



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

CB/GPL/30

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

**DESAFIOS PARA A EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO PARA ATENDIMENTO ÀS REGIÕES  
METROPOLITANAS – CASO DA GRANDE SÃO PAULO**

**Marcos Affonso dos Santos(\*)  
CTEEP**

**Mariana Pires Monteiro  
CTEEP**

**Daniel José Tavares de Souza  
EPE**

**RESUMO**

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), constituída pela capital do estado de São Paulo e mais 38 municípios, é onde estão instalados importantes complexos industriais, comerciais e, principalmente, financeiros, que controlam as atividades privadas no País. Diante dessas características, considerando a expectativa de retomada de crescimento econômico do país e consequente retomada do aumento de carga da região estudada, tem-se um grande desafio para o planejamento que é de projetar um sistema elétrico flexível e robusto, de forma que seja capaz de atender às necessidades de desenvolvimento e, ao mesmo tempo, seja viável do ponto de vista técnico-econômico.

**PALAVRAS-CHAVE**

Planejamento de Expansão da Transmissão, RMSP - Região Metropolitana São Paulo, Linhas de Transmissão Subterrâneas, Subestações Compactas, SIN - Sistema Interligado Nacional

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Diante da complexidade de se implantar novas linhas de transmissão aéreas e subestações convencionais na região metropolitana do estado de São Paulo, torna-se de extrema necessidade incrementar alguns elementos às tradicionais análises de estudos de planejamento de expansão da transmissão. O envolvimento prévio com os órgãos públicos, por exemplo, pode ser um facilitador na busca de uma solução que tenha o menor impacto possível de implantação e que apresente uma sinergia com a expansão dos demais serviços públicos, como exemplo, as redes de gás, água, telecomunicações e Metrô, que podem ser categóricos para a viabilidade de um empreendimento. Além disso, é importante analisar novas tecnologias disponíveis no mercado, mesmo que algumas delas, em uma concepção inicial, apresentem custos mais elevados de implantação, pois com avanço das análises de expansão da rede, já com uma visão de custo global, pode ser detectada a viabilidade econômica dessas tecnologias.

Dentro desse contexto, o presente artigo apresenta os principais aspectos abordados no estudo de longo prazo da Região Metropolitana São Paulo (RMSP), conduzido pelo Grupo de Estudos da Transmissão do Estado de São Paulo (GET-SP), sob coordenação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Seu propósito é de identificar uma solução adequada à realidade de uma região que apresenta problemas de alta demanda, limitações físicas severas e pontos de suprimento de grande importância atendidos por corredores radiais, avaliando de forma integrada a aplicabilidade de linhas subterrâneas e de subestações compactas (GIS - *Gas Insulated Switchgear*).

A análise, além de atender aos critérios tradicionais do planejamento, visa se antecipar na identificação de eventuais problemas de implantação, que em muitos casos só são detectados em fases posteriores aos estudos de

(\*) Rua Casa do Ator, n° 1.155 – 7º andar, Vila Olímpia – CEP 04546-004 São Paulo, SP, - Brasil  
Tel: (+55 11) 3138-7184 – Fax: (+55 11) 3138-7045 – Email: maasantos@ctEEP.com.br

comparação de alternativas, tendo como resultado a recomendação de uma solução mais detalhada, o que vem a mitigar a percepção de risco dos empreendedores e, com isso, aumentar as chances de sucesso no processo de outorga.

A região de abrangência do estudo contempla atendimento elétrico às regiões Norte, Sul e Leste da Capital, além da Região do ABC.. Por se tratar de uma região densamente urbanizada e com sérias dificuldades de implantação de novas linhas de transmissão aéreas, mesmo compactas, adotou-se como premissa considerar que toda e qualquer nova LT analisada deverá ser subterrânea. O mesmo conceito foi adotado para as novas subestações, que devido à impossibilidade de se encontrar terrenos com dimensões compatíveis com a de subestações convencionais aéreas, serão utilizadas subestações compactas, isoladas a gás SF6, cujas áreas ocupadas representam cerca de 40% da área de uma subestação convencional equivalente.

Uma vez estabelecida a premissa de somente recomendar linhas de transmissão subterrâneas e subestações compactas para a região estudada, para a definição das alternativas de análise, foram seguidas as seguintes etapas:

1. Identificação dos pontos elétricos mais favoráveis para a implantação de novas subestações compactas, de forma a propiciar maior alívio de carga das subestações existentes, observando, principalmente, a disponibilidade de terreno nas proximidades;
2. Definição do conjunto de novas linhas de transmissão subterrâneas, em 345 kV, que atendam aos requisitos de eliminação dos corredores radiais existentes, demandando o menor investimento possível (menor extensão total de novas LT);
3. Escolha da alternativa de Mínimo Custo Global (MCG).

Concluídas as etapas acima, tem-se a concepção de um sistema composto por novas subestações de fronteira e novas linhas de transmissão, a partir do qual será exaustivamente analisada a sua viabilidade física de implantação, bem como as principais interferências com as instalações existentes, neste caso, predominantemente de propriedade da ISA-CTEEP,

Destaca-se que devido à importância das cargas analisadas, esse sistema foi concebido com o conceito de atendimento a um critério de confiabilidade diferenciado em N-2, testando-se as contingências das LT aéreas de circuito duplo.

## 2.0 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

### 2.1 Sistema Elétrico de Interesse

O sistema de transmissão em evidência, 345 kV, abrange uma grande parcela da demanda da capital paulista, além da região do ABC, forma pelas cidades de Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. Atualmente essa malha é atendida pelas transformações de fronteira das subestações Norte, Miguel Reale, Leste, Ramon Reberte Filho e Sul. Toda essa região é contemplada pela área de concessão da distribuidora AES Eletropaulo e pela transmissora CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista).

Em função da necessidade de redistribuir o carregamento das subestações existentes com grande distância física entre elas, além de significativos montantes de demanda envolvidos, não foi possível aplicar uma única solução para a região de análise. Portanto, dividiu-se em duas sub-regiões (Figura 1).

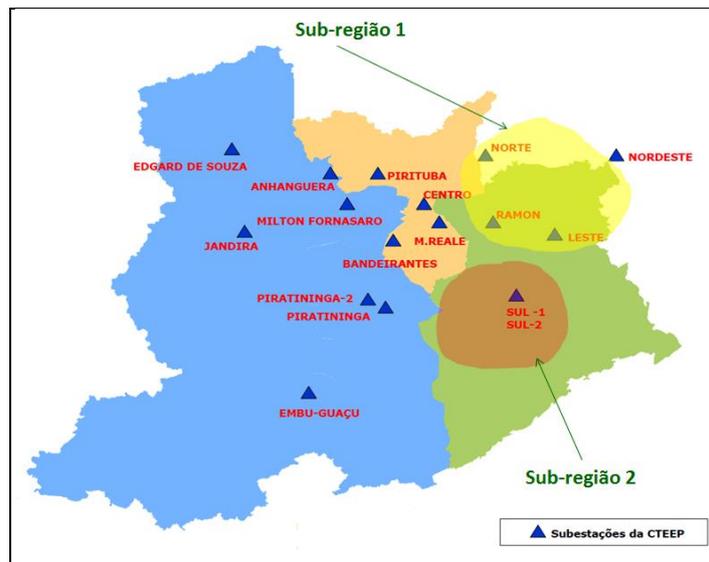


FIGURA 1 – Região da Grande São Paulo

A sub-região 1 engloba a cidade de Guarulhos e as regiões Leste e Nordeste da Capital que têm como principais fontes de suprimento as subestações, em 345/88 kV, Norte, Ramon Reberte Filho e Leste.

A sub-região 2 é contemplada pelas regiões Sul da Capital e Grande ABC, que têm como principal fonte de suprimento a SE Sul 345/88 kV.

## 2.2 Alternativas Consideradas

### 2.2.1 Novos Pontos de Suprimento

A identificação da localização estratégica é o primeiro passo em busca de uma solução ótima, pois deverá ser aquela que consiga conjugar a melhor utilização da rede de distribuição existente com a mínima necessidade de expansão da rede de transmissão.

Foram avaliados diversos novos pontos de suprimento, considerando quais seriam os locais mais favoráveis para a implantação de novas subestações compactas, observando principalmente a disponibilidade de terrenos livres nas proximidades da região metropolitana, devendo propiciar o maior alívio de carga nas subestações existentes.

Para a sub-região 1 identificou-se, a partir de imagens por satélite e inspeções locais, um ponto elétrico potencialmente interessante na Zona Leste da Capital, pois é um terreno próximo a importantes subestações 88 kV da distribuidora, o que facilitaria a conexão da nova subestação com a rede existente da AES Eletropaulo. A nova subestação da região foi denominada SE São Miguel.

Com relação à sub-região 2, as análises indicaram que o município de São Caetano do Sul apresenta grande potencial, pois existem terrenos próximos a passagens e cruzamentos de linhas de subtransmissão da AES Eletropaulo com conexões na SE Ramon Reberte Filho e na SE Sul. A nova subestação da região foi denominada SE São Caetano do Sul.

A Figura 2 apresenta um diagrama do sistema 345 kV da RMSP com a possível localização das novas subestações indicadas.

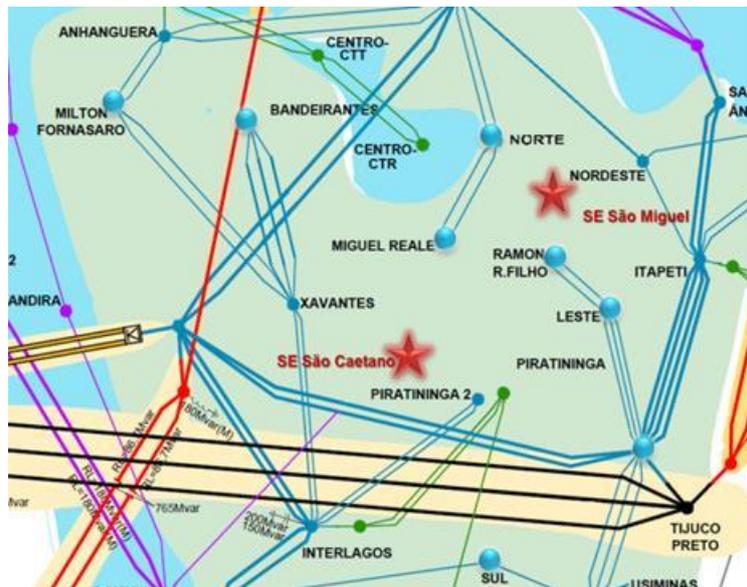


FIGURA 2 – Novas subestações propostas

### 2.2.2 Novas Linhas de Transmissão

Uma vez selecionados os pontos elétricos de referência para a implantação das novas subestações, iniciou-se a etapa seguinte, onde foram definidas as novas linhas de transmissão para a interligação dessas subestações com o sistema existente. A escolha dessas linhas objetivou o menor investimento possível (menor km total de LT) e, também, a eliminação dos corredores radiais existentes.

Foram verificadas inúmeras combinações de fechamento do anel do sistema 345 kV (Figura 3), sendo selecionadas apenas aquelas que apresentaram o melhor desempenho elétrico, com adequada distribuição de fluxos no sistema. De acordo com os resultados das simulações, verificou-se que as ligações Miguel Reale - Milton Fornasaro, Miguel Reale - Bandeirante e Ramon Reberte Filho – Sul não foram efetivas, impondo, inclusive, sobrecargas em circuitos que antes não apresentavam problemas em contingências.

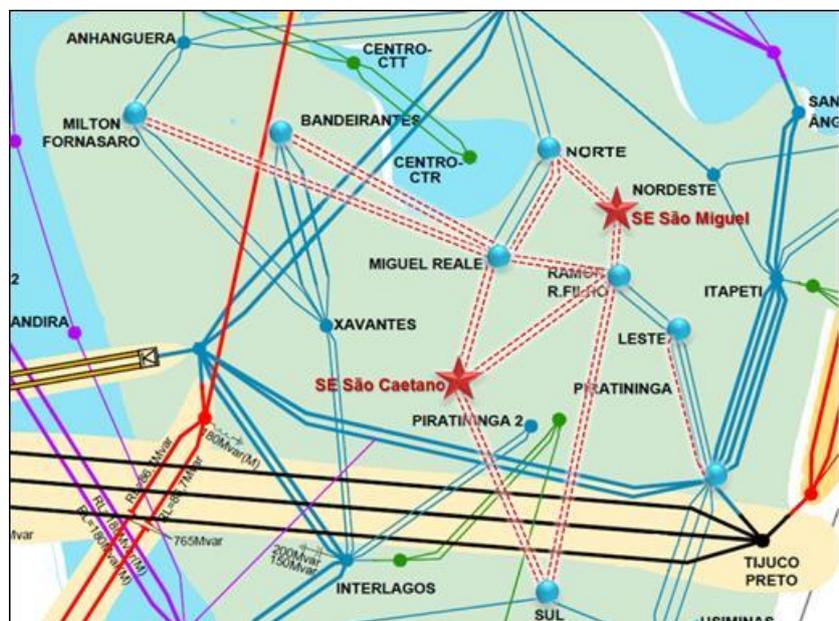


FIGURA 3 – Conjunto de novas LT analisadas – Possibilidades de fechamento do anel 345 kV

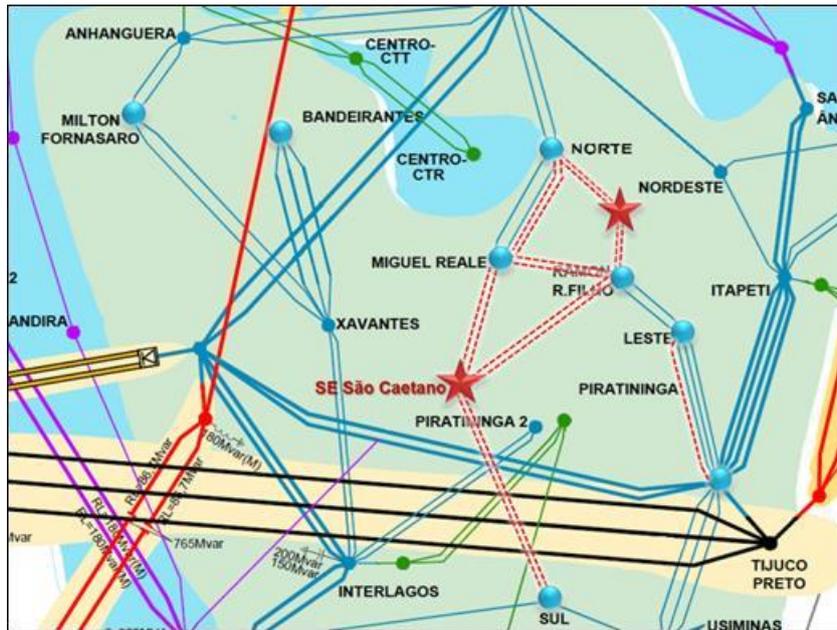


FIGURA 4 – Conjunto de LT selecionadas - Melhor desempenho elétrico

Portanto, a partir da configuração apresentada na Figura 4, foram avaliados os seguintes aspectos:

- Atendimento ao critério diferenciado de confiabilidade (N-2); e
- Menor custo.

Com o objetivo de minimizar os investimentos necessários com a implantação de novas linhas subterrâneas em 345 kV, testou-se quais linhas poderiam ser retiradas da configuração apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com o compromisso de que todas as subestações de fronteira fossem alimentadas por, no mínimo, duas fontes de suprimento, além de atender ao critério N-2. Com isso, chegou-se a duas possíveis configurações (A e B), conforme pode ser visto na figura a seguir.

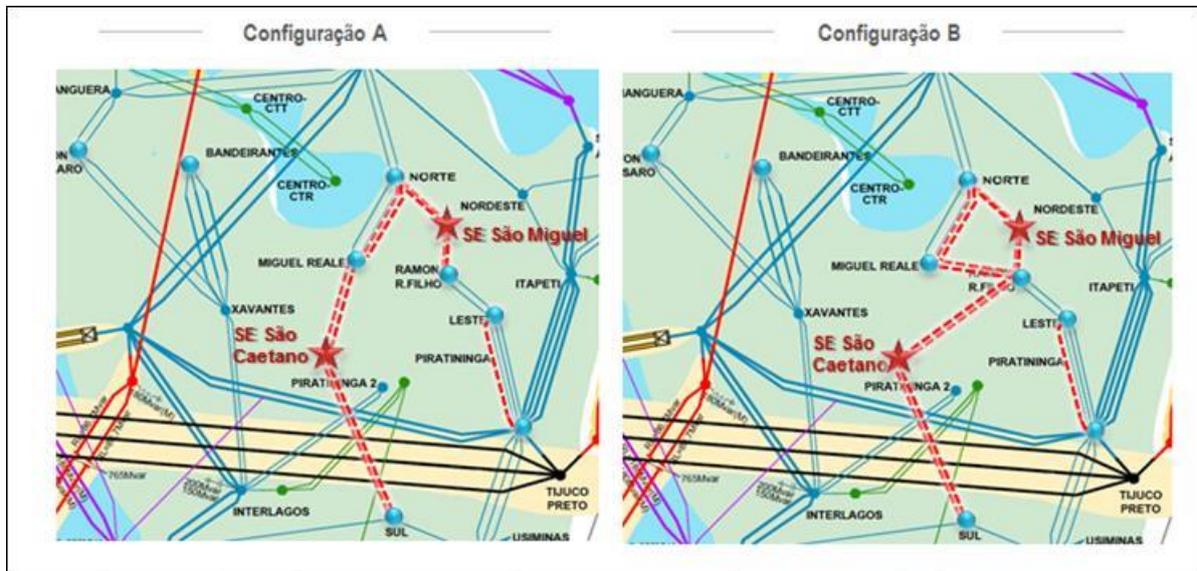


Figura 4 – Configurações das novas LTs subterrâneas

Ambas as configurações apresentaram desempenho técnico semelhantes, atendendo aos requisitos estabelecidos na premissa do estudo.

Dada a semelhança de desempenho entre as configurações analisadas, a escolha da configuração a ser adotada se deu em função daquela que apresentou a menor extensão total de novas LT, ou seja, a de menor investimento e de menor impacto de implantação. A Tabela 1 apresenta as extensões estimadas para cada nova LT, bem como

a extensão total de novas LT em cada configuração.

TABELA 1 – Extensão de Linhas de Transmissão de 345 kV subterrâneas

<b>Avaliação de desempenho e custos de implantação</b>		
<b>Configuração</b>	<b>Linhas de Transmissão</b>	<b>Extensão [km]</b>
<b>A</b>	Norte – São Miguel C1/C2	6,0
	São Miguel – Ramon Reberte Filho C1/C2	7,0
	São Caetano – Sul C1/C2	13,0
	Miguel Reale – São Caetano C1/C2	7,5
	Norte – Miguel Reale C3/C4	14,0
		<b>47,5</b>
<b>B</b>	Norte – São Miguel C1/C2	6,0
	São Miguel – Ramon Reberte Filho C1/C2	7,0
	Ramon Reberte Filho – São Caetano C1/C2	6,5
	São Caetano – Sul C1/C2	13,0
	Norte – Miguel Reale C3/C4	14,0
	Miguel Reale – Ramon Reberte Filho C1/C2	10,5
		<b>57,0</b>

Conforme pode ser visto na Tabela 1, optou-se por adotar a configuração A. Essa configuração apresenta a necessidade de construção de 9,5 km de LT subterrânea a menos que a configuração B.

Por fim, tendo-se a definição da configuração ótima para o fechamento do anel 345 kV e a melhor localização para os novos pontos de suprimento, foi concebido um sistema de referência, no qual estão sendo realizados estudos complementares relacionados aos impactos de curto-circuito, com possíveis recomendações de substituição de disjuntores com capacidades de curto-circuito superadas, estudos de engenharia para a viabilização da conexão dessas novas linhas de transmissão em subestações existentes e análises de interferências com os demais sistemas de infraestrutura existentes.

Com isso, ao final desses estudos complementares, será obtido como produto final a recomendação de um sistema robusto totalmente aderente à realidade de expansão de sistemas inseridos em regiões densamente urbanizadas.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Devido às características especiais inerentes às regiões metropolitanas, tais como grande concentração urbana e maior diversidade de serviços de infraestrutura, torna-se imprescindível que o planejamento tenha uma visão integrada, de forma que o sistema de transmissão a ser recomendado tenha o menor impacto de implantação possível e, ao mesmo tempo, seja robusto e confiável. No caso específico da RMSP, ao se respeitar essa relação de compromisso entre a viabilidade física, custo e robustez, chegou-se a um sistema composto de novas subestações compactas (GIS) e de novas linhas subterrâneas, cujo dimensionamento necessariamente envolveu investigações não só com foco no desempenho elétrico, mas também nos possíveis impactos e interferências com os demais serviços de infraestrutura.

A Figura 6 apresentada a seguir, destaca a influência positiva das novas subestações São Caetano e São Miguel sob o aspecto de alívio de carga em subestações em operação na Região Metropolitana de São Paulo.

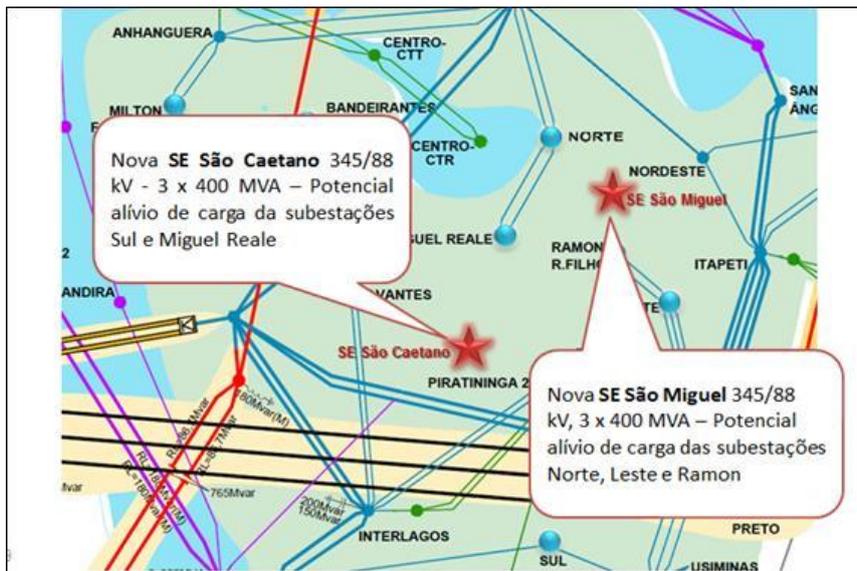


FIGURA 6 – Impactos positivos das novas SEs no sistema existente

Destaca-se, ainda, que o conjunto de obras a ser recomendado possibilitará o pleno atendimento a toda a região de análise em um horizonte superior ao ano de 2030, o que minimiza, em quantidade, a necessidade de novas subestações e linhas de transmissão de menor porte nessa área densamente urbanizada. Cumpre notar que essas novas subestações e linhas de transmissão poderiam passar por grandes dificuldades de implantação, visto que a tendência é de ter menos terrenos disponíveis e mais interferências com o passar do tempo.

Diante disso, conclui-se que esse tipo de estudo será cada vez mais recorrente no planejamento de expansão da transmissão, buscando-se preservar, claro, o conceito do mínimo custo global, mas dotado de características diferenciadas que visem o maior fôlego e robustez para o sistema, evitando assim a necessidade de soluções incrementais em regiões cuja tendência é de aumentar continuamente a complexidade de implantação de novas obras.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão - CCPE/CTET.
- (2) Procedimentos de Rede – Submódulo 23.3- Rev. 2016.12 – Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Marcos Affonso dos Santos**

Nasceu em 14/02/1959 no Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.  
 Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade Presbiteriana Mackenzie (1983).  
 Especialização em Sistema Elétrico de Potência pela EFEI (1989).  
 Trabalha na CTEEP (Planejamento da Transmissão) desde 1984.

**Mariana Pires Monteiro**

Nasceu em 20/01/1988 em São Paulo, São Paulo.  
 Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade Presbiteriana Mackenzie (2013).  
 Especialização em Sistema Elétrico de Potência pela UNIFEI (2014).  
 Trabalha na CTEEP (Planejamento da Transmissão) desde 2010.

**Daniel Jose Tavares de Souza**

Nasceu em 18/10/1981 no Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.  
 Graduiu-se em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-RJ (2005).  
 Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência pela COPPE/UFRJ (2011).  
 Trabalha na EPE (Planejamento da Transmissão) desde 2007.