

## **EXPANSÃO DA GERAÇÃO ELÉTRICA NA BAHIA ATÉ 2050 COM BASE NAS NOVAS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS<sup>1\*</sup>, EDNILDO ANDRADE TORRES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia Industrial, UFBA, Salvador-BA, alex\_caeel@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Dr. em Engenharia Mecânica, Prof. DEQ, EP-UFPB, Salvador-BA, ednildo@ufba.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O planejamento energético é uma questão estratégica e fundamental para qualquer país ou região que almeje assegurar desenvolvimento e prosperidade para sua população. A Matriz Elétrica Brasileira necessita ampliar-se e diversificar-se para garantir a segurança energética nacional e, simultaneamente, manter sua predominância renovável. Isto só é possível mediante um planejamento energético coerente e políticas públicas adequadas. Com base nisto, este trabalho é um estudo exploratório sobre o setor elétrico na Bahia e no Brasil. Ele avalia cenários de oferta/demanda de energia elétrica de 2013 até 2050, tendo como ênfase o potencial de crescimento da geração concentrada pelas novas fontes renováveis eólica, solar fotovoltaica e biomassa na Bahia e considerando alguns indicadores de sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento Energético, Energia Eólica, Energia Solar Fotovoltaica, Biomassa, Bahia.

### **EXPANSION OF ELECTRICITY GENERATION IN BAHIA TO 2050 BASED ON NEW RENEWABLE ENERGY**

**ABSTRACT:** Energy planning is strategic and fundamental for any country or region that aims to ensure development and prosperity for its people. The Brazilian Electric Matrix needs to expand and diversify to ensure national energy security and simultaneously maintain its predominance in renewable sources. This is possible only through a coherent energy planning and appropriate public policies. On this basis, this work is an exploratory research about the electricity sector in the State of Bahia and in the rest of Brazil. It aims to assess electricity supply/demand scenarios for 2013 to 2050, focusing on the potential growth of concentrated generation based on wind, solar photovoltaic and biomass new renewable sources in Bahia and considering some sustainability issues.

**KEYWORDS:** Wind Energy, Photovoltaic Solar Energy, Biomass, Energy Planning, Bahia.

### **INTRODUÇÃO**

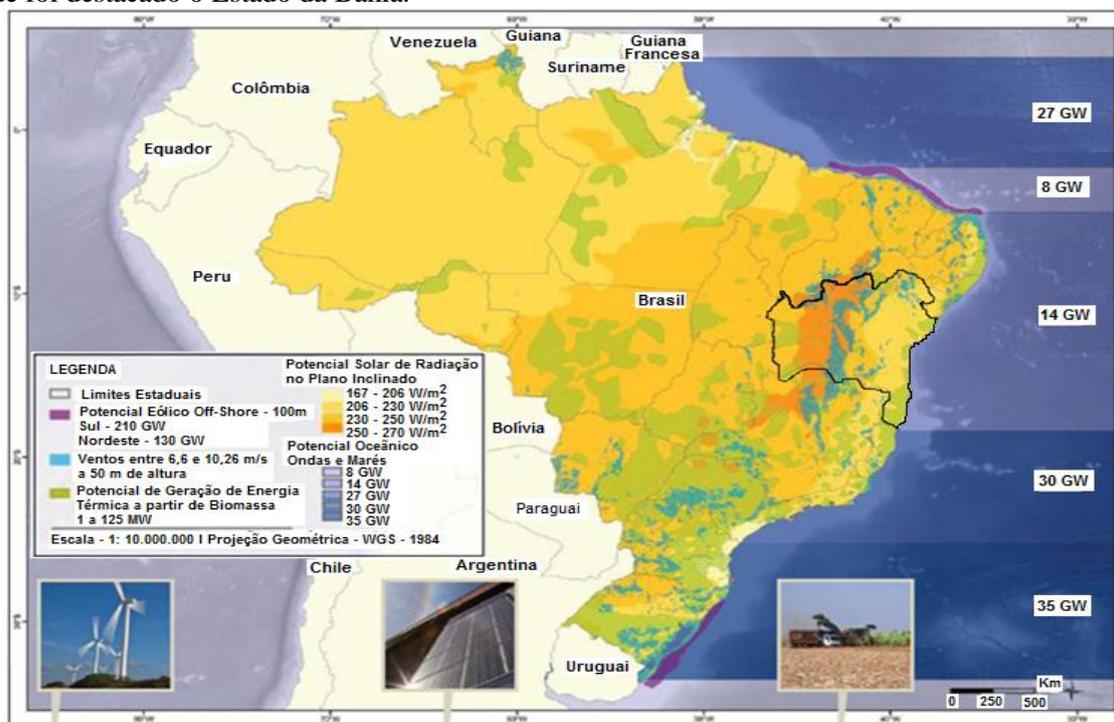
Considerando a enorme importância estratégica do planejamento e gestão de políticas públicas para a área de energia em muitos aspectos da sociedade moderna, estudos específicos nesta área para a Bahia e o Brasil são importantes para garantir perspectivas mais positivas e maior segurança energética e sustentabilidade do desenvolvimento econômico. Além disso, a inserção das novas fontes renováveis na matriz energética do Brasil e da Bahia necessita de melhor compreensão, buscando: analisar as condições mais adequadas para a sua expansão; desenvolver um conjunto de informações objetivas e abrangentes sobre o uso dessas fontes; e cobrir as diversas dimensões envolvidas.

A geração centralizada foi escolhida porque já existe uma tendência de investimentos em andamento neste modo de geração elétrica com energias renováveis e seu grande potencial oferece oportunidades de atração de investimentos para a nova expansão, além de reforço e otimização da infraestrutura de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Segundo Santos (2015), Imperial e Pereira (2014), De Jong & Torres (2014), Sulyok (2014) e Uchôa (2011), a relevância das energias renováveis aumentou significativamente nos últimos anos. A Bahia teve pioneirismo em estudos sobre energias renováveis (SEPLANTEC, 1979a;

SEPLANTEC, 1979b; Torres et al., 1983) e tem um vasto potencial para a geração elétrica renovável, especialmente as energias eólica, solar e biomassa (Figura 1), que em conjunto podem ser suficientemente elevadas para atender a demanda estadual em 2050 e ainda gerar excedente para o SIN. Assim, com planejamento e políticas públicas adequadas para o setor de energia, muitos empreendimentos para geração elétrica poderão ser concretizados e promoverão ganhos econômicos, sociais e ambientais significativos e consistentes.

Figura 1. Mapa de Potenciais de Energias Renováveis no Brasil elaborado pelo GreenPeace em 2014, onde foi destacado o Estado da Bahia.



Fonte (Adaptado): <http://cbem.com.br/wp-content/uploads/2011/12/COPPE.pdf>, acessado em 01/07/2016.

O objetivo desta pesquisa é realizar um estudo exploratório sobre o setor energético na Bahia e no Brasil para avaliar cenários de oferta/demanda de energia elétrica de 2013 até 2050, com a ênfase no potencial de crescimento da geração centralizada pelas fontes renováveis eólica, solar fotovoltaica e de biomassa na Bahia e considerando os pilares da sustentabilidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho referenciou-se nos Planos Nacionais de Energia (PNE 2030 e PNE 2050) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2007, EPE, 2014a e EPE, 2014b), em outros documentos orientadores do planejamento energético e em pesquisas acadêmicas. Os dados primários foram pesquisados em base de dados técnico-científicos nacionais e internacionais de domínio público, disponíveis na Internet em quase sua totalidade, e as informações diversas foram organizadas e apresentadas ao longo desta dissertação.

Foram elaborados 3 cenários nacionais de demanda elétrica e comparados com 3 cenários baianos de oferta elétrica, baseados no potencial de crescimento de novas energias renováveis, fazendo-se em seguida especificações das contribuições conjuntas das energias eólica, solar e de biomassa adicionadas à hidráulica. Houve cruzamento de informações entre os diversos cenários de demanda x oferta, gerando-se nove possibilidades da contribuição de energia eólica para o Brasil e a Bahia (Tabela 3). Para projetar três cenários brasileiros de demanda e três cenários baianos de oferta em relação à energia elétrica, foram utilizados recursos computacionais do *software microsoft excel* e métodos estatísticos simples de extrapolações por meio de *projeções lineares* (Equações 1 e 2) para os *cenários baianos de geração concentrada de eletricidade* e de *projeções não-lineares* (Equação 3) para os *cenários brasileiros de demanda elétrica*, conforme apresentado na Figura 2 (Santos, 2015).

Figura 2. Equações utilizadas para elaborações das projeções.

Equação 1	Equação 2
$P_{(TWh)} = 8.760 * N * (CI_{(MW)} * FC) / 1.000.000$ <p>Onde:                      P = Geração Total de Energia Elétrica em Terawatt-hora (TWh) no ano;                      N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050;                      CI = Capacidade Instalada em Megawatt (MW);                      FC = Fator de Capacidade inerente a cada tecnologia de fonte energética.</p>	$P_{BA(TWh)} = 8.760 * N * [(CI_{Eol} * FC_{Eol}) + (CI_{Sol} * FC_{Sol}) + (CI_{Bio} * FC_{Bio})] / 1.000.000$ <p>Onde:                      P<sub>BA</sub> = Geração Total de Energia Elétrica em Terawatt-hora (TWh) na Bahia;                      N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050;                      CI<sub>Eol</sub> = Contratação de Capacidade Instalada em Megawatt/Ano (MW/Ano) eólicos;                      CI<sub>Sol</sub> = Contratação de Capacidade Instalada em MW/Ano solares fotovoltaicos;                      CI<sub>Bio</sub> = Contratação de Capacidade Instalada em MW/Ano de Bioeletricidade;                      FC<sub>Eol</sub> = Fator de Capacidade adotado para a geração eólica igual a 40,1%;                      FC<sub>Sol</sub> = Fator de Capacidade adotado para a geração solar fotovoltaica igual a 18,9%;                      FC<sub>Bio</sub> = Fator de Capacidade adotado para a geração de bioeletricidade igual a 60,0%.</p>
$D_{BR(TWh)} = 516,3 * (1 + C)^N$ <p>Onde:                      D<sub>BR</sub> = Demanda Total por Energia Elétrica em Terawatt-hora (TWh) no ano;                      C = Taxa de crescimento anual da demanda em TWh;                      N = Quantidade de anos variando de 1 a 37, correspondendo a 2013 até 2050.</p>	

Os três cenários baianos de oferta de eletricidade com inserção da geração por fontes renováveis por contratações anuais de capacidade instalada via leilões do Governo Federal foram definidos em duas etapas. Na 1ª etapa, foram estimados nove cenários parciais, sendo três para cada tipo de energia renovável, com base em projeções lineares (Equações 1 e 2), sobre o potencial de oferta elétrica da Bahia por meio de contratações de capacidade instalada para geração centralizada das energias eólica, solar fotovoltaica e de biomassa. Os cenários parciais 1 correspondem aos cenários de maiores contratações de capacidade instalada. Os cenários parciais 2 correspondem aos cenários de contratações intermediárias (mais prováveis) da contratação de capacidade instalada. Os cenários parciais 3 correspondem aos cenários de menor contratação. A Tabela 1 (Santos, 2015) mostra as referências para embasar as projeções de expansão para os três cenários parciais por fonte.

Tabela 1. Parâmetros e referências para projeções de cenários parciais de contratação na Bahia.

Tipos de Fonte Energética	Cenários Parciais na Bahia	Contratação Anual de Capacidade Instalada		Fator de Capacidade	
		(MW/Ano)	Referência	Valor	Referência
Eólica	Cenário parcial 1	700,0	Estimativa majorada da média real	40,1%	MME, 2014b
	Cenário parcial 2	677,6	Média real da série histórica de 2009-2014		
	Cenário parcial 3	500,0	Estimativa de 25% da contratação mínima de 2.000 MW/Ano		
Solar	Cenário parcial 1	700,0	Estimativa majorada equiparada à eólica	18,9%	EPE, 2014g
	Cenário parcial 2	400,0	Valor arredondado da 1ª contratação histórica do LER 2014.		
	Cenário parcial 3	300,0	Estimativa para 30% da contratação mínima dos 1.000 MW/Ano		
Biomassa	Cenário parcial 1	50,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 50,0 MW por ano	60,0%	MME, 2015
	Cenário parcial 2	30,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 30,0 MW por ano		
	Cenário parcial 3	10,0	Estimativa de implantação de uma UTE de 30,0 MW a cada 3 anos		

Na 2ª etapa, os cenários parciais de energia e os cenários de impactos foram agrupados e somados conforme suas numerações, de forma a sintetizar três cenários gerais baianos na Tabela 3 e Figura 3 (Santos, 2015). Estes cenários gerais 1, 2 e 3 correspondem respectivamente aos cenários de maior contratação total, contratação intermediário total (mais provável) e menor contratação total de MW/Ano dos três tipos de energias renováveis em conjunto. Também foram feitas estimativas dos impactos futuros causados por esta geração de energia elétrica das novas fontes renováveis baseadas em critérios econômicos, sociais e ambientais de sustentabilidade na Tabela 2 (Santos, 2015).

Tabela 2. Parâmetros para as Estimativas dos Indicadores de Sustentabilidade.

Tipo de Fonte Energética	Estimativas para os indicadores de sustentabilidade escolhidos							
	Impacto Economico		Impacto Social		Impactos Ambientais			
	Investimentos		Empregos gerados		Redução de Emissões		Economia de água	
	Milhões de R\$/MW	Referência	Empregos/MW	Referência	t CO <sub>2</sub> /MWh	Referência	Litros/MWh	Referência
Eólica	4,2	Garbe, De Mello e Tomaselli, 2014	15	Simas, 2012	0,1554	MCTI (2015)	1,065 milhões	MMA, 2014
Solar	4,7	CCEE, 2014	33					
Biomassa	5,0	SDE, 2015b	5		Emissões Neutras	Protocolo de Quito, 1997		

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando uma combinação de todas as novas energias renováveis disponíveis, eólica, solar e de biomassa, adicionada à geração hidrelétrica já existente na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) para sintetizar o potencial baiano para geração elétrica por fontes renováveis, as projeções e cenários obtidos no período entre 2013 e 2050, são apresentadas na Figura 3 e nas Tabelas 3 e 4 (Santos, 2015).

Figura 3. Três Projeções de Consumo no Brasil e três Projeções de Oferta da Bahia para a Eletricidade de 2013 até 2050.

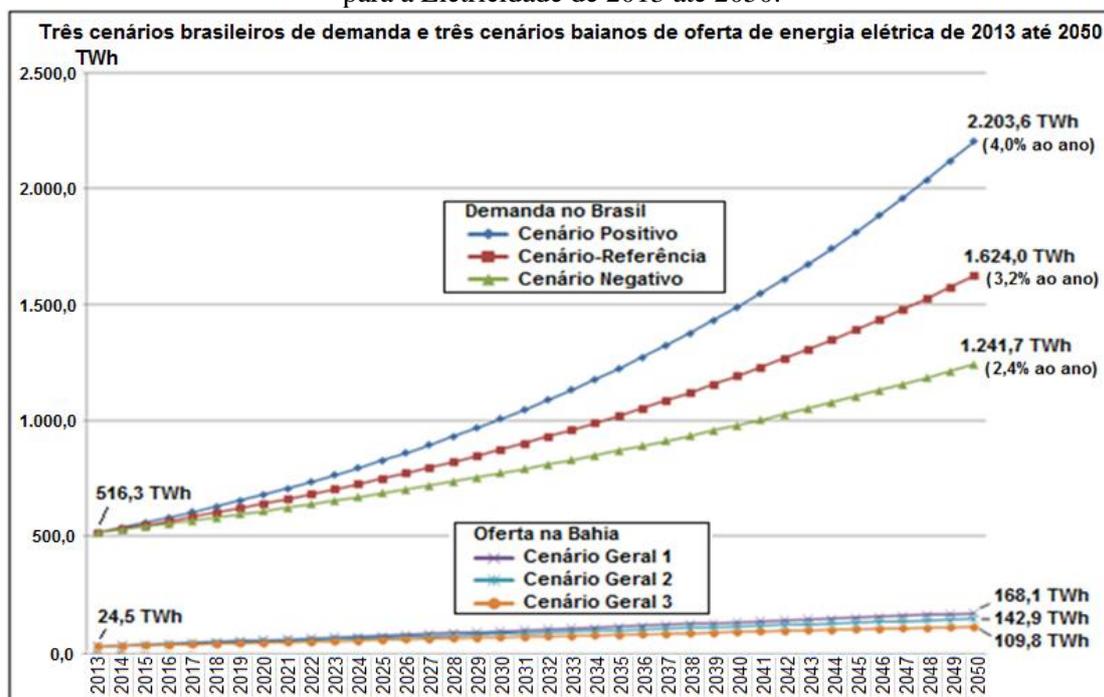


Tabela 3. Cenários Brasileiros de Demanda e Cenários Gerais Baianos de Oferta de Energia Elétrica por Fontes Renováveis em 2050.

Demanda do BRASIL por Energia Elétrica em TWh		Demanda máxima Elétrica Baiana ( 6,0 % da Demanda do Brasil) em TWh	Oferta de Energia Elétrica da BAHIA em TWh		Porcentagem da Demanda Brasileira atendida pela Oferta Baiana	Situação da BAHIA em relação ao SIN
Referência de 2013	516,3	26,3	Oferta de 2013	24,5	5,1%	Déficit
Cenário-Referência 2050	1.624,0	97,4	Cenário Geral 1	168,1	10,4%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	8,8%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	6,8%	Superávit
Cenário Otimista 2050	2.203,6	132,2	Cenário Geral 1	168,1	7,6%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	6,5%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	5,0%	Déficit
Cenário Pessimista 2050	1.241,7	74,5	Cenário Geral 1	168,1	13,5%	Superávit
			Cenário Geral 2	142,9	11,5%	Superávit
			Cenário Geral 3	109,8	8,8%	Superávit

Tabela 4. Três Cenários Gerais de Energias Renováveis na Bahia em 2050.

	Cenário Geral 1	Cenário Geral 2	Cenário Geral 3
Capacidade Instalada Total (MW)	53.650,0	40.981,2	29.970,0
Geração Adicionada ao SIN (MWh)	143,6	118,4	85,3
Geração Total de Eletricidade (TWh)	168,1	142,9	109,8
Investimentos (Milhões de R\$)	239.760	180.409	131.720
Nº de Empregos/Ano	33.850	23.514	17.450
Redução de Emissões (Gt CO <sub>2</sub> )	20,8	17,5	13,0
Economia de água (Trilhões de Litros)	153,0	126,1	90,9

Desta forma os três cenários nacionais de demanda de eletricidade estimados foram: 1.241,7 TWh, 1.624,0 TWh (EPE, 2014b) e 2.203,6 TWh, e três cenários baianos de oferta de

eletricidade foram: 109,8 TWh, 142,9 TWh e 168,1 TWh. Em seguida, o cruzamento de informações entre cenários nacionais de demanda e cenários baianos de oferta apresentou oito cenários gerais apontando a Bahia como futura exportadora plena de eletricidade para o Brasil contra um único cenário geral de futura importação baiana de eletricidade. Também foi estimado que a Bahia poderá ter: ganhos socioeconômicos com investimentos entre R\$ 132 bilhões e R\$ 240 bilhões e a criação/manutenção entre 17.450 e 33.850 empregos; e ganhos ambientais com redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) entre 13,0 e 20,8 Gt CO<sub>2</sub> e economia de água entre 90,9 e 152,9 trilhões de litros para as hidrelétricas da CHESF.

## CONCLUSÃO

Este estudo indica que o Estado da Bahia apresenta excelentes condições para a expansão da geração elétrica por meio das fontes de energia eólica, solar e de biomassa. Em quase todos os cenários elaborados, a Bahia passa a ser exportadora de energia elétrica para o SIN, passando a ter uma considerável segurança energética. Além disto, as perspectivas de geração de empregos, de redução nas emissões de GEE's e de economia da água nas hidrelétricas da CHESF são excelentes, o que viabilizaria uma situação praticamente ideal em termos de sustentabilidade. Para tanto, basta que o planejamento energético nacional e os leilões realizados pelo Governo Federal mantenham as condições plenamente factíveis apresentadas neste estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

## REFERÊNCIAS

- De Jong, Pieter; Torres, Ednildo Andrade. Economic analysis of renewable energy generation technologies in the Northeast of Brazil. Proceedings of 2014 International Conference on Future Environment and Energy (ICFEE), Melbourne, 2014. CD ROM.
- Empresa de Pesquisa Energética. EPE. Série Estudos Econômicos: Nota Técnica DEA 12/14 – Cenário Econômico 2050, Plano Nacional de Energia 2050, Rio de Janeiro, 2014a.
- EPE. Série Estudos da Demanda de Energia: Nota Técnica DEA 13/14 – Demanda de Energia 2050, Plano Nacional de Energia 2050, Rio de Janeiro, 2014b.
- EPE. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro, 2007.
- Imperial, Lucas da Costa Corte; Pereira, Osvaldo Lívio Soliano, Análise do potencial do recurso solar na Bahia a partir de software de informação geográfica baseado na WEB, V Congresso Brasileiro de Energia Solar (V CBENS), Recife, 2014. CD ROM.
- Santos, José Alexandre Ferraz de Andrade. Planejamento Energético para a Bahia em 2050: Cenários e Discussões relacionados às Energias Renováveis para Geração de Eletricidade. 246f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia (UFBA). Salvador, 2015.
- Subsecretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia. SEPLANTEC. Potencial de Energia Solar do Estado da Bahia. Governo do Estado da Bahia com a colaboração do Instituto Nacional de Meteorologia do 4º Distrito. Salvador–BA, 1979a.
- SEPLANTEC. Potencial Eólico do Estado da Bahia. Governo do Estado da Bahia com a colaboração do Instituto Nacional de Meteorologia do 4º Distrito. Salvador–BA, 1979b.
- Sulyok, Csaba. The effects of solar photovoltaic power generation on electricity prices in Brazil until 2050. International Colloquium Bioenergy & Biofuels: United States and Brazil Partnership. 2014.
- TORRES, Ednildo Andrade, FROTA, Francisco Ivaldo A., DE OLIVEIRA, Hermano Peixoto. Bahia – Avaliação do Potencial dos Resíduos Vegetais para fins Energéticos RL 83–007–09–PE–0. PROENERGIA – Programa de Energia, Projeto “Matriz Energética do Estado da Bahia”, Convênio Nº 44.820.0551.00 - FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos)/CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento)/SME (Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia). Camaçari–BA, 1983.
- Uchôa, Arthur de Oliveira, Potencial de Geração de Energia Elétrica a partir de Biomassa no Estado da Bahia. 48f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), UFBA, Salvador, 2011.