toneladas por hectare.

Previsão da Produção



Previsão de Disponibilidade (GWmédio)



Fonte: EPE (2017)



Biomassa Residual Lenhosa

(Manejo Florestal Sustentável – MFS – e do processamento da madeira)



Combustível

O resíduo do processamento da madeira, como no caso do bagaço de cana, tem CVU nulo.

O resíduo do MFS pode ser valorado desde semelhante ao custo de lenha de florestas energéticas até o custo equivalente do óleo diesel na região dos Sistemas Isolados.

Cerca de 400 MW poderiam ser instalados para operar na base na região dos Sistemas Isolados.

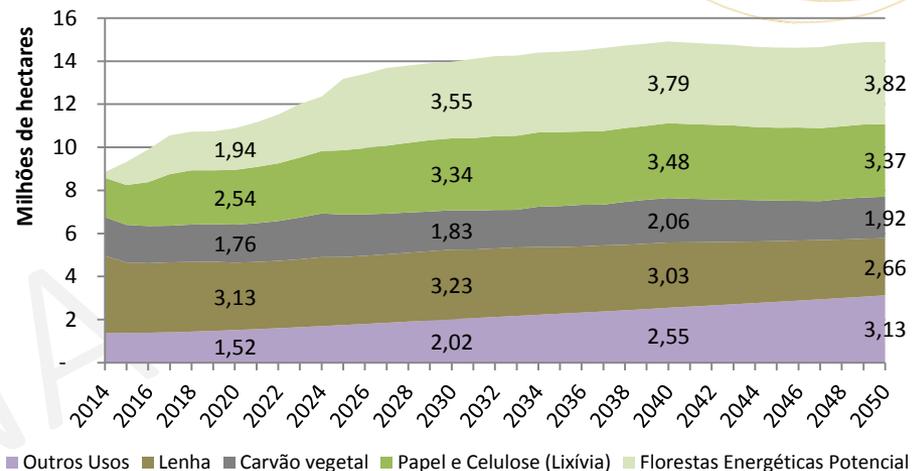
Na região de bioma Amazônico, em áreas de Reserva Legal e de Florestas Públicas Federais o potencial teórico é de 6,5 GW.



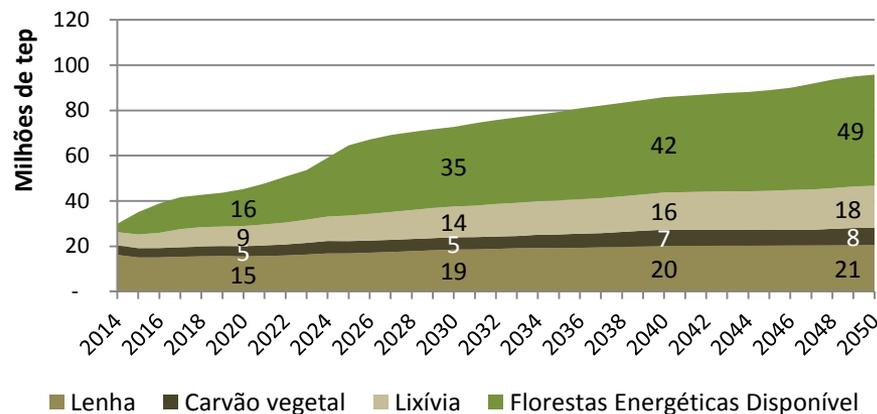
RECURSOS - FLORESTA ENERGÉTICA

A projeção da demanda de área florestal, considera que no ano base a produtividade média é de 37,4 metros cúbicos por hectare por ano, com um crescimento de 1,5% ao ano, chegando em 2050 com 63,9 metros cúbicos por hectare por ano.

- ✓ Em 2050, cerca de 15 milhões de hectares deverão estar ocupados por florestas plantadas para atender a demanda pelos recursos energéticos de base florestal;
- ✓ Em 2050, a disponibilidade de biomassa florestal deve alcançar 83 Mtep, um crescimento de 166% em relação à 2015.
- ✓ Potencial de geração termelétrica de cavaco de madeira: 9 GWmed (11 GW) em 2050, ocupando cerca de 4 Mha.



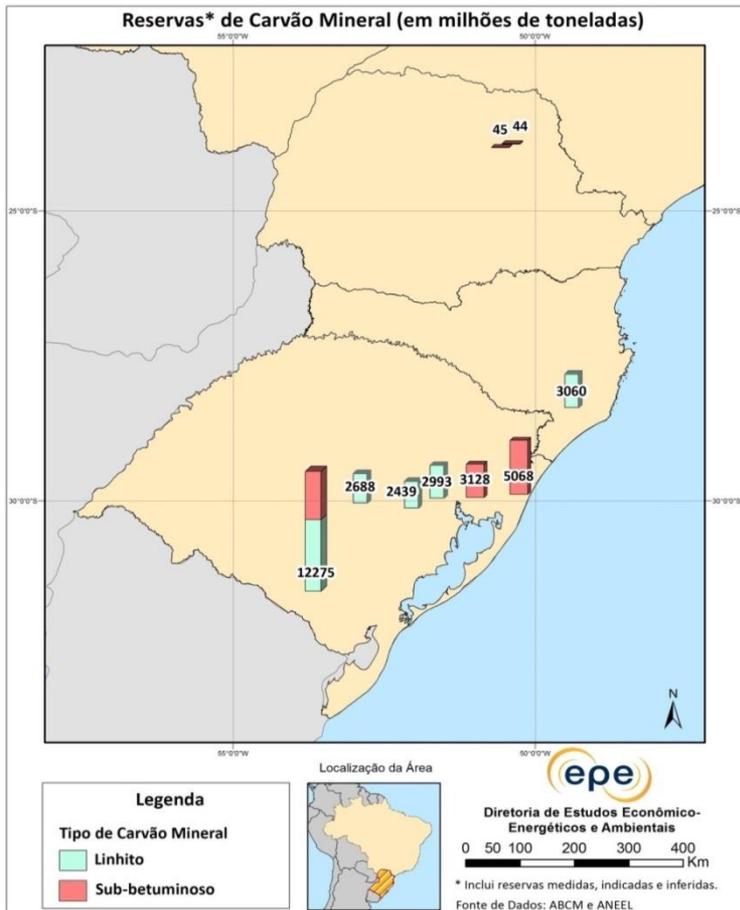
Energia Primária Disponível





RECURSOS - Carvão Mineral Nacional

Cerca de 40% do total das reservas (12,4 bilhões de toneladas) estão em Candiota (RS). Neste sentido, as reservas consideradas medidas de Candiota somam 2,4 bilhões de toneladas, suficiente para a instalação de, no mínimo, 12 plantas de 500 MW de potência funcionando por 40 anos.



- ✓ O consumo interno nacional ainda que pouco expressivo (6,2 milhões de toneladas para abastecer um parque gerador de cerca de 1.700 MW) contrasta com uma ampla reserva provada de carvão mineral da ordem de 6,6 bilhões toneladas (24° no ranking mundial) sem esforço exploratório.
- ✓ As reservas poderiam alcançar até 9,2 bilhões de toneladas, segundo o DNPM, caso fossem realizados maiores investimentos em pesquisa e exploração. Para efeito de comparação, as reservas carboníferas no país, em termos energéticos, superam em seis vezes as reservas de gás natural.

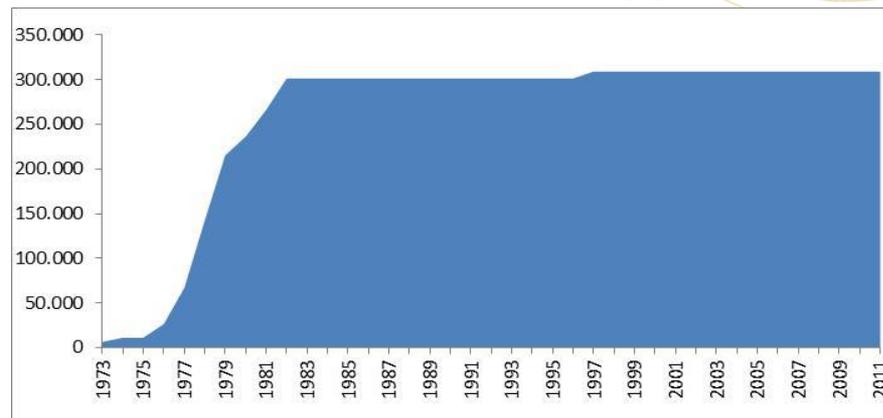


RECURSOS - Nuclear

O potencial máximo de geração elétrica a partir da disponibilidade das reservas (parcela recuperável) medidas e indicadas é de até 10 novas unidades de 1000MW com vida útil de 60 anos.

- ✓ A prospecção e pesquisa para minerais radioativos cobre cerca de 25% do território nacional e alcança pouco mais de 309 mil toneladas de U3O8 in situ, equivalentes a 1,25 x109 tep .

Evolução das Reservas de Urânio (t de U₃O₈)



Fonte: EPE (2017).

Reservas brasileiras de urânio por depósitos (t U3O8)

Depósito - Jazida	Medidas e Indicadas (U ₃ O ₈ t)			Inferidas (U ₃ O ₈ t)	Total (t)
	<40 U\$/kgU	<80 U\$/kgU	Sub-total	<80 U\$/kgU	
Caldas (MG)	-	500	500	4.000	4.500
Lagoa Real /Caetité (BA)	24.200	69.800	94.000	6.770	100.770
Santa Quitéria (CE)	42.000	41.000	83.000	59.500	142.500
Outras	-	-	-	61.600	61.600
Total	66.200	111.300	177.500	131.870	309.370

Potencial adicional (Prognosticado): Pitinga (AM) e Carajás (AM) - 300.000 t

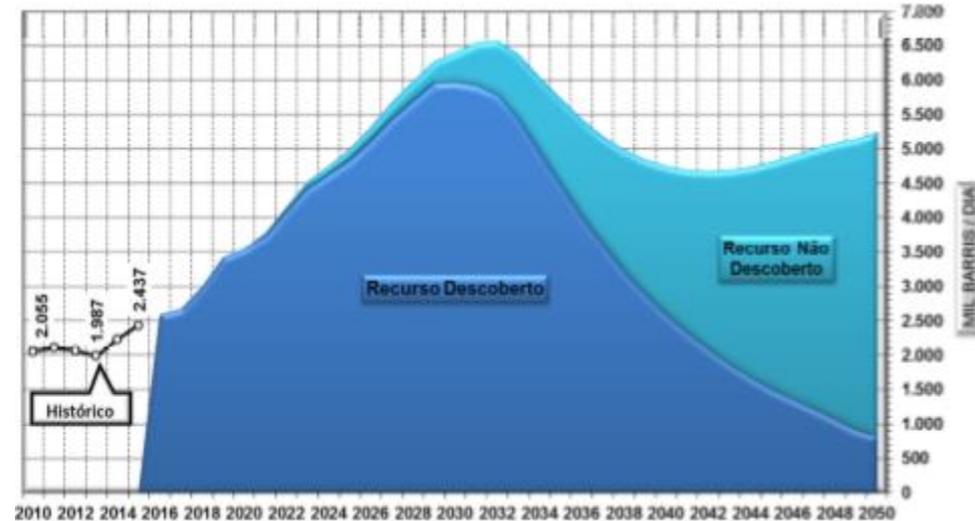
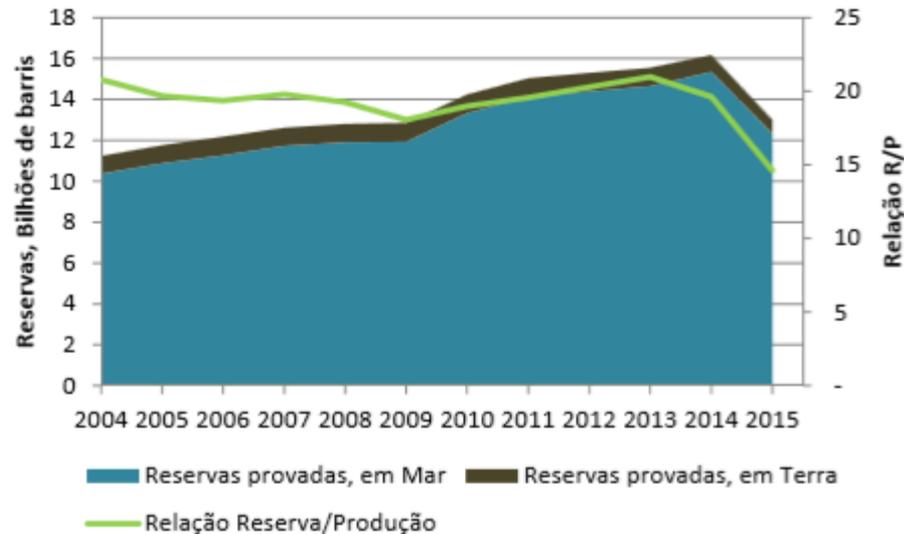
Especulativo: aprox. 500.000 t

Fonte: INB (2017).



RECURSOS - Evolução das reservas provadas brasileiras de Petróleo e Projeção da produção

As reservas totais de petróleo somaram cerca de 24,4 bilhões de barris, com uma relação R/P de 27 anos.

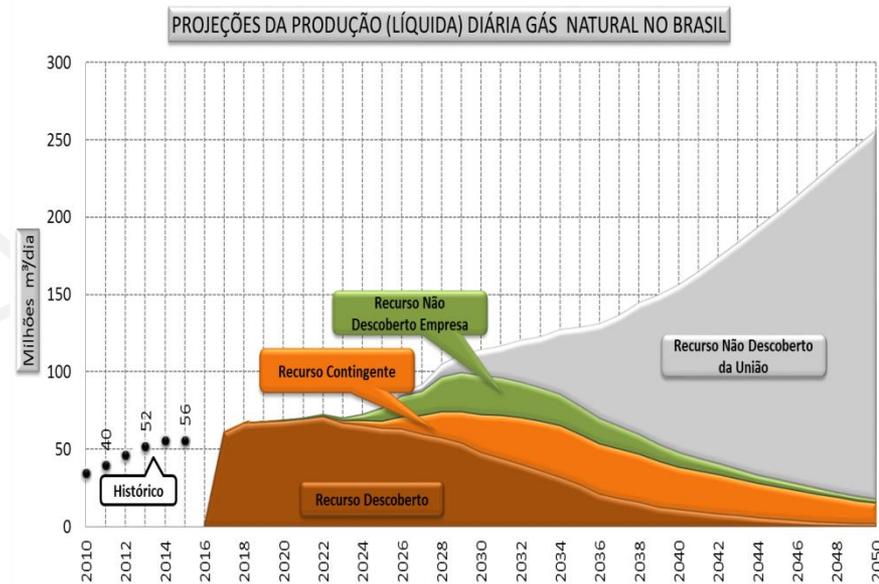
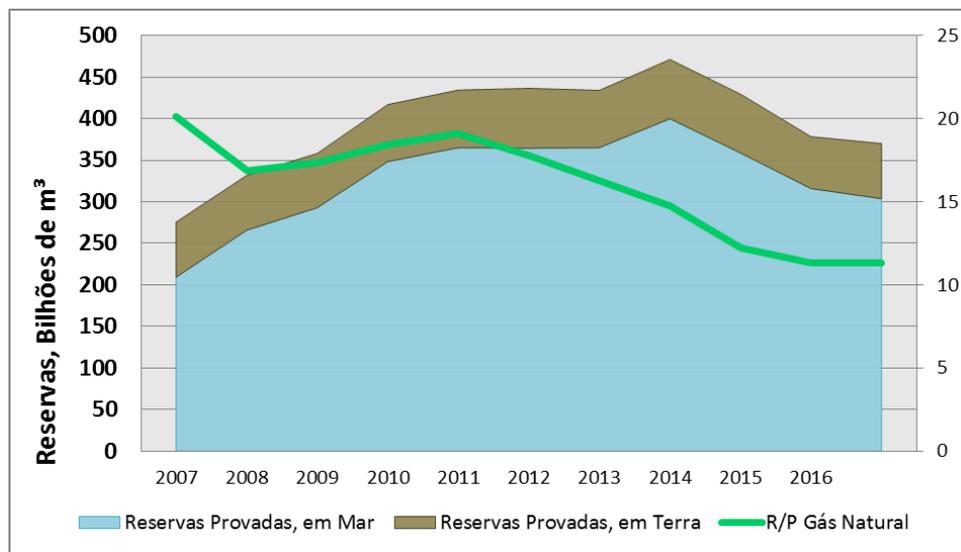


- ✓ Haverá aumento de produção de petróleo no país no horizonte até 2050;
- ✓ País será exportador de expressão internacional;
- ✓ Existe potencial de recursos não convencionais.



RECURSOS - Evolução das reservas provadas brasileiras de GN e Projeção da produção

As reservas totais de gás natural somaram cerca de 746 bilhões de metros cúbicos, com uma relação R/P de 21 anos.

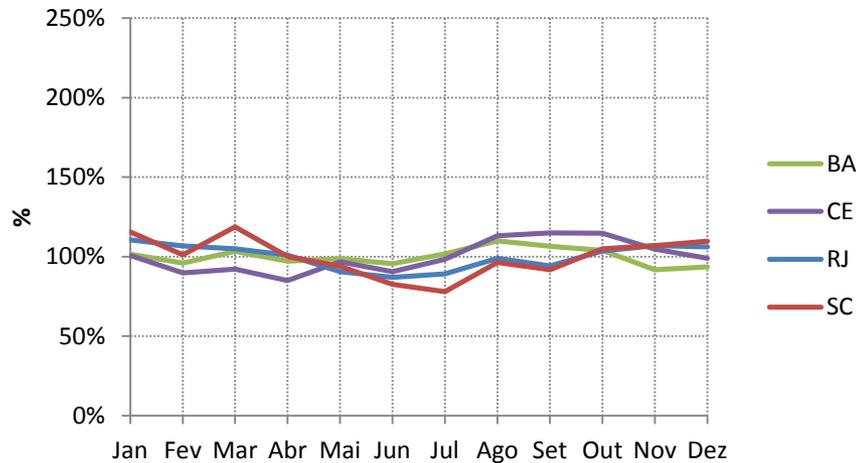


Fonte: EPE a partir da ANP, 2017

- ✓ Há expectativa de aumento de produção de gás natural no país no horizonte até 2050;
- ✓ Nos últimos 20 anos, a produção nacional aumentou cerca de quatro vezes ;
- ✓ Grandes áreas propensas às novas descobertas de acumulações de GN não associado;

Sazonalidade: uma característica das renováveis

Variação Intra-anual: Fotovoltaica

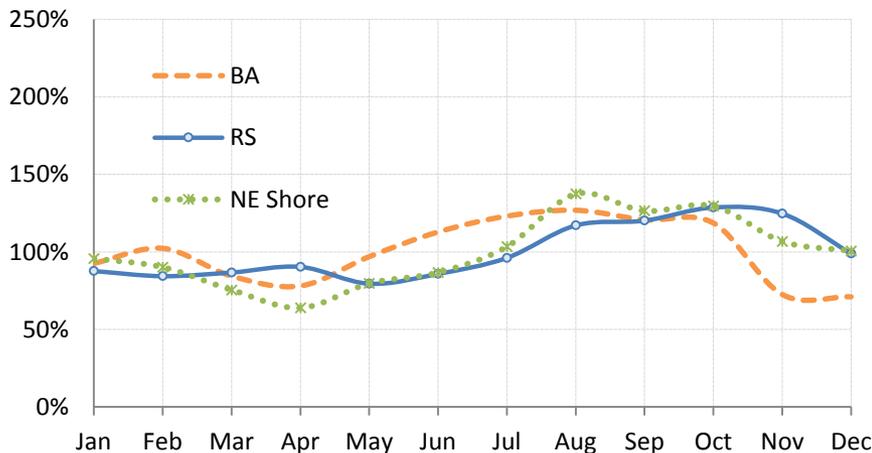


Reference: Made from PVWatts (NREL)

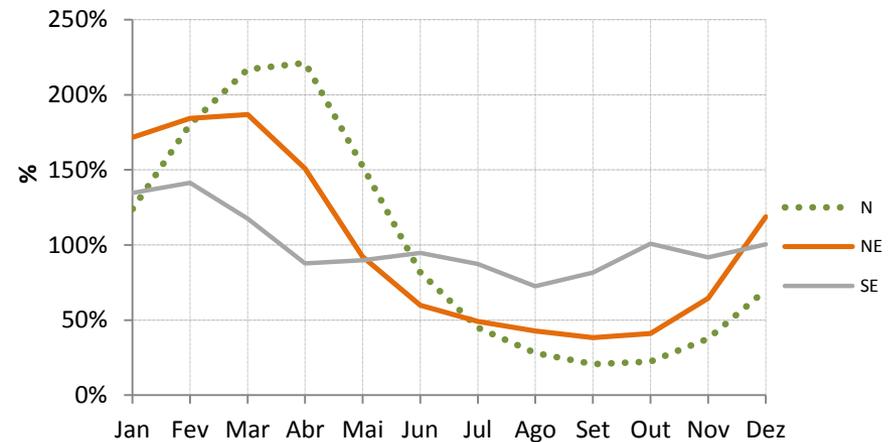
Variação Intra-anual: Bagaço de Cana



Variação Intra-anual: Eólica



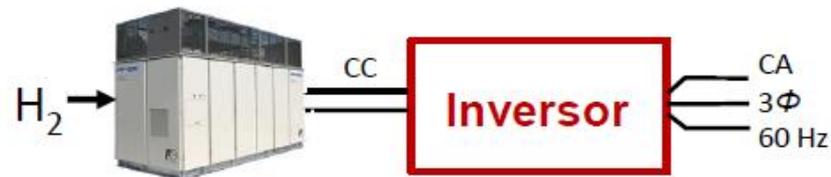
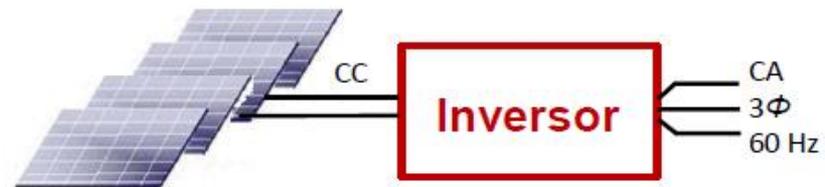
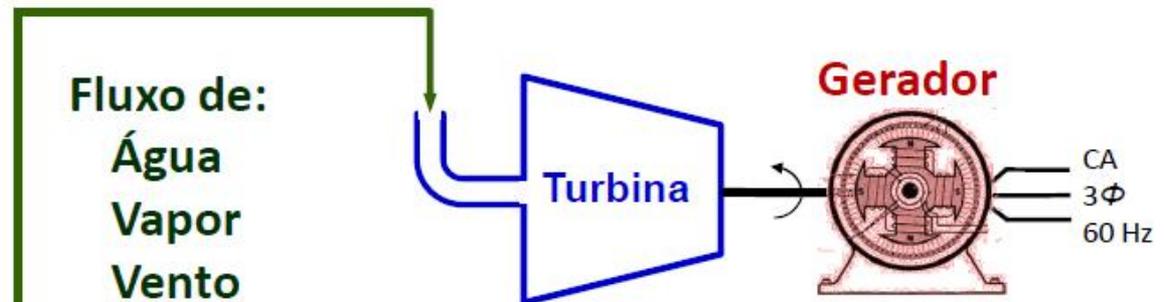
Variação Intra-anual: Vazões de água



Características técnicas das fontes

Processos de Geração de Energia Elétrica

1. Conversão Eletromecânica
 - Hidrelétrica
 - Termelétrica
 - Eólica
 - Heliotérmica
 - Outras
2. Conversão Direta
 - Fotovoltaica
 - Célula a combustível



Fonte: Djalma Falcão, 2017

Hidrelétricas

$$P=Q.g.h.n$$

P -> Potência (kW)

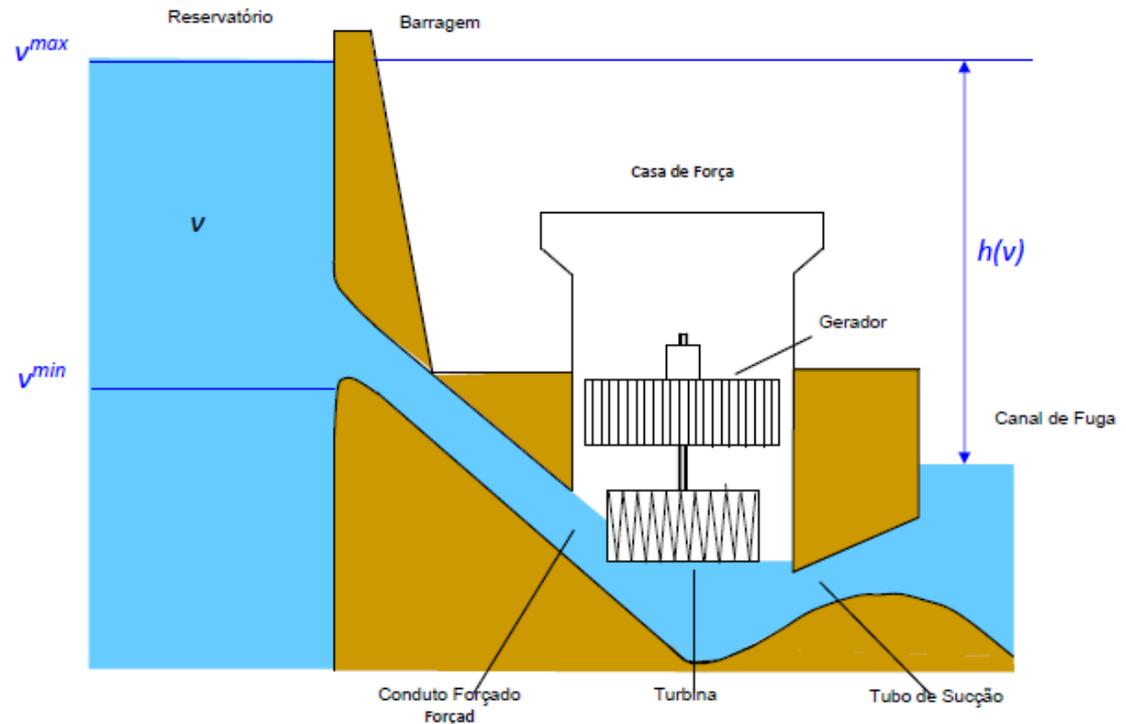
Q -> Vazão (m³/s)

g -> aceleração da gravidade

h -> altura líquida

n -> rendimento

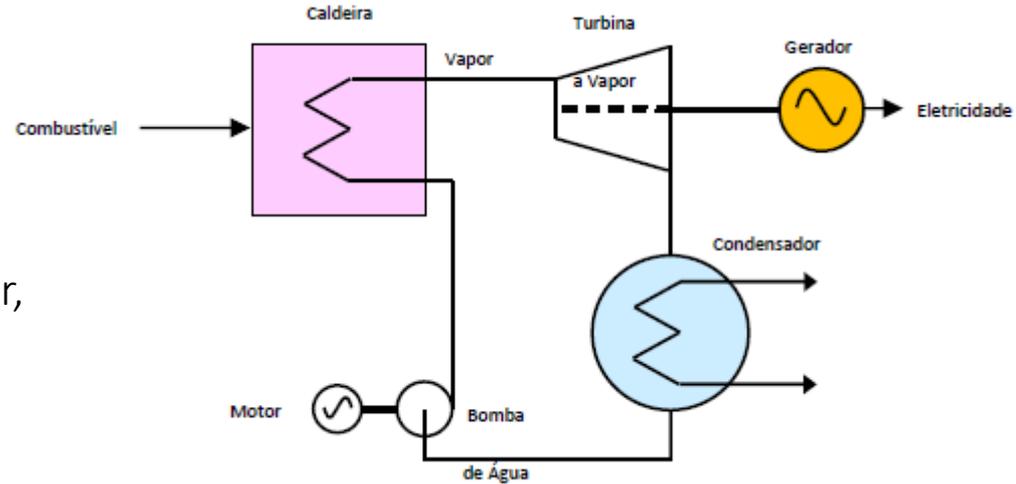
Atributo	Hidrelétrica
Custo da Energia	Verde
Atende a Ponta?	Amarelo
Flexível (rampa)	Verde
Emissões de GEE	Verde
Flexibilidade Locacional	Vermelho
Tempo de Construção	Vermelho



Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Termelétricas a Vapor

- Queima de um combustível aquece água -> vapor movimenta turbina
- Combustível: Carvão, biomassa, solar, nuclear, etc.
- Ciclo Rankine
- Rendimento na faixa de 30-40%



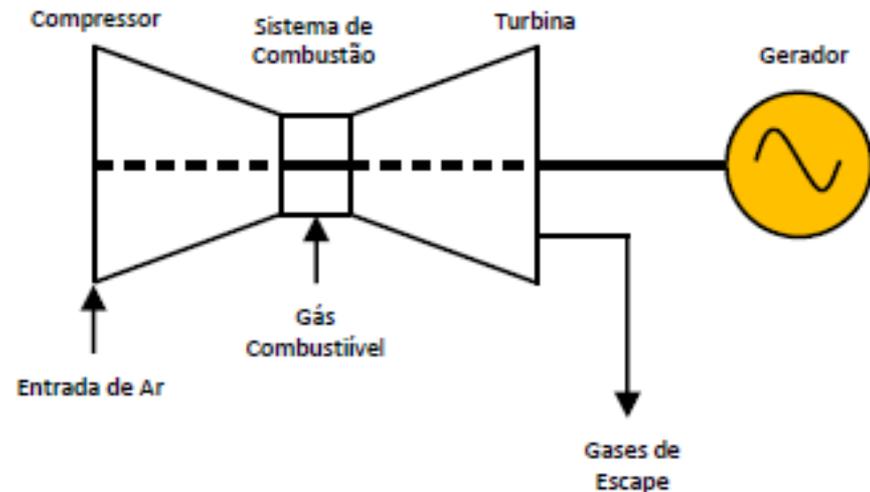
Atributo	Carvão	Biomassa	Heliotérmica	Nuclear
Custo da Energia	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho
Atende a Ponta?	Verde	Amarelo	Verde	Verde
Flexível (rampa)	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho
Emissões de GEE	Vermelho	Verde	Verde	Verde
Flexibilidade Locacional	Amarelo	Verde	Amarelo	Amarelo
Tempo de Construção	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho

Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Termelétricas a Gás

- Combustível é queimado com ar pressurizado e movimentam uma turbina
- Combustível: Gás Natural (GN), Querosene, Diesel, etc. (gasosos ou líquidos);
- Ciclo Brayton
- Rendimento na faixa de 40-44%

Atributo	GN Ciclo Simples
Custo da Energia	
Atende a Ponta?	
Flexível (rampa)	
Emissões de GEE	
Flexibilidade Locacional	
Tempo de Construção	

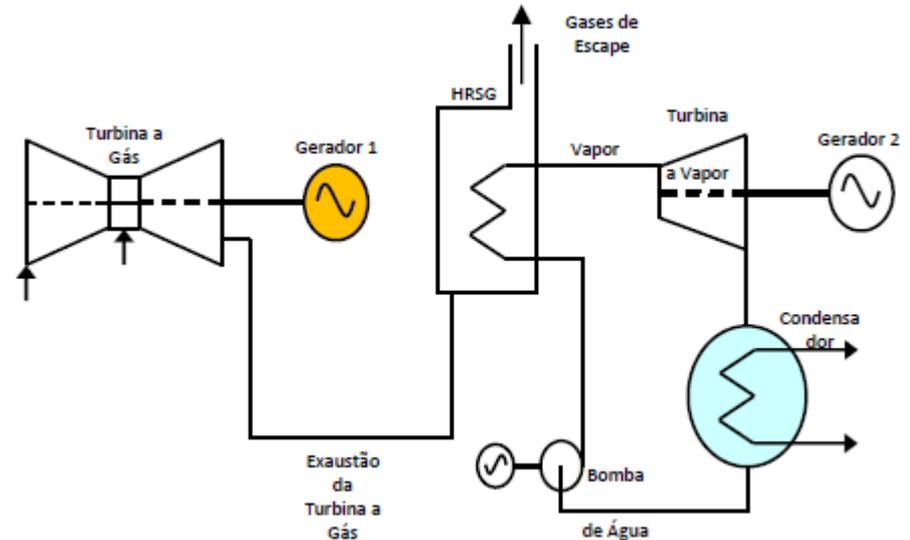


Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Termelétricas em Ciclo Combinado

- Usa turbinas a gás e a vapor associadas em uma única planta
- Calor existente nos gases de exaustão é recuperado, produzindo o vapor necessário ao acionamento da turbina a vapor
- O rendimento de termelétricas de ciclo combinado varia na faixa 52-64 %

Atributo	GN Ciclo Combinado
Custo da Energia	Amarelo
Atende a Ponta?	Verde
Flexível (rampa)	Verde com listras diagonais
Emissões de GEE	Amarelo
Flexibilidade Locacional	Verde
Tempo de Construção	Amarelo



Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Eólicas

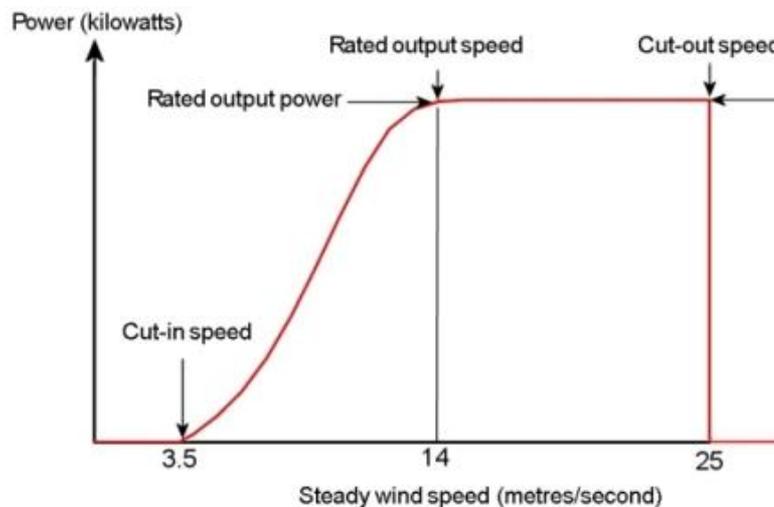
- Produz energia muito barata
- Potência varia bastante com a velocidade do vento (ao triplo)



$$P = 0.5 A \eta \rho C_p V^3$$

P: potência produzida (W)
A: área varrida pelo rotor πr^2 (m²)
η: rendimento turbina-gerador
ρ: densidade do ar (1,225 kg/m³)
V: velocidade do ar (m/s)
C_p: coeficiente de desempenho aerodinâmico

Atributo	Eólica
Custo da Energia	Verde
Atende a Ponta?	Vermelho
Flexível (rampa)	Vermelho
Emissões de GEE	Verde
Flexibilidade Locacional	Verde
Tempo de Construção	Verde

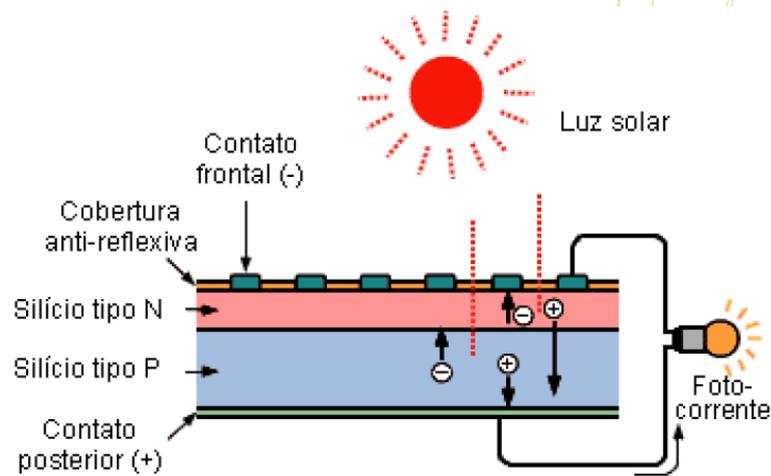


Typical wind turbine power output with steady wind speed.

Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Fotovoltaicas

- Conversão direta da luz em corrente elétrica (efeito fotovoltaico)
- Bastante modular (de sistemas isolados à fazendas solares)
- Geração varia bastante com passagem de nuvens.



Atributo	Fotovoltaica
Custo da Energia	Verde
Atende a Ponta?	Vermelho
Flexível (rampa)	Vermelho
Emissões de GEE	Verde
Flexibilidade Locacional	Verde
Tempo de Construção	Verde

Residencial conectado à rede



Central



Sistema isolado*



Fonte: Djalma Falcão, 2017 e EPE

Armazenamento: Baterias (Li-ion, Fluxo) e Hidrelétricas Reversíveis

- Carregam em momentos de baixo consumo e geram em horários de ponta.
- Também são bastante flexíveis.
- Várias químicas diferentes para baterias, com diferentes aplicações.

Atributo	Baterias	UHR
Custo de Armazenamento	Red	Green
Atende a Ponta?	Green	Green
Flexível (rampa)	Green	Green
Emissões de GEE	Green	Green
Flexibilidade Locacional	Green	Red
Tempo de Construção	Green	Red

Nota: análise simplificada para fins didáticos.



Classificação qualitativa das fontes

	Tecnologia	Custo da Energia*	Atende a Ponta?	Flexível (Rampa)	Emissões de GEE	Flexibilidade Locacional	Tempo de Construção
Geração	Hidrelétrica	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
	Biomassa	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde
	Eólica	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Verde
	Solar Fotovoltaica	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Verde
	Heliotérmica	Vermelho	Verde	Amarelo	Verde	Amarelo	Amarelo
	Carvão	Amarelo	Verde	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Amarelo
	GN Ciclo Simples	Padrão diagonal	Verde	Verde	Amarelo	Verde	Verde
	Gás Ciclo Combinado	Amarelo	Verde	Padrão diagonal	Amarelo	Verde	Amarelo
	Nuclear	Vermelho	Verde	Vermelho	Verde	Amarelo	Vermelho
Armazenamento	UHR	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
	Baterias	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

* Ou custo de armazenamento (US\$/kWh) para UHR e baterias

Gabriel Konzen

Isabela de Almeida Oliveira

Arnaldo dos Santos Junior

E-mail: gabriel.konzen@epe.gov.br

arnaldo.junior@epe.gov.br

isabela.oliveira@epe.gov.br



Avenida Rio Branco, 1 - 11º andar
20090-003 - Centro - Rio de Janeiro

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

Twitter: @EPE_Brasil
Facebook: EPE.Brasil

