

**IMPACTOS DE
MUDANÇAS NA
MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA**





IMPACTOS DE MUDANÇAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Coordenação: **Roberto Kishinami**

A parte econômica foi desenvolvida em parceria com **Andrea Lucchesi** (EACH USP), **Carolina Policarpo Garcia** (doutoranda FGV/SP), **Bruno Toni Pailalol** (mestrando FEA/USP) e **Leonardo Bueno** (estagiário FEA/USP).

Esta publicação recebeu apoio do **Instituto Clima e Sociedade (iCS)**, do **Instituto Arapyá** e da **OAK Foundation**.

Março de 2017.



O Instituto Escolhas é um *think tank*, fundado em 2015, que trabalha para qualificar o debate sobre sustentabilidade, traduzindo numericamente os impactos econômicos, sociais e ambientais das decisões públicas e privadas. Por meio de estudos, análises e relatórios, ampara novas leituras e argumentos capazes de superar a polarização ideológica das escolhas conflituosas inerentes ao planejamento. Somente argumentos qualificados podem sustentar decisões conscientes, permitindo a construção de soluções efetivas para o desenvolvimento sustentável.

A missão do Escolhas é ser referência em ousadia, independência e consistência, usando linguagem matemática para dimensionar e comparar o grau de sustentabilidade das políticas públicas e privadas e produzindo cenários inovadores por meio do cruzamento de informações. Desenvolve a capacidade de processar dados com rigor metodológico, gerando argumentos sólidos, estatísticas sistemáticas e quadros comparativos para subsidiar análises e escolhas decisivas. Trabalha em rede com pesquisas autônomas abertas a perspectivas e pontos de vista plurais, de maneira a superar preconceitos e elucidar fatos e números compreensivelmente.

Conselho Diretor:

Ana Toni (Presidente)
Marcos Lisboa
Fabio Barbosa
Ricardo Sennes
Sergio Leitão

Conselho Fiscal:

Plínio Ribeiro (Presidente)
Zeina Latif
Fernando Furriela

Conselho Científico:

Marcos Lisboa (Presidente)
Bernard Appy
Marcelo Paixão
Rudi Rocha
Sandra Paulsen
Ricardo Abramovay

APRESENTAÇÃO

O debate sobre energia é um dos mais intensos da agenda nacional pelos seus evidentes reflexos sobre a vida dos brasileiros e os interesses econômicos do país. Geralmente, esse debate é feito olhando apenas o aspecto econômico, quando aborda, por exemplo, a composição das tarifas de energia pagas pelos consumidores. Ou então foca-se tão somente na controvérsia sobre os efeitos da adoção de uma determinada fonte de energia, como é o caso da energia nuclear ou da construção de grandes hidrelétricas na Amazônia.

O presente estudo procura injetar elementos novos aos debates sobre o tema no Brasil, a partir da análise conjunta e sistemática dos impactos econômicos, ambientais e sociais que resultariam de diferentes propostas de cenários de energia idealizados para o Brasil.

Esse enfoque traduz fielmente o compromisso do Instituto Escolhas de, por meio dos seus estudos, amparar novas leituras que levem à construção de soluções efetivas para o desenvolvimento sustentável.

Sergio Leitão

Diretor de Relacionamento com a Sociedade do Instituto Escolhas

Acesse o estudo completo em:

<http://escolhas.org/wp-content/uploads/2016/10/Impacto-Matriz-Eletrica-RelatorioFinal-Escolhas.pdf>

Introdução

O setor elétrico é um grande emissor de gases de efeito estufa (GEE) em todo o mundo. Segundo o IPCC¹, a geração de eletricidade e calor foi responsável por aproximadamente 25% das emissões globais em 2010. No Brasil, esse setor respondeu por 7% das emissões em 2014, mas vem crescendo a participação de fontes emissoras de carbono (gás natural, petróleo e carvão) na matriz elétrica nacional. Por outro lado, a NDC brasileira² propõe

uma transição para um sistema de energia com uma participação maior de energias renováveis até 2030.

Nesse sentido, este estudo, desenvolvido pelo Instituto Escolhas, a partir da Plataforma de Cenários Energéticos (PCE), organizada pela Fundação Avina, buscou entender o impacto de diferentes cenários de geração elétrica sobre a economia, o emprego e as emissões de GEE no país.

Plataforma de Cenários Energéticos (PCE)

Participaram da construção da PCE, entre 2013 e 2014, a convite da Fundação Avina, quatro equipes de cenaristas que elaboraram duas projeções cada para a matriz elétrica brasileira em 2050, uma *business as usual* (BAU)³ e outra com Fator de Eficiência Energética (FEE):

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ);

Greenpeace Brasil;

Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), com apoio da Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM);

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Em sete dos oito cenários propostos, a fonte hídrica continua sendo predominante em 2050.

Além disso, todos os cenários indicam priorização de fontes renováveis, com destaque para eólica e solar, além da hidroeletricidade. O gás natural também foi considerado em todos os cenários, em maior ou menor grau, especialmente nos cenários estimados pelo ITA, mas inclusive na matriz do Greenpeace, que prioriza a redução da dependência das fontes fósseis e nuclear. Nos cenários da SATC, a expansão tecnológica a carvão supre parte da oferta de eletricidade por usinas a gás natural.

Além disso, é importante ressaltar que apenas os cenários BAU da Coppe e do Greenpeace incluíram os planos de obras das usinas hidrelétricas previstas pelo governo federal, levando em conta os investimentos e os cronogramas de construção, com a finalidade de compará-los com a matriz ideal sugerida no cenário FEE. Os cenaristas SATC e ITA deram maior relevância ao cenário FEE, tratando do cenário BAU como uma proporção ampliada do cenário de eficiência energética.

¹ Sigla em inglês para Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas das Nações Unidas.

² Sigla em inglês para a contribuição brasileira ao novo acordo da Convenção do Clima (Acordo de Paris).

³ No contexto da PCE, o cenário BAU representa um contraponto ao cenário em que se aplicam as medidas de redução de consumo sobre a forma de eficiência energética.

O setor elétrico e as mudanças climáticas

A questão climática vem influenciando fortemente o setor elétrico no Brasil e no mundo. Duas das maiores crises elétricas recentes no país (2001 e 2015) são consequência da falta de chuvas aliada à falta de planejamento. Enquanto as hidrelétricas continuam apresentando desafios sociais e ambientais, os acidentes nucleares aumentam os custos com sua segurança. Por conta disso, serão necessários avanços tecnológicos na geração eólica e solar para que essas energias ganhem ainda mais competitividade no país, contribuindo para que o Brasil cumpra as metas da NDC no âmbito da COP-21.

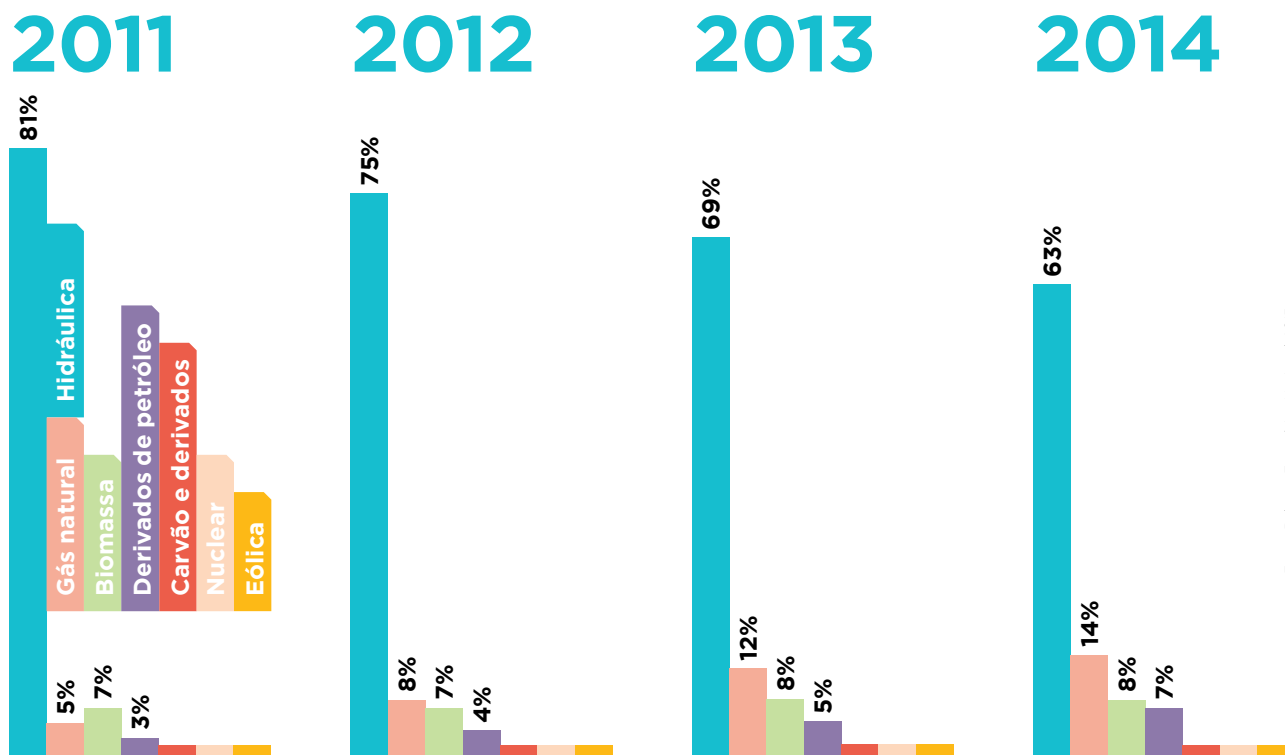
Outros aspectos importantes, como a geopolítica atual, também trazem novos desafios, como a descoberta de grandes jazidas de xisto betuminoso na América do Norte e a viabilidade da exploração do pré-sal no Brasil. A dinâmica de geração para os próximos anos dependerá do custo de geração

de energia de cada uma dessas fontes no futuro próximo, do estímulo dado pelo governo para desenvolvimento de novas tecnologias limpas, de aspectos relacionados à segurança no abastecimento e de mecanismos de incentivos internacionais.

Matriz energética no Brasil e no mundo

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2015), entre 2011 e 2014, a oferta interna de energia elétrica no Brasil cresceu 11%, passando de 531 TWh para 591 TWh. Uma característica marcante no período foi a redução da participação da hidroeletricidade, que diminuiu 12,8% no período (de 428 TWh para 373 TWh). A causa da redução foi um período prolongado de seca em algumas regiões do país e o atraso da entrada em operação de novas usinas hidrelétricas. Em resposta, o governo federal acionou usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis, o que aumentou a participação das demais fontes na geração.

Participação das fontes na geração de energia elétrica no Brasil, 2011-2014

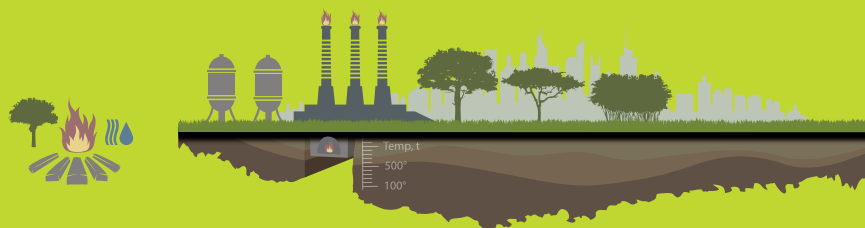


As fontes eólica e biomassa tiveram um significativo crescimento de participação na geração elétrica no período, indicando crescente competitividade frente às fontes mais tradicionais. A oferta de energia eólica mais que triplicou no período e a de biomassa cresceu 22%. Em termos de capacidade instalada, a de energia solar cresceu 15 vezes e a de energia eólica quase 2,5 vezes. Enquanto isso, as fontes termoeletrica e hidraulica têm sua capacidade aumentada em 21% e 8% respectivamente, no período.

Entre 2011 e 2014...

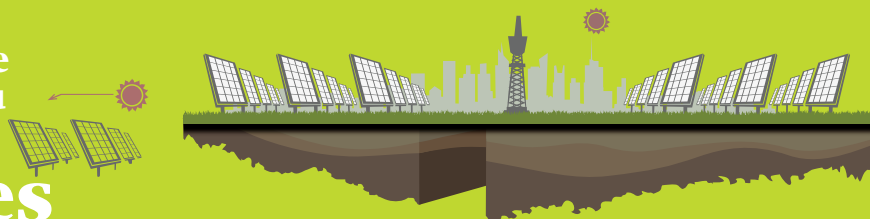
Biomassa:
oferta
aumentou

↗ 22%



Solar: capacidade
instalada cresceu

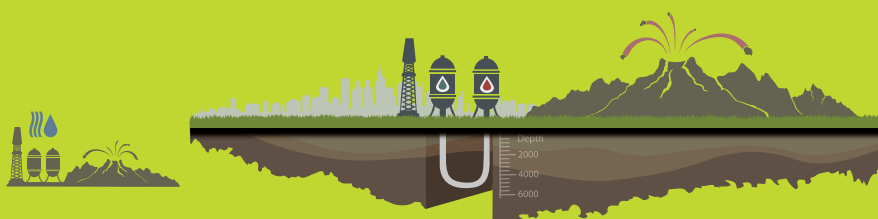
↗ 15 vezes



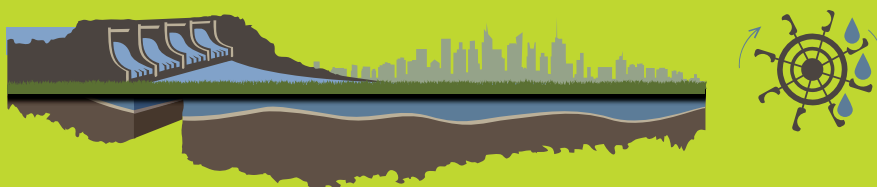
Eólica:
oferta
triplicou



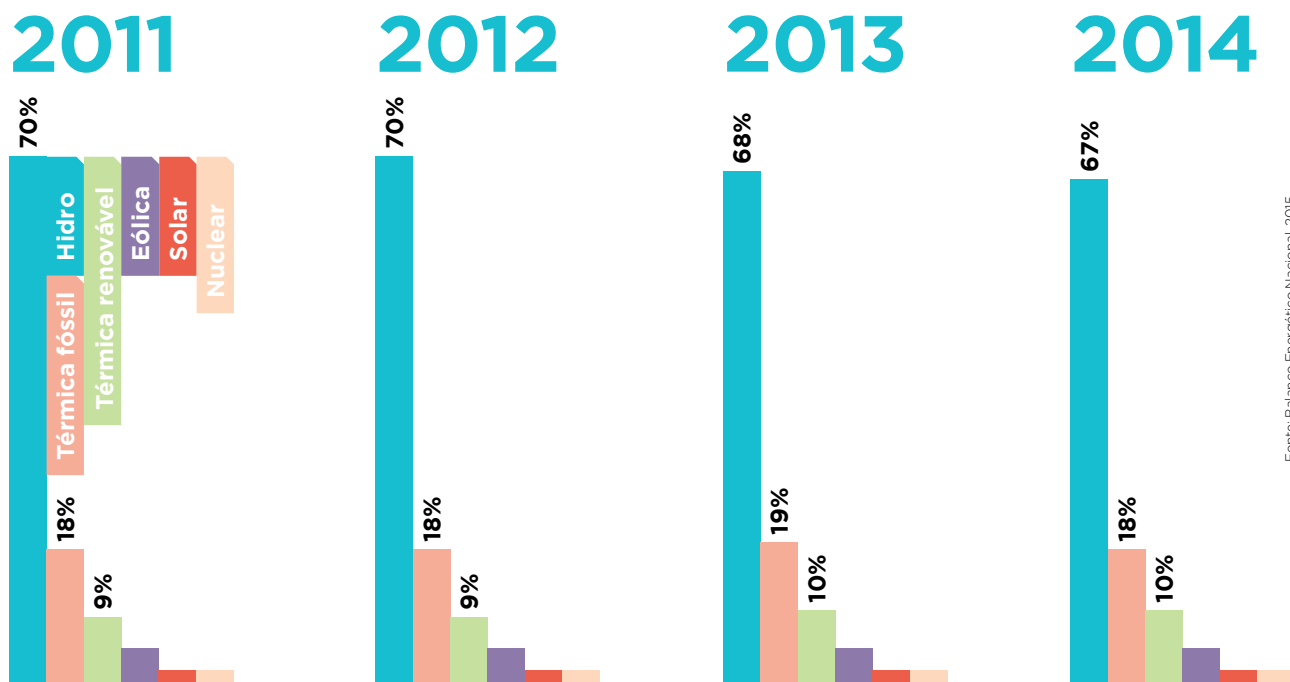
Termoeletrica:
capacidade
instalada
cresceu 21%



Hidraulica:
capacidade
instalada
cresceu 8%



Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW), 2011-2014

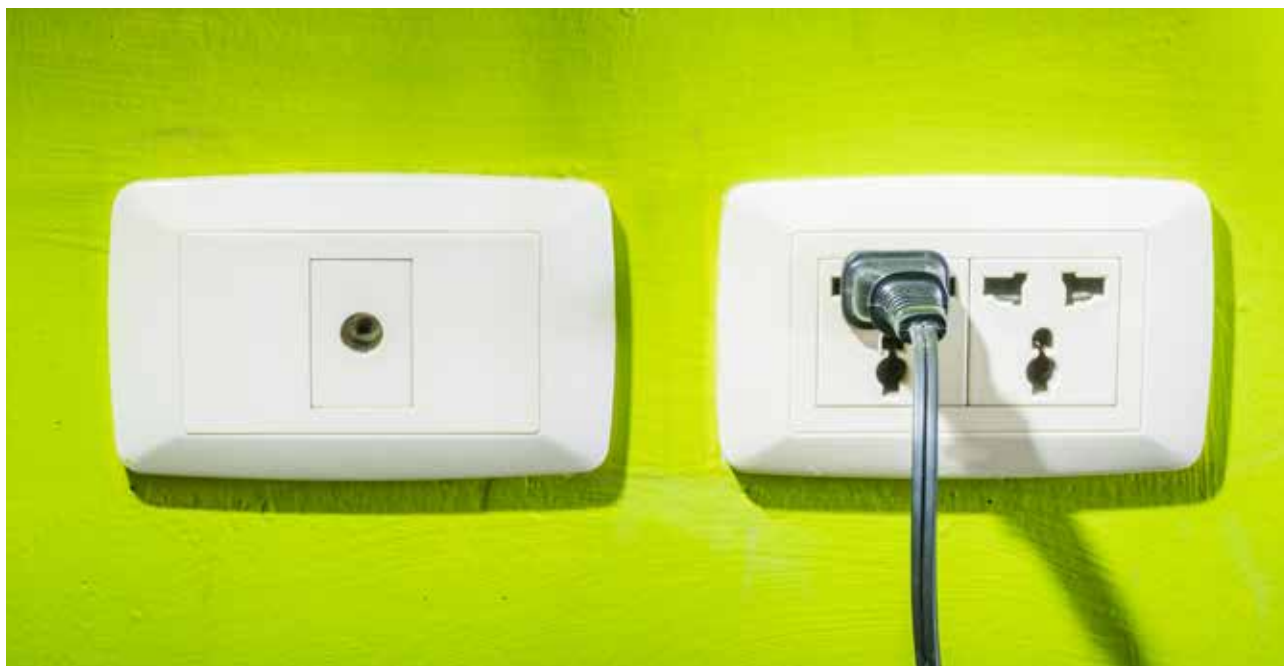


Fonte: Balanço Energético Nacional, 2015.

7

Quando se fala de matriz elétrica mundial, porém, os combustíveis fósseis são a principal fonte em sete dos dez países maiores produtores de energia elétrica no mundo e constituem mais de dois terços da geração mundial. Apenas o Canadá e o Brasil utilizam majoritariamente a energia hidráulica. A principal fonte na França é a energia nuclear. Apesar

disso, a maioria dos países desenvolvidos vem apresentando, nos últimos anos, metas e planos de modificações institucionais para atingir uma produção de eletricidade ambientalmente mais sustentável no médio e no longo prazo, sobretudo após o Acordo de Paris, firmado no final de 2015, na COP-21.



Fontes de Geração de Energia Elétrica no Mundo

País (ano)	Hídrica	Gás Natural	Petróleo derivados	Carvão derivados	Nuclear	Renováveis ^(a)
Todos os países	16,3%	21,7%	4,4%	41,3%	10,6%	5,7%
China (2012)	22,0%	3,0%	3,0%	64,8%	1,0%	6,2%
EUA (2013)	7,0%	27,7%	1,0%	39,0%	19,4%	5,8%
Índia (2014)	16,0%	9,0%	1,0%	59,0%	2,0%	13,0%
Rússia (2011)	20,0%	50,1%	2,6%	15,3%	11,0%	1,0%
Japão (2013)	10,0%	43,0%	14,0%	30,0%	1,0%	2,0%
Canadá (2013)	59,0%	7,0%	7,0%	15,0%	10,0%	2,0%
Alemanha (2013)	3,6%	10,7%	1,1%	44,6%	15,4%	24,6%
França (2012)	11,3%	3,9%	0,8%	3,8%	75,4%	4,7%
Brasil (2013)	68,6%	12,1%	4,7%	2,8%	2,6%	9,3%
Coreia do Sul (2012)	0,5%	27,0%	1,6%	41,4%	29,0%	0,5%

(a) biomassa, eólica e solar.

Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA), International Energy Agency (IEA) e Balanço Energético Nacional (2014).

8

Como foram feitos os cálculos

Os cenários da PCE foram inseridos pelo Instituto Escolhas em uma matriz insumo-produto (MIP) para a economia brasileira, com ano base 2011⁴. Tal metodologia permite estimar qual será a variação da produção, empregos e emissão de gases de efeito estufa em decorrência dos investimentos necessários para gerar as matrizes elétricas propostas pelos cenaristas.

O marco metodológico para a formulação dos cenários foi elaborado pelo grupo de especialistas da PCE e acordado com as equipes de cenaristas, garantindo rigor metodológico na base de dados utilizada, nas matrizes propostas e impactos estimados.

Cada cenarista apresentou duas propostas e impactos estimados, sendo uma para um cenário *Business as Usual* (BAU) e outra para um cenários que refletisse um Fator de Eficiência Energética (FEE). O horizonte de projeção dos cenários foi 2050, tendo como base valores de 2013⁵, e os resultados foram divulgados em 2015.

Detalhes sobre a MIP e como foi aplicada no estudo estão na versão completa deste trabalho, disponível em <http://escolhas.org/biblioteca/estudos-instituto-escolhas/>.

⁴ A MIP 2011 é a mais recente lançada pelo IBGE.

⁵ Dados do Balanço Energético Nacional e dos Planos Decenais de Energia.



Principais impactos de mudança na matriz energética

9

Este estudo busca entender como a reorganização do setor elétrico na direção de aumentar a geração de eletricidade com o uso de fontes renováveis impacta a economia, os empregos e as emissões de GEE de todos os setores do país em um horizonte que vai até 2050.

O choque de investimento proposto é anual em termos percentuais do PIB, ou seja, representa o aumento médio anual de investimentos necessários para se atingir a mudança de mix elétrico a ser alcançada em 2050 (em função do PIB de cada ano), conforme a projeção de cada cenarista.

Impactos gerais

Investimento

A transição para uma matriz elétrica com menos emissões passa necessariamente por maiores investimentos.

Os impactos dos cenários de eficiência energética (FEE) impulsionam mais a economia, por representarem um investimento 52% maior

do que os cenários BAU, ajustados para gerar a mesma quantidade de energia que o FEE.

PIB e Emprego

Os efeitos dos cenários sobre a economia estão diretamente ligados ao nível de investimento necessário para alcançá-los. Conforme o nível de investimento cresce ou quanto mais longo é o período de tempo considerado, os impactos sobre a economia são maiores.

O crescimento do PIB da economia como um todo é maior no cenário FEE, quando comparado ao BAU, para todos os cenaristas, com exceção do ITA. Esse crescimento decorre do fomento às atividades econômicas correlatas.

Todos os cenários em 2030 e 2050 apontam para um crescimento maior do PIB e do nível de emprego no cenário FEE, quando comparado ao cenário BAU. Além disso, conforme o nível de investimento cresce, os impactos sobre a econômica são maiores.

Efeito total dos investimentos em geração de energia elétrica sobre empregos para os anos de 2012, 2030 e 2050 (todos os cenaristas)

2012	Unidades por 1 ano			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	243.747	202.474	-41.274	0,24%	0,20%	-0,04
Greenpeace	350.918	706.133	355.215	0,35%	0,71%	0,36
ITA	536.260	278.354	-257.907	0,54%	0,28%	-0,26
SATC	249.594	202.284	-47.310	0,25%	0,20%	-0,05

2030	Unidades por 1 ano			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	225.117	333.183	108.066	0,21%	0,31%	0,1
Greenpeace	298.531	630.751	332.220	0,28%	0,59%	0,31
ITA	567.405	380.421	-186.984	0,53%	0,36%	-0,18
SATC	254.952	355.829	100.877	0,24%	0,33%	0,09

2050	Unidades por 1 ano			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	222.140	412.072	189.932	0,19%	0,36%	0,17
Greenpeace	291.925	685.241	393.316	0,26%	0,60%	0,34
ITA	417.431	473.048	55.617	0,37%	0,41%	0,05
SATC	236.933	453.347	216.415	0,21%	0,40%	0,19

Efeito total dos investimentos em geração de energia elétrica sobre empregos para os anos de 2012, 2030 e 2050 (todos os cenaristas)



11

Emissões

Todos os cenaristas projetam quedas nas emissões de GEE no longo prazo. A queda no cenário FEE do ITA é a maior, mais do que compensando o aquecimento da economia gerado pelos investimentos. Diferentemente dos impactos sobre PIB e empregos, os impactos sobre GEE aumentam ao longo do tempo, chegando a 6% no cenário ITA-BAU.

As diferenças entre os cenários BAU e FEE em relação às emissões de GEE são bastante substanciais, chegando a uma economia de 4,1 MtCO₂e/ano para o cenarista ITA (em 2030), que apresentou as maiores diferenças entre BAU e FEE.

Efeito total dos investimentos em geração de energia elétrica sobre emissões de GEE, para os anos de 2012, 2030 e 2050 (todos os cenaristas)

2012	tCO ₂ e			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	117.221	91.044	-26.176	0,58%	0,45%	-0,13
Greenpeace	162.397	288.962	126.564	0,81%	1,44%	0,63
ITA	254.862	135.111	-119.751	1,27%	0,67%	-0,6
SATC	124.438	97.041	-27.397	0,62%	0,48%	-0,14

2030	tCO ₂ e			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	526.313	467.137	-59.175	0,96%	1,61%	0,65
Greenpeace	244.241	498.282	254.041	1,08%	1,79%	0,71
ITA	5.156.526	1.052.520	-4.104.007	6,01%	2,59%	-3,42
SATC	468.792	477.897	9.104	1,06%	1,59%	0,53

2050	tCO ₂ e			%		
Cenarista	BAU	FEE	Var.	BAU	FEE	Var. p.p.
COPPE	1.350.196	967.220	-382.976	1,28%	3,03%	0,0175
Greenpeace	1.531.345	511.052	-1.020.293	1,85%	3,54%	0,0169
ITA	1.752.324	2.641.219	888.895	2,05%	4,28%	0,0223
SATC	1.353.781	654.248	-699.533	1,35%	3,35%	0,02

Impactos Setoriais

Os impactos no PIB a partir da matriz elétrica brasileira são mais significativos nos setores geradores de energia elétrica. No caso dos demais setores, os impactos são pequenos (entre 1% e

2%). Isso acontece porque o efeito sobre esses setores é indireto e decorrem de investimentos realizados nos setores produtores de eletricidade.

PIB

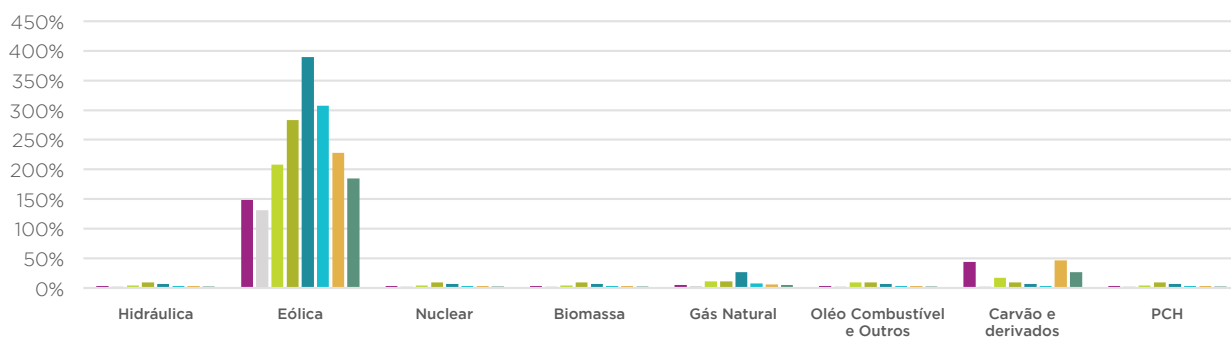
Há forte impacto no setor eólico em todos os cenários em 2012, com crescimento do PIB do setor em quase 400%.

Em 2030, os destaques são os setores de energia hidráulica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH),

com elevação de 500% no cenário ITA-FEE.

Em 2050, há um crescimento mais igualitário entre as fontes, pois a maior parte dos investimentos já foi feita e os setores, antes pequenos, atingiram as participações desejadas nas matrizes projetadas.

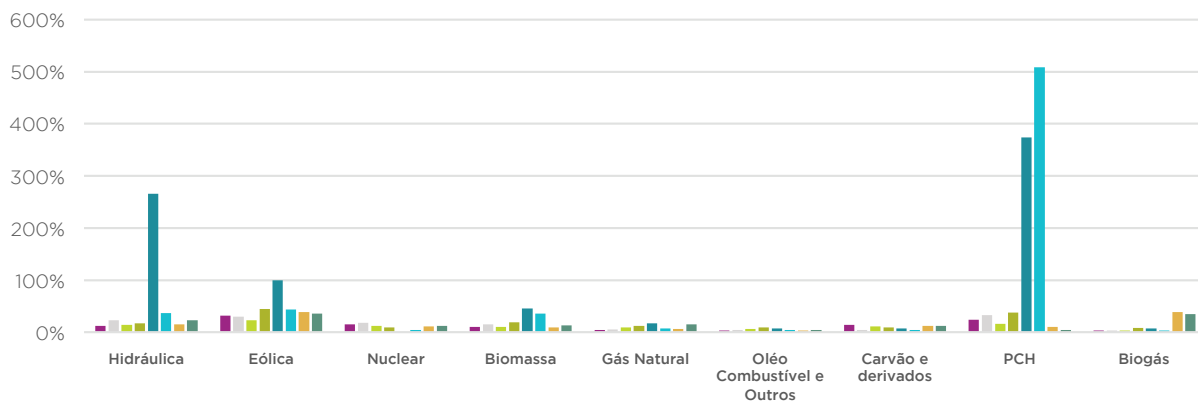
Variação % no PIB dos setores produtores de energia elétrica (2012)



13

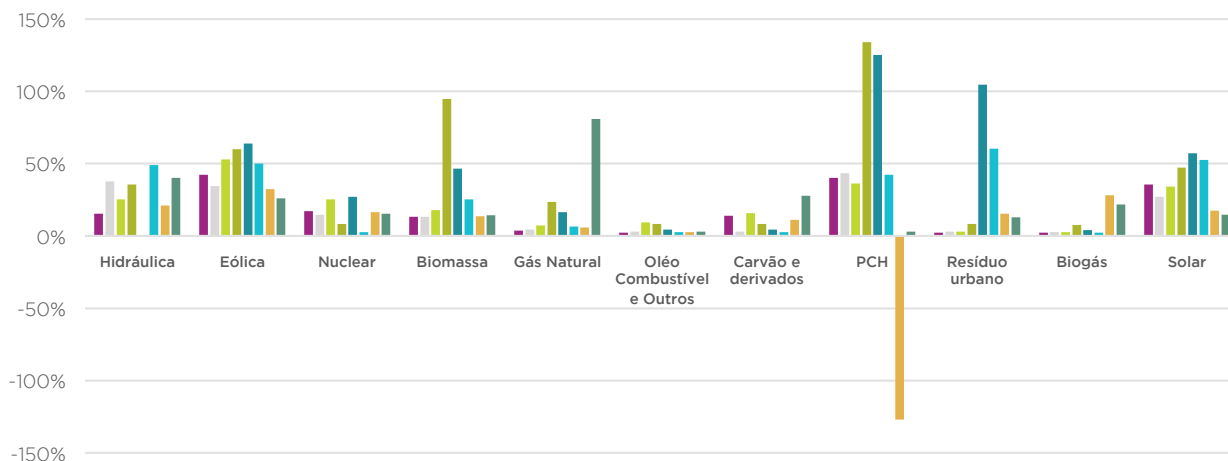
COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

Variação % no PIB dos setores produtores de energia elétrica (2030)



COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

Variação % no PIB dos setores produtores de energia elétrica (2050)



COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

Emprego

Os impactos nos setores de energia oceânica, resíduos urbanos e biogás são zero, pois não houve investimentos nessas fontes.

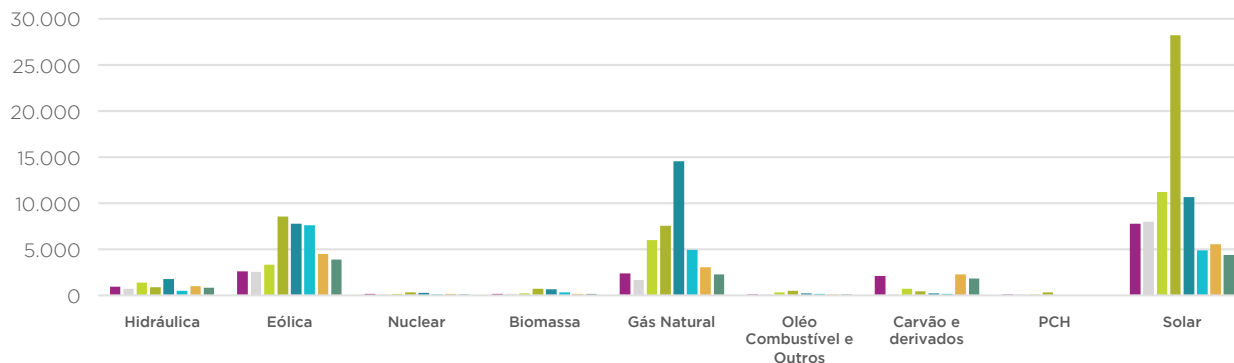
Os destaques são os setores solar, gás natural e eólica, que geraram empregos da ordem de 28 mil em 2012, 11 mil em 2030, e 8 mil em 2050.

Em 2030, os impactos no setor de energia solar permanecem elevados, chegando a 30 mil empregos. Outros setores começam a ganhar destaque, como hidráulica e biomassa.

O mesmo ocorre em 2050, quando a energia solar gera aproximadamente 50 mil novos empregos.

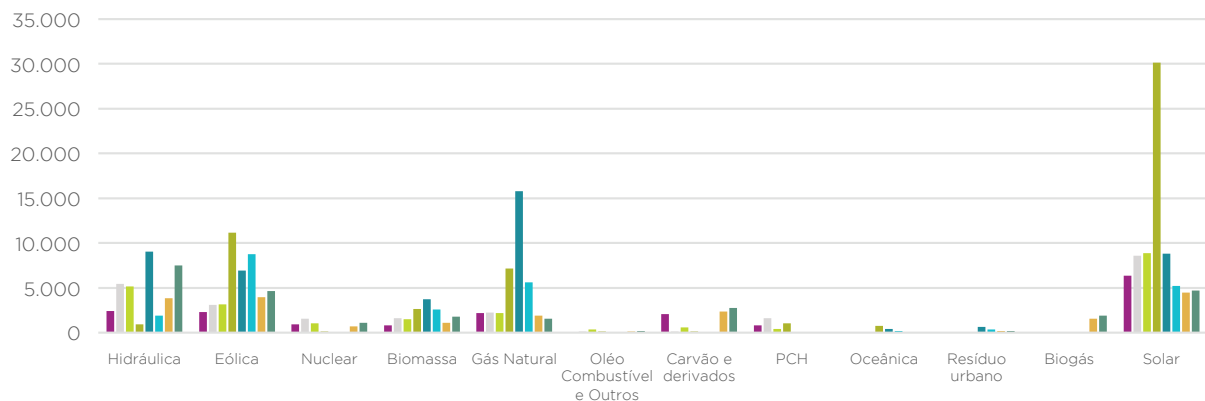
14

Variação no número de empregados dos setores produtores de energia elétrica (unidades por ano - 2012)



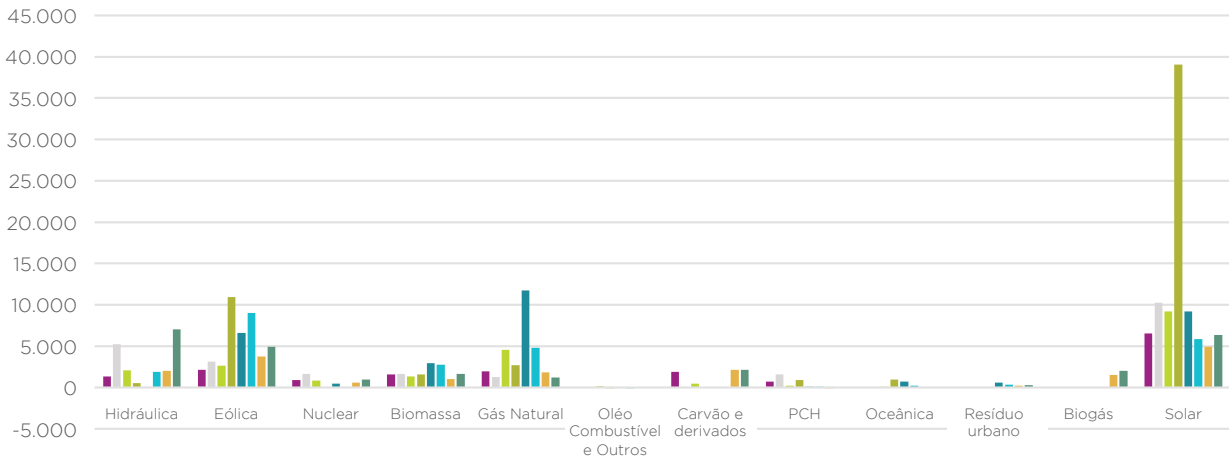
COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

Variação no número de empregados dos setores produtores de energia elétrica (unidades por ano - 2030)



COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

Variação no número de empregados dos setores produtores de energia elétrica (unidades por ano - 2050)



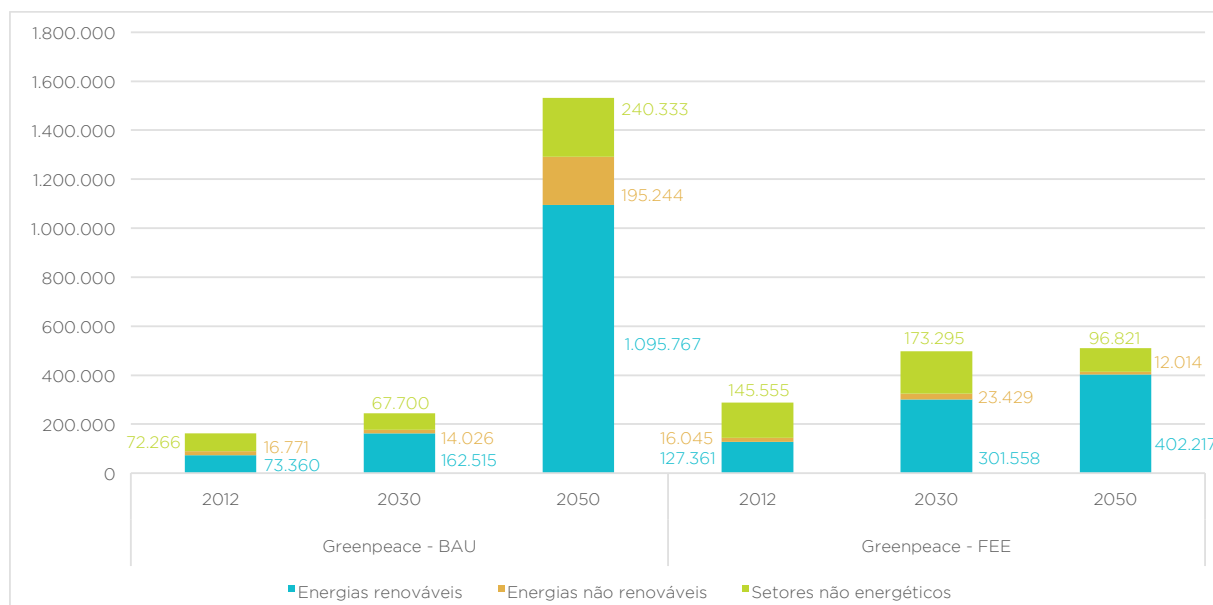
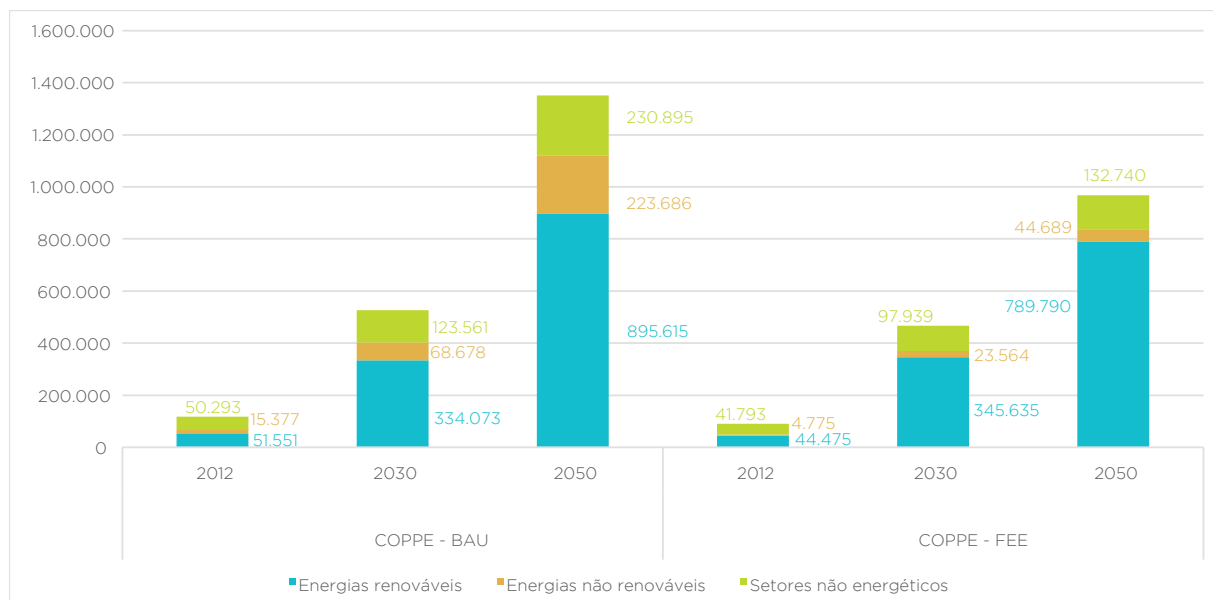
COPPE - BAU | COPPE - FEE | Greenpeace - BAU | Greenpeace - FEE | ITA - BAU | ITA - FEE | SATC - BAU | SATC - FEE

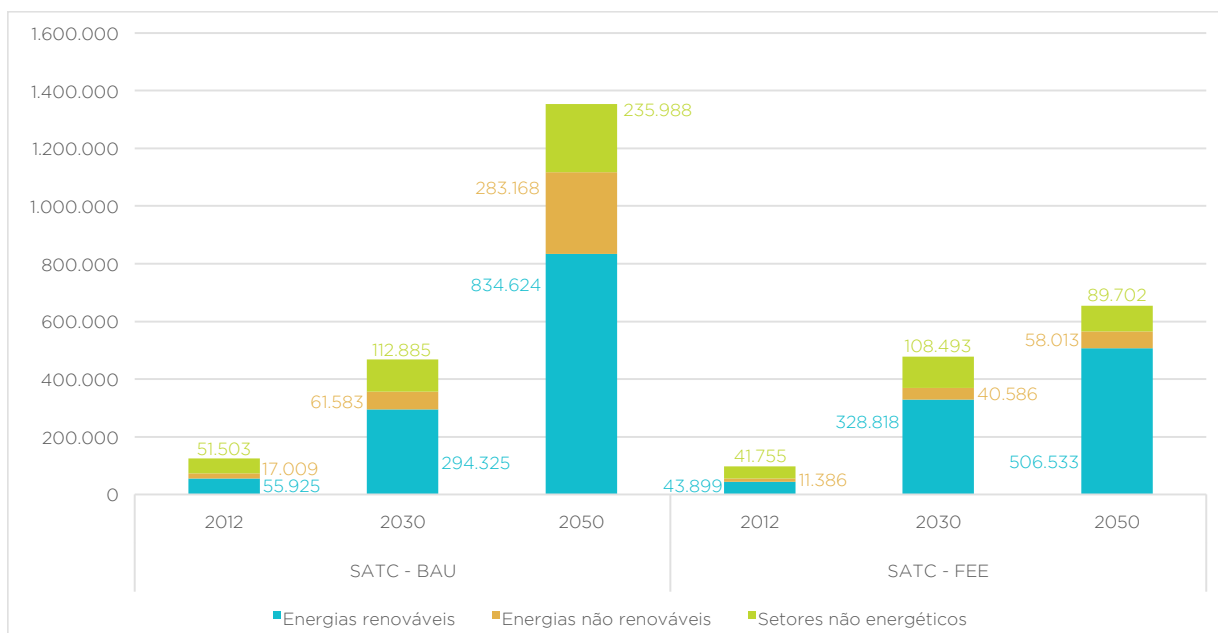
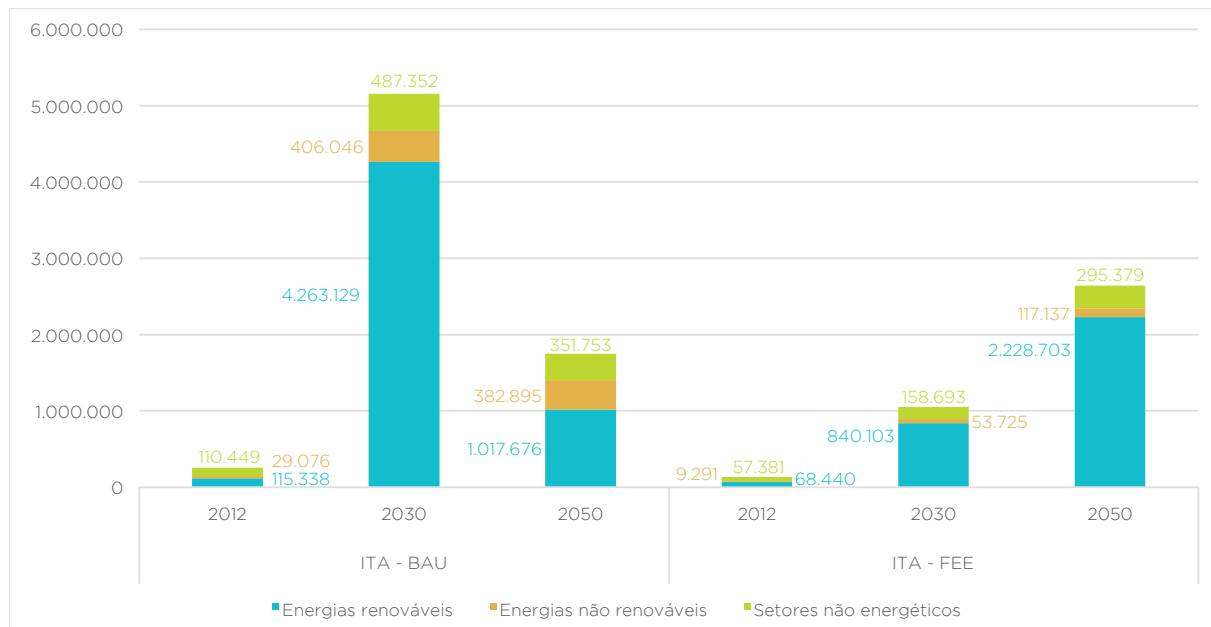
Emissões

Os cenários FEE apresentam menores emissões para quase todos os cenaristas devido aos ganhos de eficiência, tanto nos setores de energias renováveis, quanto nos setores não renováveis e setores não energéticos. Isso só não acontece no cenário ITA, pois o crescimento do PIB apresentado no cenário

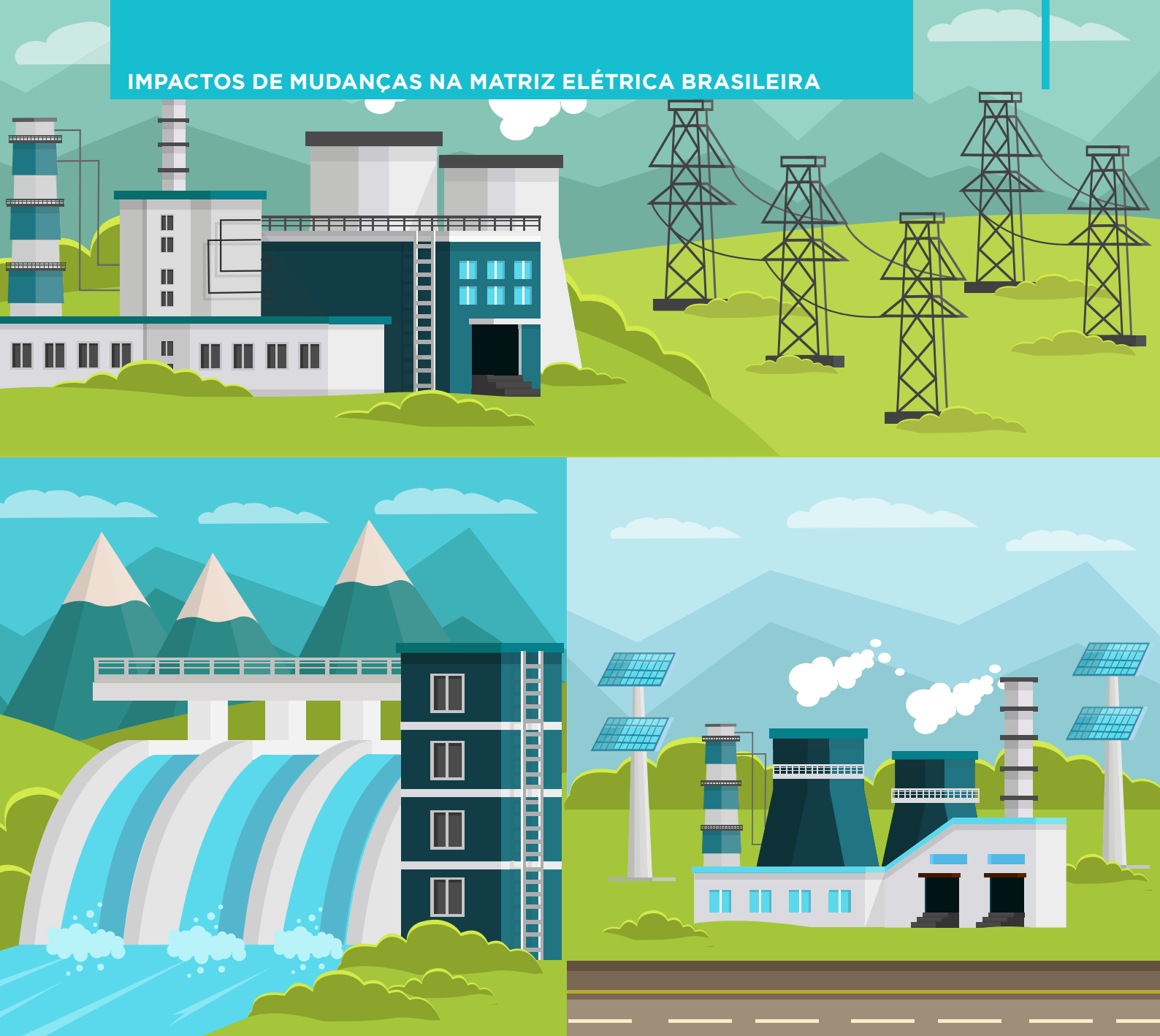
BAU é superior ao crescimento apresentado pelo FEE (em 2012 e 2030, igualando-se em 2050). No caso do Greenpeace, como o crescimento do PIB no cenário FEE é muito superior ao cenário BAU (em especial em 2030 e 2050), entende-se que a variação das emissões são proporcionalmente menores no cenário FEE.

Variação na emissão de GEE para todos os cenaristas (tCO₂e emitidas - 2012, 2030 e 2050)





IMPACTOS DE MUDANÇAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA



CONCLUSÕES

O estudo indica que a opção por uma matriz elétrica focada em fontes renováveis, com crescimento significativo de energias limpas como solar, biomassa e eólica, trazem impactos líquidos positivos para a economia no médio e longo prazo. Esses impactos positivos devem-se ao fomento da economia, observado pelo impacto no PIB dos setores elétricos e pela economia de custo gerada após a realização dos referidos investimentos,

ao impacto social, pelo aumento expressivo do número de empregos e, principalmente, às emissões de GEE, que contribuem para o atingimento das metas estabelecidas na NDC brasileira. Os benefícios líquidos apontam a viabilidade econômica de políticas de incentivo para que o planejamento energético de longo prazo caminhe na direção da segurança energética aliada à maior eficiência e à redução do impacto ambiental.

Organização responsável: **Instituto Escolhas**

Coordenação editorial: **Maura Campanili,**

Sérgio Leitão e Shiguo Watanabe Jr.

Edição de texto: **Maura Campanili**

Tradução: **Freetalk Idiomas**

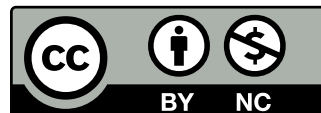
Edição de Arte: **Brazz Design**

Av. das Nações Unidas 10.989, conj. 102, sala 5,
São Paulo, SP, CEP: 04.578-000

www.escolhas.org

siga Instituto Escolhas  @_escolhas

  **Linked in**



Licença Creative Commons

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.



Apoio Institucional:



FURRIELA ADVOGADOS