



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GAT/13

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - IV**

**GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

**REPRESENTAÇÃO MULTIÁREA DO SIN PARA FINS DE ANÁLISE DE CONFIGURAÇÕES QUE EXIJAM INTERAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS ELÉTRICOS E ENERGÉTICOS - APLICAÇÃO AO CASO DA AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO AO DESPACHO DAS USINAS DA REGIÃO NORTE**

**SILVA, R.J.R.G.D.(\*)  
ELAN**

**MELO, P.A.D.  
ELAN**

**LIMA, A.F.A.  
ANDESA**

**DANTAS, Y.S.  
ANDESA**

**VALENÇA, R.  
ANDESA**

**FILHO, J.S.V.D.N.  
ANDESA**

**RESUMO**

Já se observa uma tendência crescente e irreversível da participação de fontes de geração eólica, biomassa, termelétrica e solar. A variabilidade natural das fontes, principalmente, eólica e solar exigirá flexibilidade operacional do Sistema Interligado Nacional - SIN para possibilitar a sua integração ao sistema elétrico garantindo a otimização energética e a segurança operacional. Isso representa um grande desafio para o planejamento da expansão e para a operação do sistema de transmissão, considerando a necessidade de se caracterizar, desde o momento da concepção dos empreendimentos, restrições internas aos subsistemas, que tenham impactos importantes no despacho destas fontes geradoras, com consequências relevantes na respectiva comercialização.

A representação do SIN, através da modelagem a subsistemas equivalentes, para fins de análise de situações que exijam uma efetiva interação entre os aspectos elétricos e energéticos, parece ter atingido seus limites. Isto é uma consequência da redução significativa da participação da geração hidrelétrica cuja principal característica é a concentração em bacias hidrográficas cujos limites são bem definidos, além de grandes reservatórios de regularização com a carga concentrada em grandes centros, na sua maioria urbana, atendida através de grandes troncos de transmissão bem caracterizados.

Neste trabalho é apresentado um modelo computacional que entendemos ser adequado para o tratamento dos aspectos elétrico e energético de forma conjunta, permitindo a identificação de soluções com tempo de resposta reduzido, utilizando ferramentas compatíveis com os objetivos pretendidos. Assim sendo, é possível se analisar várias alternativas de geração e transmissão de forma integrada, incluindo, se necessário, os aspectos da comercialização.

**PALAVRAS-CHAVE**

Modelagem, Interação Eletro-Energética, Representação Multiárea, Subsistemas Equivalentes.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Neste cenário de diversificação da matriz elétrica, as interligações regionais terão um papel relevante na otimização do suprimento energético ao país. A avaliação do grau de importância destas dependerá de estudos que identifiquem a relação entre o custo de implantação de fontes locais e o custo de implantação e expansão destas interligações, especialmente quanto à parcela relativa à confiabilidade; isto é, considerar o comparativo entre os custos de expandir a transmissão versus os custos de implantação de fontes geradoras regionais.

Nesse contexto de diversificação deve-se procurar, no momento do planejamento da expansão do SIN, um equilíbrio entre a economia de escala associada aos grandes empreendimentos, com menores custos unitários e a flexibilidade de implementação associada aos empreendimentos de menor porte, com maiores custos unitários. Além disso, na etapa da operação, deverão ser levados em conta os sinais locais associados aos despachos

das diferentes fontes geradoras em função de sua localização na malha de transmissão. Com isto, objetiva-se introduzir, no processo de programação da operação, uma visão integrada geração-transmissão como um processo contínuo de redespacho da geração, visando reduzir/eliminar possíveis restrições sistêmicas.

## 2.0 - OBJETIVO

O trabalho desenvolvido, o qual teve como foco principal identificar os impactos das restrições da transmissão sobre as usinas da região Norte, identificou claramente as limitações da representação a subsistemas equivalentes quanto à caracterização da interação entre as questões elétricas e energéticas na definição do despacho máximo da usina.

A dificuldade foi superada através do uso de uma representação multiárea onde fica bem caracterizada a questão do Balanço Carga – Geração frente às capacidades limites de transmissão entre as áreas. Esta representação alternativa foi fundamental para reduzir o tempo de resposta das análises, adotando modelagem e grau de precisão compatíveis com o objetivo pretendido, possibilitando analisar várias alternativas de geração e transmissão de forma integrada, tendo uma visão preliminar dos impactos das restrições de transmissão sobre o despacho máximo das usinas hidroelétricas da região Norte, principalmente as maiores, Tucuruí e Belo Monte.

O uso dessa metodologia permitiu analisar os efeitos das restrições existentes nos grandes troncos de interligação do SIN, da redução da vazão do rio São Francisco e do despacho da geração eólica na região Nordeste sobre o despacho máximo das usinas da região Norte.

## 3.0 - SISTEMA ANALISADO

A figura 1 apresenta o sistema elétrico de interesse para a simulação e a figura 2 apresenta o sistema simulado, considerando a representação multi área e as agregações efetuadas.

A partir do sistema de interesse mostrado na figura 1, é feita uma agregação, resultando na representação de equivalentes para cada um dos “nós”, considerados pontos importantes do Sistema envolvido para a análise pretendida, resultando no diagrama da figura 2.

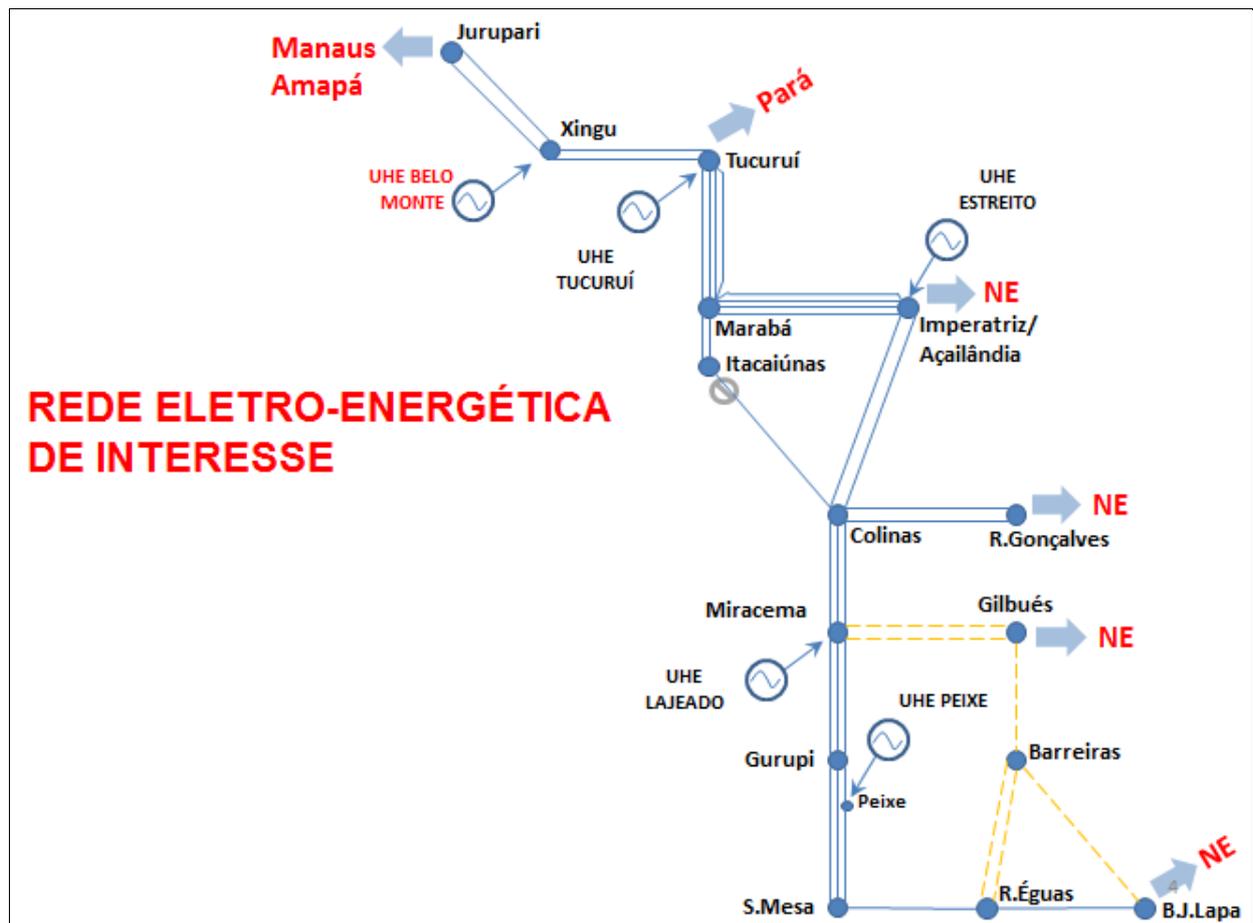


Figura 1 – Rede Eletro-Energética de Interesse para o trabalho

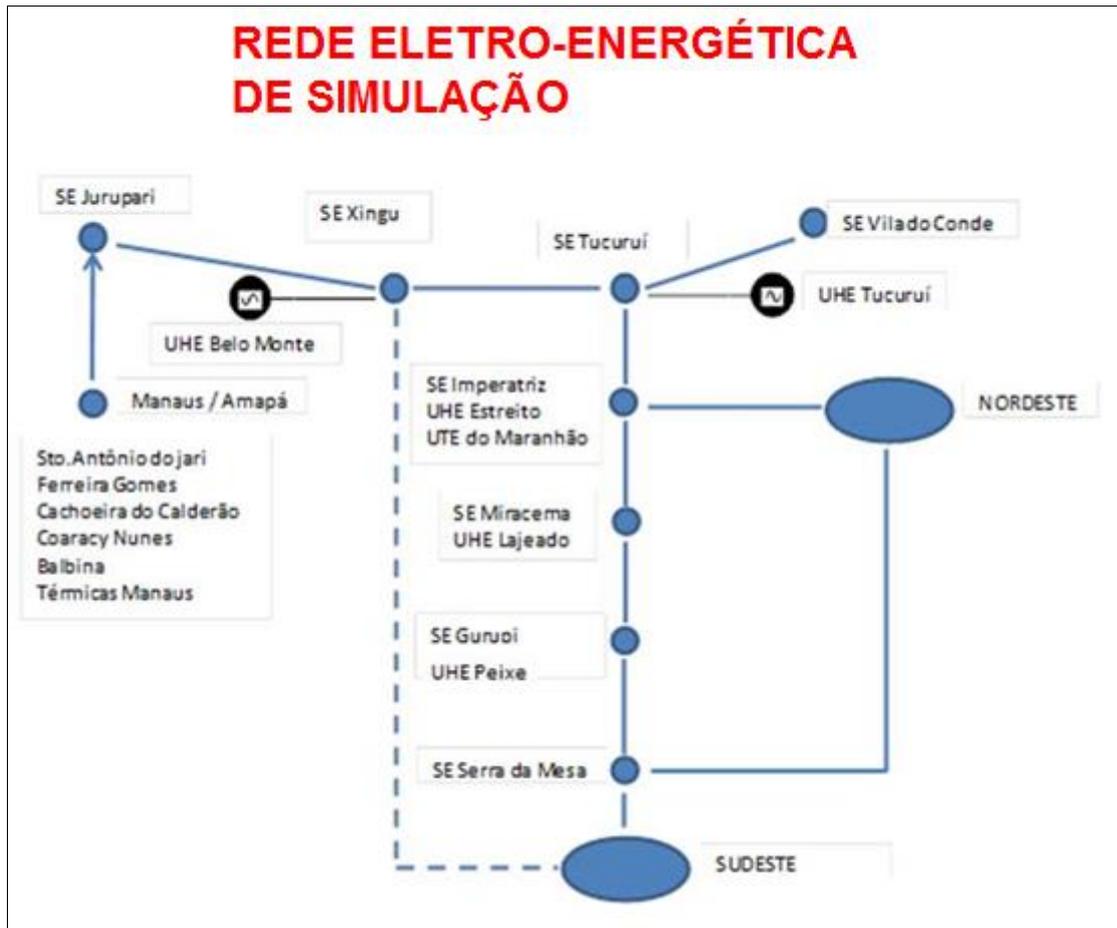


Figura 2 – Rede Eletro-Energética modelada para o desenvolvimento do trabalho.

#### 4.0 - PROCESSO DE ANÁLISE

Para cada “nó” representado é feito o balanço Carga x Geração, em MW médios, mês à mês, em cada ano estudado e para cada configuração analisada, levando em conta os fluxos de energia dos elos à montante e a geração e cargas locais. Os valores de geração hidroelétrica foram estimados considerando a ocorrência da Média de Longo Termo. No caso das usinas do Rio São Francisco, considerou-se nos seus despachos, as vazões reduzidas em função das condições hidrológicas atuais.

Salienta-se que também é possível introduzir cenários hidrológicos utilizando a série históricas ou series sintéticas de vazões, o que possibilita análises probabilísticas dos resultados.

No caso específico destas simulações, foi feita uma análise de sensibilidade do atraso dos bipolos de corrente contínua que transportam grande parte da energia gerada no rio Xingu para a região Sudeste.

A partir dos resultados dos estudos elétricos, foram introduzidos no modelo, as restrições de transmissão e os limites de recebimento de energia da região Nordeste.

Nesta representação, os montantes de importação de energia da região Norte para a região Nordeste foram estabelecidos no balanço Carga x Geração da Região, levando em conta a vazão do Rio São Francisco, a geração térmica inflexível e despacho de geração eólica e solar. Para o caso do suprimento ao mercado da Região Norte (região Manaus/Macapá), foram considerados os valores mínimos de geração local para atendimento aos critérios de segurança estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema – ONS.

Considerando os parâmetros acima citados, a partir do balanço carga X geração em cada “nó”, foram estimadas as restrições impostas ao despacho de geração hidroelétrica da região Norte.

O processo pode ser resumido no fluxograma da figura 3 a seguir, onde se tem uma visão macro das informações requeridas e das análises efetuadas.

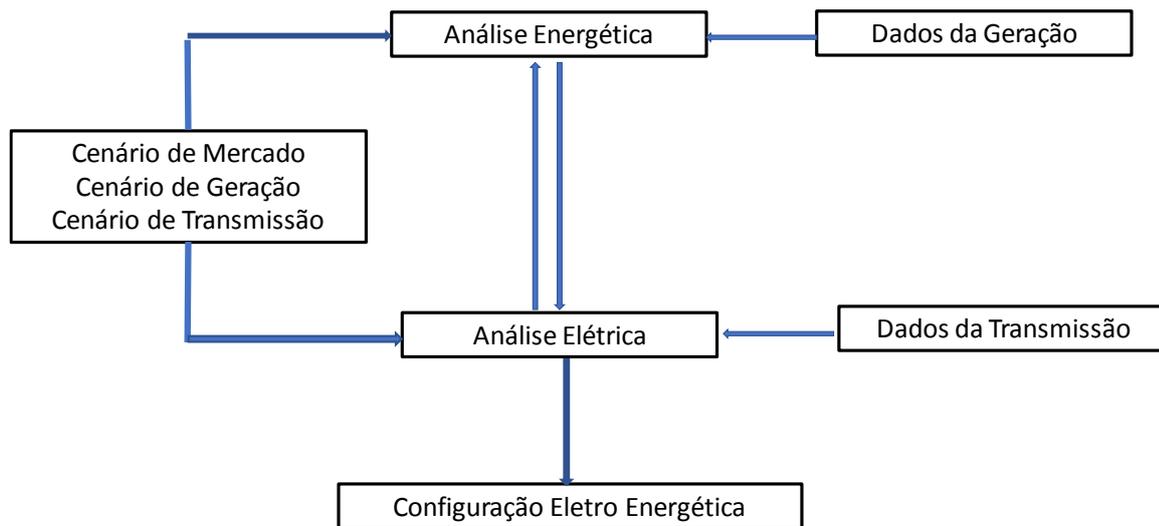


Figura 3 – Diagrama do processo

## 5.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Com o objetivo de apresentar, em caráter apenas ilustrativo, os principais resultados obtidos da aplicação da metodologia, selecionou-se, dentre os anos e configurações analisadas, o ano 2018, considerando o caso que seria mais crítico, com a operação do sistema sem o 1º bipolo de corrente contínua, conforme mostrado na tabela 1 na página seguinte.

## 6.0 - CONCLUSÕES

Como o objetivo do artigo não foi apresentar os resultados de um caso específico, mas o potencial da metodologia utilizada, podem ser ressaltados os comentários resumidos a seguir:

- A forma como os resultados obtidos são apresentados, mostra o potencial da metodologia proposta no sentido de contribuir para a redução das lacunas, do ponto de vista analítico, atualmente existentes no processo de análise do sistema eletro energético, especialmente no que se refere à integração geração/transmissão;
- A utilização do conceito de Análise Multiáreas amplia a capacidade analítica das equipes técnicas ao mostrar, de forma estruturada, os fluxos energéticos entre estas áreas, destacando em especial os congestionamentos resultantes dos despachos da geração em cada uma delas;
- Os resultados apresentados demonstram a factibilidade da proposta, mesmo para um sistema do porte do que foi analisado neste trabalho, fornecendo subsídios para avaliação das restrições de transmissão resultantes dos requisitos de geração em cada área e seus impactos, inclusive, nos aspectos vinculados à comercialização de energia.

É fundamental se reduzir o tempo de resposta das análises, adotando modelagens e grau de precisão compatíveis com os objetivos pretendidos, analisando várias alternativas de geração e transmissão de forma integrada. Esta metodologia permite se ter uma visão preliminar do custo global das diferentes possibilidades para a expansão do SIN; além disso, na etapa de planejamento e programação da operação, possibilita ao analista uma avaliação, de forma rápida, de estratégias de despacho mesmo antes de sua implementação pelos Centros de Operação, sem depender de modelos matemáticos baseados em algoritmos que exigem tempos longos de processamento.

Tabela 1 – Demonstrativo dos resultados obtidos

<b>2. MERCADO ENERGÉTICO</b>	<b>2018</b>	<b>SEM</b>	<b>BIPOLO</b>	<b>VALORES EM MWmédio</b>		
<b>JURUPARI</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Cachoeira do Caldeirão - Amapá	96	179	219	219	219	219
Ferreira Gomes - Amapá	107	202	252	252	252	252
Santo Antonio do Jarí - Amapá	152	238	301	373	373	373
Balbina - Amazonas	77	117	150	205	238	211
Coaracy Nunes - Amapá	78	78	78	78	78	78
Térmicas de Manaus	620	620	620	620	620	620
Carga Manaus + Amapá	1397	1408	1432	1438	1420	1371
Balanço	-267	26	188	309	360	382
Fluxo Juruparí - Xingú	-267	26	188	309	360	382
<b>XINGU</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Capacidade instalada em Belo Monte	5499	5499	5499	6110	6110	6110
Número máquinas em Belo Monte	9	9	9	10	10	10
Capacidade instalada em Pimental	239	239	239	239	239	239
Número máquinas em Pimental	6	6	6	6	6	6
Geração em Belo Monte - Hidrograma B	5499	5499	5499	6110	6110	4320
Geração em Pimental	103	150	239	239	239	188
Geração em Belo Monte + Pimental	5602	5649	5738	6349	6349	4508
Fluxo Juruparí - Xingú	-267	26	188	309	360	382
Capacidade do bipolo	0	0	0	0	0	0
Balanço SE Xingú	5335	5675	5926	6658	6709	4890
Fluxo Xingu - Sudeste	0	0	0	0	0	0
Fluxo Xingu - Tucuruí - (Lim.3600)	3600	3600	3600	3600	3600	3600
<b>TUCURUI</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Fluxo Xingu - Tucuruí	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Geração Tucuruí	5673	6788	7260	7629	7214	4655
Carga Vila do Conde	3021	3046	3098	3110	3073	2966
Balanço na SE Tucuruí	6252	7342	7762	8119	7741	5289
Fluxo Tucuruí - Imperatriz (Lim. 8.000)	6252	7342	7762	8000	7741	5289
<b>IMPERATRIZ</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Fluxo Tucuruí - Imperatriz	6252	7342	7762	8000	7741	5289
Geração Estreito	1087	1087	1087	1087	661	377
Térmicas do Maranhão	242	242	242	242	242	242
Carga do Maranhão	1295	1305	1328	1333	1317	1271
Balanço SE Imperatriz	6286	7366	7763	7996	7327	4637
Exportação para o Nordeste	2307	2923	3060	3060	2822	2089
Fluxo Imperatriz - Miracema	3980	4442	4703	4936	4505	2548
<b>NORDESTE</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Geração hidráulica	3228	3180	3110	3007	2899	2821
Geração eólica	4934	4249	3446	3023	4354	4988
Geração térmica inflexível	571	571	571	571	571	571
Carga Nordeste	11296	11248	11420	11291	10959	10701
Necessidade de Importação pelo NE	-2563	-3248	-4293	-4690	-3135	-2321
Limite de recebimento do Nordeste	3400	3400	3400	3400	3400	3400
Recebimento por Imperatriz	<b>2307</b>	<b>2923</b>	<b>3060</b>	<b>3060</b>	<b>2822</b>	<b>2089</b>
Recebimento por Serra da Mesa	<b>256</b>	<b>325</b>	<b>340</b>	<b>340</b>	<b>314</b>	<b>232</b>
Térmica flexível	0	0	<b>893</b>	<b>1290</b>	0	0
Balanço do Nordeste	0	0	0	0	0	0
<b>MIRACEMA</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Fluxo imperatriz - Miracema	3980	4442	4703	4936	4505	2548
Geração Lajeado - Carga	779	889	889	645	218	49
Balanço SE Miracema	4759	5331	5592	5581	4723	2597
Fluxo Miracema - Gurupí	4759	5331	5592	5581	4723	2597
<b>GURUPI</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Fluxo Miracema - Gurupí	4759	5331	5592	5581	4723	2597
Geração Peixe Angical	452	452	452	452	297	195
Balanço SE Gurupí	5211	5783	6044	6033	5020	2793
Fluxo Gurupí - S. da Mesa (Lim.4450)	<b>4450</b>	<b>4450</b>	<b>4450</b>	<b>4450</b>	<b>4450</b>	<b>2793</b>
<b>RESUMO DAS RESTRIÇÕES</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
Restrição nas usinas da região Norte	<b>2496</b>	<b>3408</b>	<b>3921</b>	<b>4759</b>	<b>3678</b>	<b>1290</b>

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) RELATÓRIO TÉCNICO ANDESA / ELAN – RT-04-10.16 – “Avaliação dos impactos das restrições do sistema de transmissão na geração e na contabilização da energia da UHE Belo Monte – Estudos Energéticos”

(2) Modelo de simulação NEWAVE – Manual de referência

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Roberto José Ribeiro Gomes da Silva, nascido em 04/08/1948 na cidade do Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UFPE em 1971. Atualmente exerce o cargo de Diretor da Elan Consultores Associados.



Pedro Alves de Melo, nascido em 29/06/1947 na cidade de Serra Rodonda – PB, Graduado pela Escola Politécnica de Campina Grande – UFPB. Atualmente trabalha como consultor independente na área de estudos energéticos.



Antônio Fernando Almeida Lima, nascido em 14/03/1954 na cidade de Garanhuns-PE, Graduado pela Escola de Engenharia da UFPE em 1978. Atualmente exerce o cargo de Diretor da Andesa – Consultoria em Energia Elétrica e da Consespe Engenheiros Associados S/S LTDA.



Yendys Sydney Dantas, nascido em 16/01/1949 na cidade de Caicó-RN, Graduado pela Escola de Engenharia da UFPB-Campina Grande em 1973. Atualmente exerce o cargo de Diretor da Andesa – Consultoria em Energia Elétrica e da Consespe Engenheiros Associados S/S LTDA.



Rodrigo B. Valença, nascido em 02/03/1987 na cidade do Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UPE em 2009. Atualmente exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na Consespe Engenheiros Associados S/S LTDA (ANDESA).



José Sandro V. do N. Filho, nascido em 03/02/1987 na cidade do Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UPE em 2009. Atualmente exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na Consespe Engenheiros Associados S/S LTDA (ANDESA).