



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

SOLUÇÕES INOVADORAS NO PROJETO DA ZONA DE TRANSIÇÃO ÁEREO-SUBAQUÁTICA DA LT 230KV BIGUAÇU-RATONES 1-2

**ROBERTO DINIZ THOMAZ JÚNIOR(1);ANDERSON DE MORAIS BATISTA(1);RENATO THALES
MANSUR(2);THIAGO MICHEL DO VALLE PEDROSO(3)
EDS ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA(1);ISA CTEEP(2);FASTTEL ENGENHARIA(3)**

RESUMO

A implantação da Linha de Transmissão 230kV Biguaçu-Ratones Circuitos 1 e 2, tem por objetivo, de acordo com os estudos desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética do governo federal – EPE – atender ao crescimento do mercado de energia da região de Florianópolis, no estado de Santa Catarina. Esta linha de transmissão faz parte do conjunto de ativos do Leilão 02/2018 ANEEL. A linha de transmissão é composta por 3 (três) trechos de configurações distintas: Aéreo, Subaquático e Subterrâneo. Com 10, 13 e 4km de extensão, respectivamente, os circuitos foram dimensionados para suprir a nova Subestação SE Ratones com um bloco de carga de aproximadamente 440MVA, simultaneamente.

A linha de transmissão deverá atender a um regime de contingência padrão N-1 do Sistema Interligado Nacional, e para isso várias medidas protetivas foram adotadas globalmente no projeto executivo.

O trecho subaquático interliga a parte continental do estado de Santa Catarina com a Ilha de Florianópolis, sede da capital administrativa. O ponto de transição do trecho aéreo com o subaquático fica na praia do bairro de São Miguel, município de Biguaçu. Já a transição deste trecho com o subterrâneo, fica no bairro de Santo Antônio de Lisboa, no município de Florianópolis. No projeto da Linha de Transmissão 230kV Biguaçu-Ratones Circuitos 1 e 2, o local passou a ser denominado Zona de Transição Biguaçu.

O presente trabalho pretende relatar os desafios encontrados e as soluções de engenharia desenvolvidas para atender aos requisitos mínimos requeridos tanto pelos entes reguladores quanto pelas áreas de engenharia e O&M do agente de transmissão, tendo em vista um horizonte mínimo de 30 anos de operação, cuja premissa é a performance do sistema com a mitigação da probabilidade de falhas graves.

A Zona de Transição Biguaçu pode ser considerada uma subestação de transição e assim foi tratada na condução do projeto. Para possibilitar o acoplamento do trecho aéreo com o trecho subaquático da Linha de Transmissão LT 230kV Biguaçu-Ratones C1-C2 foram instalados na ZT Biguaçu o pórtico do tipo metálico treliçado para ancoragem da LTA, os para-raios e terminais poliméricos para realizar os pingados de conexão com os cabos isolados subaquáticos.

Os cabos isolados estão instalados em canaletas individuais para cada fase de cada circuito, fixados por ferragens e abraçadeiras no leito das canaletas. Estas ferragens foram projetadas para ter resistência extra às agressões provenientes da salinidade do local. Dadas as características físicas do local, tais como dimensões e topografia com acentuada declividade, e também por se tratar de terreno próximo ao mar, com alguma dificuldade de acesso, várias das soluções convencionais utilizadas em subestações precisaram ser repensadas e soluções inovadoras foram desenvolvidas.

Como exemplo citamos o projeto especial desenvolvido para o pórtico de ancoragem da linha aérea, visto que as dimensões transversais do terreno não comportariam uma estrutura com distâncias padrão 230kV. Foram definidos em projeto bastões isoladores nos cabos da linha aérea, entre a estrutura fim de linha e o pórtico metálico, de forma a garantir que a aproximação dos cabos não comprometesse as distâncias mínimas de segurança. Foi projetada infraestrutura para a conexão entre os cabos OPGW e a fibra óptica dos cabos isolados submarinos. Isto é o que propomos relatar, com destaque para os esforços empreendidos por todos os profissionais da equipe multidisciplinar que participou do projeto da Zona de Transição Biguaçu.

PALAVRAS-CHAVE

acoplamento de LT, estrutura de transição, linhas de transmissão subaquáticas, cabos isolados, soluções inovadoras

1.0 INTRODUÇÃO

A cidade de Florianópolis é a capital administrativa do estado de Santa Catarina e um dos destinos turísticos mais procurados do país. Está localizada em uma ilha na região Sul do Brasil.

É um município com mais de 500 mil habitantes, com hospitais, universidades e grande rede hoteleira e de serviços. Ou seja é uma cidade bem desenvolvida e naturalmente demanda cada vez mais a prestação de serviços à sociedade com qualidade, sendo dos mais importantes o fornecimento de energia elétrica, essencial para toda cadeia produtiva e de negócios.

O acesso e saída da ilha são feitos utilizando as pontes Pedro Ivo e Colombo Salles, sendo que na última estão os cabos isolados de 88kV danificados em um acidente no ano de 2003 causando um grave apagão na ilha. Mais recentemente a ponte Hercílio Luz teve os trabalhos de recuperação concluídos e foi gradativamente liberada para o trânsito de veículos.

Dado a essas características que explicam um pouco a cidade de Florianópolis fica claro o desafio técnico de levar aos consumidores a crescente carga de energia elétrica com confiabilidade.

Por este motivo a ANEEL incluiu no edital do segundo leilão do ano de 2018 o empreendimento Biguaçu-Ratones, que é composto por uma linha de transmissão com trechos aéreo, submarino e subterrâneo, além de obras para ampliação da Subestação Biguaçu e a construção da nova Subestação Ratones.

O objeto deste informe técnico é relatar, mais especificamente, acerca do projeto da Zona de Transição entre os trechos aéreo e subaquático, denominada Zona de transição Biguaçu, ou simplesmente ZT Biguaçu.

Iremos, contudo, abordar alguns dos pontos principais e características gerais do empreendimento, para o bom entendimento das informações aqui compartilhadas.



Figura 1: Bairro de Santo Antônio de Lisboa, cidade de Florianópolis (Fonte: Google Earth)

2.0 A LT230KV BIGUAÇU-RATONES CIRCUITOS 01 E 02

A Linha de Transmissão Biguaçu-Ratones é composta de 02 circuitos, com aproximadamente 10km de trecho aéreo, 13km de trecho subaquático e 4km de trecho subterrâneo.

A capacidade de condução de corrente requerida para o trecho aéreo é de 1004 A para longa duração e de 1100 A para o regime de curta duração.

Para os trechos subaquático e subterrâneo a corrente é de 1100 A para ambos os regimes de operação.

A(s) linha(s) ou trecho(s) de linha de transmissão deve(m) ter capacidades operativas de longa e de curta duração não inferiores aos valores indicados na tabela a seguir.

TABELA 2.2.1 – CAPACIDADES OPERATIVAS DE LONGA E DE CURTA DURAÇÃO

Linha ou trecho(s) de linha de transmissão	Longa duração (A)	Curta duração (A)
Trecho aéreo da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C1	1004	1100
Trecho aéreo da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C2	1004	1100

Figura 2: Tabela 2.2.1 - Edital de Leilão nº 02/2018-Aneel – Anexo 6-01 – Lote 01– LTS 230 kV Biguaçu – Ratones C1 E C2 e SE 230/138 kV Ratones

A(s) linhas(s) ou trechos(s) de linha de transmissão deve(m) ter capacidades operativas de longa e de curta duração não inferiores aos valores apresentados na tabela a seguir:

TABELA 3.2.1 - CAPACIDADES OPERATIVAS DE LONGA E DE CURTA DURAÇÃO DOS TRECHOS SUBAQUÁTICO E SUBTERRÂNEO

Linha ou trecho(s) de linha de transmissão	Longa duração (A)	Curta duração (A)
Trecho subaquático da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C1	1100	1100
Trecho subaquático da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C2	1100	1100
Trecho subterrâneo da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C1	1100	1100
Trecho subterrâneo da LT 230 kV Biguaçu – Ratones C2	1100	1100

Figura 3: Tabela 3.2.1 - Edital de Leilão nº 02/2018-Aneel – Anexo 6-01 – Lote 01– LTS 230 kV Biguaçu – Ratones C1 E C2 e SE 230/138 kV Ratones

Os cabos condutores selecionados para cada trecho são:

- Trecho aéreo: CAL 1120 – 937 MCM
- Trecho subaquático: Condutor em alumínio, seção transversal de 1200mm²
- Trecho subterrâneo: Condutor em alumínio, seção transversal de 1600mm²

Os cabos isolados subaquáticos diferem dos subterrâneos por serem construídos com camadas adicionais para propiciar maior proteção mecânica e contra penetração de umidade.

Além disso, em todos os 06 cabos isolados, na camada onde está a armadura em fios de polipropileno foram inseridos os tubetes, com fibras óticas mono e multimodo.

A Linha de Transmissão Biguaçu-Ratones tem 02 pontos de transição de configuração, sendo eles:

Transição aéreo-subaquático, cuja localização é o município de Biguaçu/SC, e;

Transição subaquático-subterrâneo, cuja localização é o município de Florianópolis/SC.

3.0 ZONA DE TRANSIÇÃO BIGUAÇU – ZT BIGUAÇU

O terreno destinado à transição entre os trechos aéreo e subaquático da LT230kV Biguaçu-Ratones está localizado no bairro de São Miguel, município de Biguaçu/SC.

Essa área está segregada entre a Rodovia BR-101 Governador Mário Covas e a faixa de areia da Praia de Baixo. Essas características impõem séria dificuldade logística no que diz respeito ao acesso para entrega de materiais e equipamentos durante o período de construção do empreendimento.

Este fato nos leva a uma decisão estratégica para o projeto executivo: adoção de estruturas e equipamentos que possam ser entregues e montadas no local. Como por exemplo o pórtico de transição em estrutura metálica treliçada ao invés de uma opção em concreto ou elementos pré moldados.

Outra característica relevante dessa área é a declividade acentuada desde a cota mais alta do terreno – próxima à rodovia – até o nível da faixa de areia. Isto vai influenciar na relativa complexidade da locação da estrutura fim de linha da LTA, estrutura esta ajustada às alturas de engate dos cabos para garantir as distâncias mínimas na travessia com as pistas de rodagem da rodovia BR 101.



Figura 4: Vista aérea do terreno da ZT Biguaçu (Fonte: Google Earth)

O terreno da ZT Biguaçu tem aproximadamente 57 metros no maior comprimento e 25 metros na maior largura. São aproximadamente 1200 m² para instalação de diversos equipamentos e estruturas, a saber:

- Estrutura metálica tipo poste monotubular, ponto final mecânico
- Pórtico metálico treliçado de transição
- Conjuntos de escota e emenda OPGW-Fibra ótica
- Para-raios de óxido de zinco com invólucro de material polimérico, autoportantes e respectivos suportes
- Terminais externos autoportantes, classe 245kV, com isolador polimérico e respectivas torres metálicas
- Caixas de desconexão monofásicas para ligação do aterramento (Link Box), aterramento sólido
- Cabos condutores subaquáticos 1200mm² AL/XLPE

4.0 TRANSIÇÃO AÉREO-SUBAQUÁTICA

A transição entre os trechos aéreo e subaquático se dá com a chegada da LTA na estrutura fim de linha, do tipo poste de aço monotubular, e o tombo dos cabos ao pórtico de transição.

Do pórtico são feitos os pingados nos para-raios, instalados em suportes de concreto e destes aos terminais poliméricos dos cabos isolado subaquáticos, instalados sobre metálicas.

Os cabos estão instalados, no trecho de saída dos terminais, em canaletas de concreto a céu aberto e presos por abraçadeiras, e após este trecho em canaletas, até efetivamente serem lançados no leito marítimo, os cabos estão diretamente enterrados em valas escavadas.

Pelas características físicas do terreno destinado às instalações da Zona de Transição Biguaçu, área esta definida na fase de estudos empreendidos para o edital, constatou-se que algumas das soluções convencionais utilizadas nas estruturas de linhas de transmissão para a classe de tensão de 230kV. No presente caso, especificamente, citamos o pórtico metálico treliçado.

Como seria inviável adquirir faixa de terreno maior a fim de propiciar a largura necessária para posicionar um pórtico padrão, a solução deveria ser encontrada através de modificações no projeto desta estrutura.

Tentativas de rotacionar o pórtico de transição para aproveitar a diagonal do terreno também foram feitas, mas a alternativa acabou inviabilizada, devido o ângulo deste com a estrutura fim de linha, cuja locação dificilmente poderia ser alterada sem interferir na travessia da LTA com a rodovia BR-101.

Dessa forma, a solução de alteração na silhueta convencional de um pórtico treliçado, deveria, outrossim, convergir com a normativa vigente, no que diz respeito, principalmente, às distâncias elétricas.

A solução encontrada foi alterar a configuração de ancoragem dos cabos de fase da LTA. Estavam na disposição horizontal, todos as fases no mesmo nível.

Na nova configuração foi acrescentada uma viga para fixação da cadeia de ancoragem de uma das fases, que passaram a ter uma formação em triângulo.

Essa alteração resultou na diminuição das distâncias horizontais entre as colunas do pórtico, reduzindo, consequentemente a largura total do mesmo.



Figura 5: Modelo em 3D dos estudos iniciais da transição aéreo-subaquática (Fasttel Engenharia)

5.0 ARRANJO DA ZT BIGUAÇU

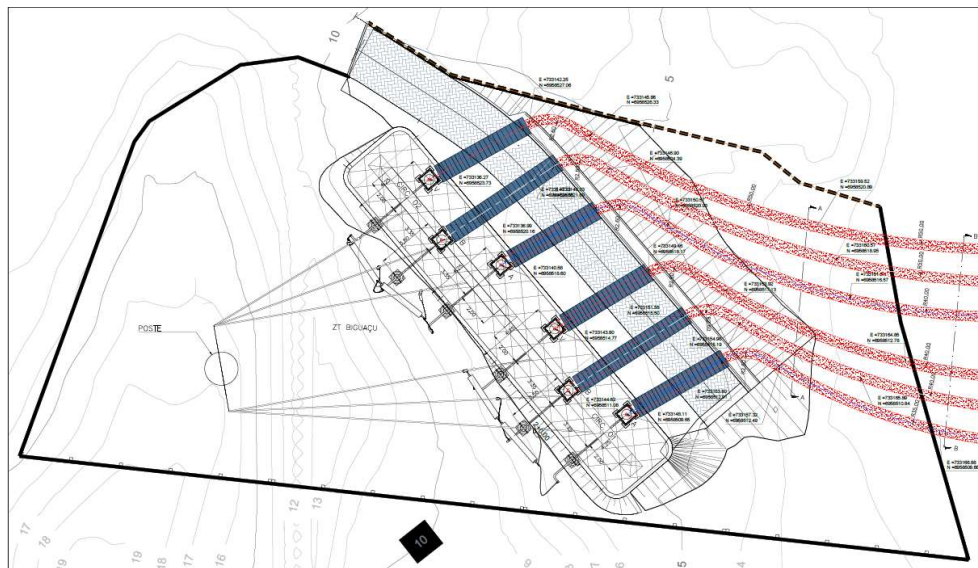


Figura 5: Vista em planta do projeto do arranjo eletromecânico da ZT Biguaçu

Uma das principais preocupações no projeto do arranjo geral da ZT Biguaçu sempre foi o atendimento às distâncias elétricas mínimas.

Dado à declividade, perfil topográfico e dimensões laterais do terreno sabia-se que seria uma árdua missão alocar todas estruturas integradas à solução de transição aéreo-subaquática respeitando as distâncias mínimas de segurança, conforme preconiza a NBR 5422, e os espaços necessários para acesso de máquinas e veículos, seja durante o período de obras e lançamento dos cabos ou para as equipes de manutenção de linhas.

A distância fase-terra utilizada no projeto da ZT Biguaçu foi de 2 (dois) metros. Já a distância fase-fase 3 (três metros). Situação que se concretizou no avançar do projeto. Principalmente na aproximação entre os condutores de fase da LT aérea, no trecho da estrutura fim de linha e o pórtico.

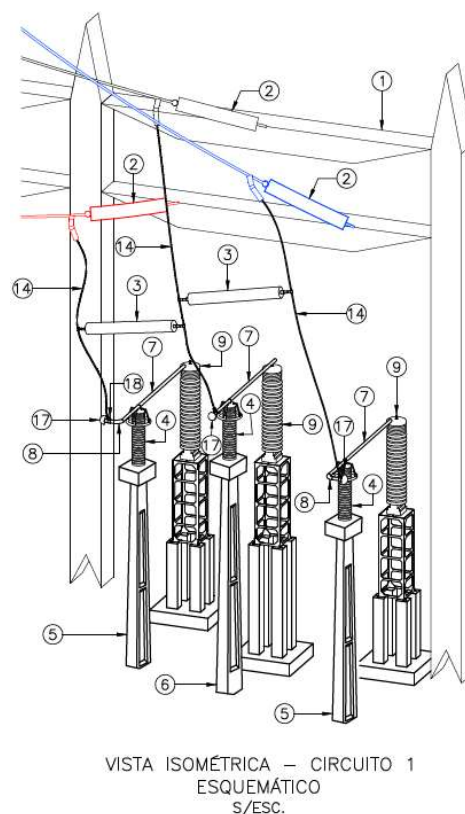


Figura 6: Vista isométrica (projeto) do arranjo de transição da ZT Biguaçu

Para locação do pórtico foi projetado um plato, onde também deveriam ser locadas as bases dos para raios e das torres dos terminais. Este espaço físico acabou por se mostrar restrito. Inclusive pelo fato de que o vão livre entre as colunas do pórtico foi reduzido na solução de projeto adotada.

No arranjo da ZT Biguaçu os para raios, e respectivos suportes, ficaram a montante do pórtico, e os terminais sobre as torres metálicas ficaram a jusante.

Dessa forma os pingados passaram pelos conectores dos para-raios, sendo conectados aos conectores nos terminais por barramento de tubo metálicos.

Nos para-raios foram utilizados conectores Barra a Tubo, nos terminais conectores Pino a Tubo, e para o pingado da LTA conectores Cabo a Tubo, todos eles anti-corona, com vistas a mitigar os ruídos na ZT Biguaçu.

Para garantir a distância fase-terra dos cabos da LTA ao pórtico de transição foi necessário aumentar as cadeias de isoladores, devido ao ângulo dos cabos com os pontos de ancoragem.

Para garantir a distância fase-fase dos cabos da LTA foram definidos bastões poliméricos espaçadores.

No caso dos terminais, para garantir que estas distâncias fossem mantidas foram trabalhados os afloramentos das fundações das bases das torres metálicas.

Vistas em planta, as torres dos terminais foram locadas em triângulo, para evitar a aproximação das fases nas extremidades com as colunas do pórtico metálico.

6.0 INSTALAÇÃO DOS CABOS SUBAQUÁTICOS

Desde o princípio houve uma preocupação com a estabilidade do solo nas escavações para lançamento e instalação dos cabos subaquáticos.

As valas necessitam ficar abertas durante o serviço, pois os cabos serão acomodados manualmente.

Ainda, poderia haver impacto na capacidade de condução de corrente dos cabos pela altura da camada de solo recolocada sobre os mesmos. Essa é a parte do terreno que faz transição com a faixa de areia da praia e por todos estes motivos as engenharias envolvidas concordaram que se tratava de um ponto de interesse e atenção.

Posteriormente, durante as obras civis, estas preocupações seriam confirmadas. Houve grande dificuldade, inclusive, para utilização de estacas prancha.

Pelas questões explicitadas o projeto propôs algumas alternativas construtivas, a favor da segurança e do desempenho da LT no trecho subaquático.

A alternativa escolhida foi a construção de canaletas em concreto, com fechamento em tampas estruturais de concreto. Os cabos serão fixados com abraçadeiras e suportes metálicos no leito das canaletas.

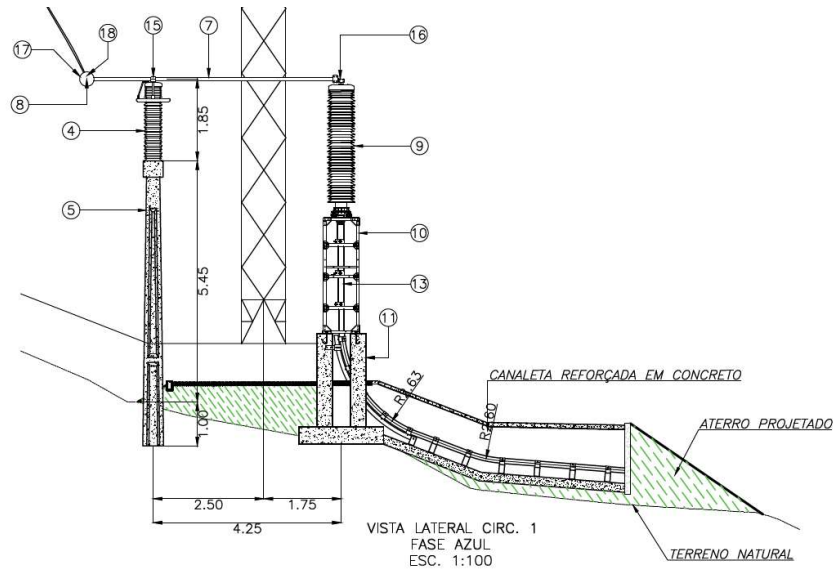


Figura 7: Projeto de instalação dos cabos em canaletas

7.0 OUTRAS INFORMAÇÕES DO PROJETO DA ZT BIGUAÇU

Por se tratar de uma área considerada como uma subestação de transição foram elaborados projetos para adequação urbanística, de acesso e sinalização com vistas ao atendimento às legislações municipais vigentes.

O projeto da malha de aterramento também teve como diretriz o entendimento de que a ZT Biguaçu é uma subestação de transição de menores proporções que as convencionais, tendo no entorno edificações, e também a presença de pessoas com frequência quase constante. A blindagem e a armadura metálicas dos cabos subaquáticos estão ligadas à malha terra, da mesma forma o contrapeso da LTA. Em vista dessa equipotencialização medidas conservativas foram tomadas para controlar as tensões de passo e toque e mantê-las dentro dos limites normativos. Utilização de brita em toda área da ZT Biguaçu, sendo que no platô do pórtico e conexões entre o trecho aéreo e subaquático e no entorno do poste monotubular fim de linha uma camada de resina asfáltica foi recomendada.

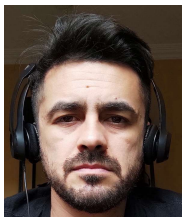
As torres metálicas dos terminais, bem como as abraçadeiras de fixação dos cabos, foram dimensionadas e calculadas para suportar os esforços mecânicos provenientes de um eventual curto circuito trifásico na LT subaquática.

Foram instaladas emendas ópticas para a continuidade do OPGW da LTA nas fibras óticas contidas nos cabos subaquáticos.

Os cabos recebem também fibra para monitoramento da temperatura, esta é extraída do cabo no mesmo ponto de abertura para o aterramento da armadura em fios de cobre onde é instalado o armour binder.

O projeto da ZT Biguaçu é multidisciplinar. Durante as diversas iterações que ocorreram até a conclusão, participaram os times de engenharia da linha aérea e subestações, e linhas subterrâneas e manutenção, das projetistas envolvidas e da transmissora. Devido à pandemia do Covid19 todas reuniões e revisões ocorreram de forma digital. Destaque seja dado a todas tecnologias de compartilhamento de informação utilizadas, e o esforço de cada profissional para superar as dificuldades inerentes à comunicação à distância.

DADOS BIOGRÁFICOS



Roberto Diniz Thomaz Junior
 Nascido em Mogi das Cruzes, SP em 17 de dezembro de 1981.
 Graduando em Engenharia Elétrica: Universidade Paulista - UNIP - São Paulo
 Técnico em Edificações
 Técnico em Segurança do Trabalho
 Empresa: EDS Engenharia e Consultoria Ltda (Desde 2007)
 Projetos de Linhas de Transmissão. Líder Técnico de Projetos

(2) ANDERSON DE MORAIS BATISTA

Anderson de Moraes Batista

Nascido em Mogi das Cruzes, SP em 21 de abril de 1983.

Estudante de Arquitetura e Urbanismo: Universidade de Mogi das Cruzes - UMC - Mogi das Cruzes.

Empresa: EDS Engenharia e Consultoria LTDA, de 2000 a 2021.

Projetista de Linhas de Transmissão de Energia Subterrânea.

(3) RENATO THALES MANSUR

Nascido em 1989 em Belo Horizonte, MG. Graduado em Engenharia Elétrica e especialista em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica, mestrando em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Minas Gerais e MBA em Gestão de Projetos pela USP.

Atua há mais de 12 anos em projetos de Linhas de Transmissão participando dos principais projetos do sistema de transmissão de energia elétrica do Brasil, destacando-se o Bipolo HVDC 800 kV, Bipolo 600kV CC, LTs em 525 kV, 500kV, 440kV, 345kV, 230kV, 138kV e 69kV. Atualmente trabalha como Engenheiro eletromecânico de linhas de transmissão na ISA CTEEP.

(4) THIAGO MICHEL DO VALLE PEDROSO

Thiago Michel do Valle Pedroso Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Maringá

(2009). Especializado em Estruturas Metálicas Calculista, projetista e gestor de projetos da Seccional Brasil SA de jul/2013 a jan/2020

Gestor de contratos na Fasttel Engenharia SA desde fev/20