

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

BIM E PRÉ-MONTAGEM VIRTUAL NO PLANEJAMENTO DE OPERAÇÕES DE MONTAGEM DE TORRES PARA LT'S COM AUXÍLIO DE HELICÓPTEROS - ESTUDO DE CASO

**RICARDO DE OLIVEIRA E BRITTO PERUCCI (1); PEDRO HENRIQUE ROCHA DE MENEZES BRAGA (2);
TIAGO DE OLIVEIRA RAPOSO (3); PAULO RICARDO RALO LIBERATO DA SILVA (4); TIAGO CORRADI
MELLO (5); JEAN MARK CARVALHO OLIVEIRA (6); PEDRO HENRIQUE LIBERATO (7);
ENGETOWER ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA**

RESUMO

Este Informe Técnico tem como objetivo apresentar e descrever as soluções desenvolvidas para possibilitar o planejamento da montagem de uma estrutura autoportante especial de ancoragem, com peso de 147 toneladas, através da modularização dos componentes para transporte, via helicópteros, destes conjuntos pré-montados. Foi necessária a customização de ferramentas computacionais que possibilitassem que as equipes de engenharia estrutural e de especialistas em transporte de cargas previssem as dificuldades a serem encontradas durante a montagem, em um trabalho conjunto. Modelos tridimensionais foram utilizados para realizar a pré-montagem virtual da estrutura para planejamento da operação.

PALAVRAS-CHAVE

BIM, PRÉ-MONTAGEM VIRTUAL, MONTAGEM DE TORRES, MONTAGEM COM HELICÓPTEROS

1.0 INTRODUÇÃO

A montagem de estruturas para linhas de transmissão (LTs) é uma etapa que depende de uma boa concepção de projeto e exige o envolvimento de diversos trabalhadores capacitados e extenso planejamento. Em situações não usuais de montagem, como torres especiais para transposição de obstáculos ou instaladas em regiões de difícil acesso, são necessárias adaptações e desenvolvimento de soluções inovadoras para viabilizar sua execução.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar e descrever as soluções desenvolvidas para possibilitar o planejamento da montagem de uma estrutura especial de ancoragem com peso de 147 toneladas, a ser instalada em uma LT de 525 kV circuito duplo localizada no alto da Serra do Rio do Rastro – SC, em uma área de preservação ambiental de difícil acesso, tornando inviável o transporte de material, equipamentos e pessoas por vias terrestres.

1.1 – Desafios na implementação da estratégia de montagem adotada

Adotou-se a estratégia de montagem da torre de forma modularizada, que consiste na subdivisão da torre em conjuntos de peças pré-montadas em uma base remota e transportados com o uso de helicópteros para montagem de forma semi-assistida.



Figura 1 – Helicóptero transportando um módulo de uma estrutura – Longwood Lake Cabin Owners Association (4)

O uso de helicópteros na construção e manutenção de linhas de transmissão, embora ainda incipiente no Brasil, já é um recurso amplamente utilizado no exterior em países como Canadá e Estados Unidos. A utilização dessa metodologia alternativa aos meios convencionais de montagem das estruturas tem o potencial de oferecer diversas vantagens na execução do empreendimento. Dentre as vantagens dessa abordagem, pode-se citar a redução do impacto ambiental para construção de canteiros e acessos terrestres aos pontos de instalação das torres, redução significativa do tempo total de construção, reduzindo os custos de manutenção da infraestrutura da obra e antecipando a operação comercial da linha, redução da mão-de-obra necessária etc.

No entanto, devido ao alto custo de utilização dos helicópteros e sua limitação de carga por voo, deve ser realizado o planejamento rigoroso e preciso da logística da operação, de forma a viabilizar a adoção desta metodologia para a montagem das estruturas.

Durante a elaboração dos módulos devem ser considerados critérios de peso máximo suportado pelos helicópteros, viabilidade da montagem e encaixe entre módulos subsequentes, além de avaliações da estabilidade desses conjuntos para transporte aéreo. Devem ser geradas novas listas de materiais e desenhos de montagem para execução da operação em campo. Todo este processo é iterativo, onde os envolvidos precisam propor diversas soluções a partir das peças projetadas e avaliá-las até que se encontre aquela que atenda a todos os critérios.

Neste projeto, por se tratar de uma estrutura particularmente pesada, seus componentes tradicionais de projeto (Cabeça, Tronco Comum, Extensões e Pés) precisaram ser subdivididos em módulos menores para atenderem à capacidade de carga das aeronaves a serem utilizadas, limitada a 2,5 toneladas. Somente uma das mísulas, por exemplo, tinha peso total acima de 8,0 toneladas (Figura 2). Ademais, na etapa de estudo e planejamento da montagem, a estrutura já havia sido projetada e fabricada, exigindo a elaboração de soluções especiais para inserção de peças provisórias para estabilização dos módulos, sem provocar alterações nas peças originais da torre.

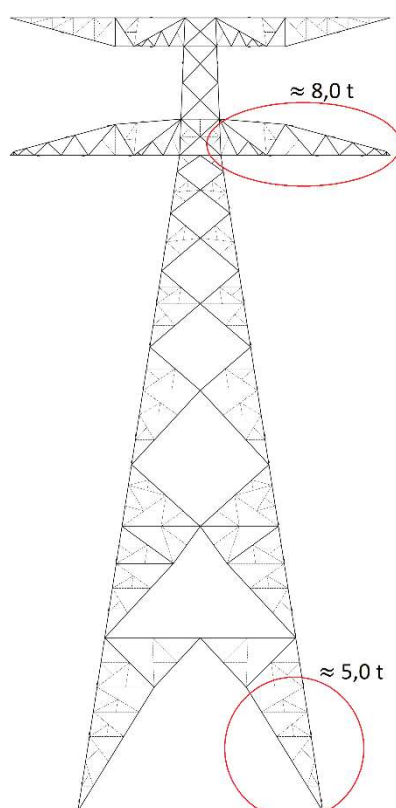


Figura 2 – Silhueta da torre com pesos aproximados de alguns componentes

2.0 ELABORAÇÃO DA SOLUÇÃO

A concepção do estudo foi dividida em duas partes principais. A primeira foi o desenvolvimento de ferramentas computacionais específicas para o trabalho e a segunda foi o uso prático destas ferramentas para auxiliar na definição e análise dos módulos.

2.1 – Desenvolvimento de ferramentas

A realização deste tipo de trabalho a partir de documentos de projeto tradicionais como listas de materiais e desenhos 2D de fabricação e montagem (Figura 3) é extremamente onerosa e, por se tratar de uma tarefa pioneira e com curto prazo disponível, para a elaboração do estudo em tempo hábil foi necessária a utilização de ferramentas computacionais dinâmicas e customizadas que possibilitassem que as equipes de engenharia estrutural e de especialistas em transporte de cargas previssem as dificuldades a serem encontradas durante a montagem ao mesmo tempo em que elaboravam as subdivisões dos componentes. Além disso, o projeto foi realizado em um cenário de pandemia, com a dificuldade para realização de viagens e reuniões presenciais, aumentando a necessidade de uma estrutura de comunicação fácil e rápida.

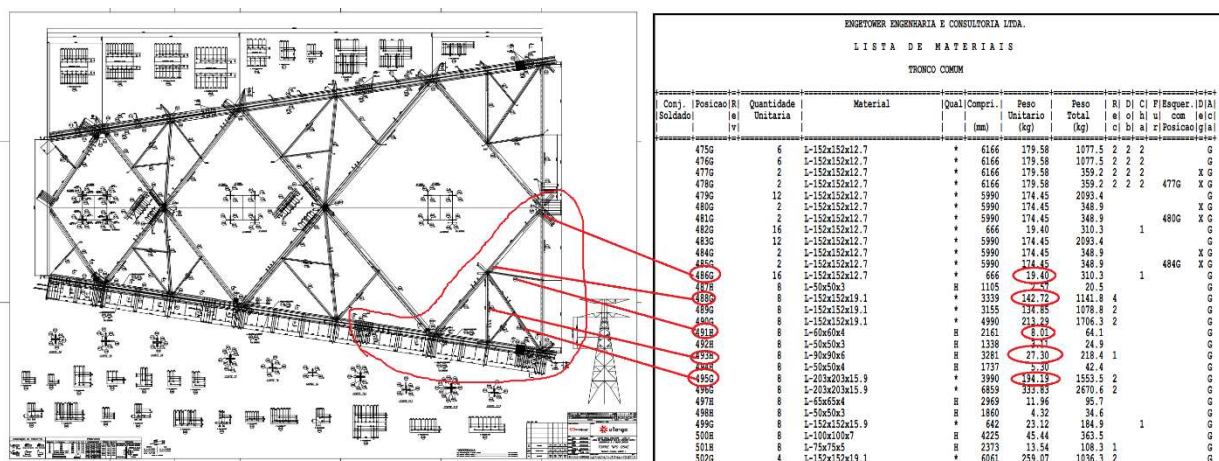


Figura 3 – Início de estudo para definição de um módulo feita com desenho 2D e lista de materiais

Aplicando os conceitos de *Building Information Modeling* (BIM) e com o auxílio do programa de modelagem virtual, foi realizada a Pré-Montagem Virtual da estrutura, que permite acesso ao modelo tridimensional contendo todas as propriedades das peças. Neste processo, os projetistas fazem a inserção das peças no modelo simulando uma montagem da estrutura, onde os planos de apoio das peças são definidos por outras já posicionadas na estrutura.

O modelo virtual é altamente fidedigno à estrutura real e possui todas as informações necessárias para verificação do projeto e geração dos documentos de entrega (Figura 4), assim, durante o lançamento das peças no modelo, ferramentas automatizadas auxiliam na verificação das normas construtivas como distâncias de bordas de furos das peças, distância entre furos e colisão entre peças. Desta forma, este processo antecipou não-conformidades do projeto ainda não detectadas na pré-montagem física, garantindo uma montabilidade mais precisa, necessária para este tipo de operação.

Este modelo foi disponibilizado em um ambiente virtual colaborativo para visualização online por todos os envolvidos no planejamento, possibilitando uma comunicação ágil entre as equipes. Na plataforma web, foram desenvolvidas diversas ferramentas de uso prático.

A Figura 4 apresenta algumas das ferramentas desenvolvidas:

- (a) Agrupamento de peças em módulos para cálculo de peso e centro de gravidade
- (b) Medição de ângulos e distâncias no modelo
- (c) Geração automática de documentos
- (d) Interface para comunicação de problemas ou observações específicas.

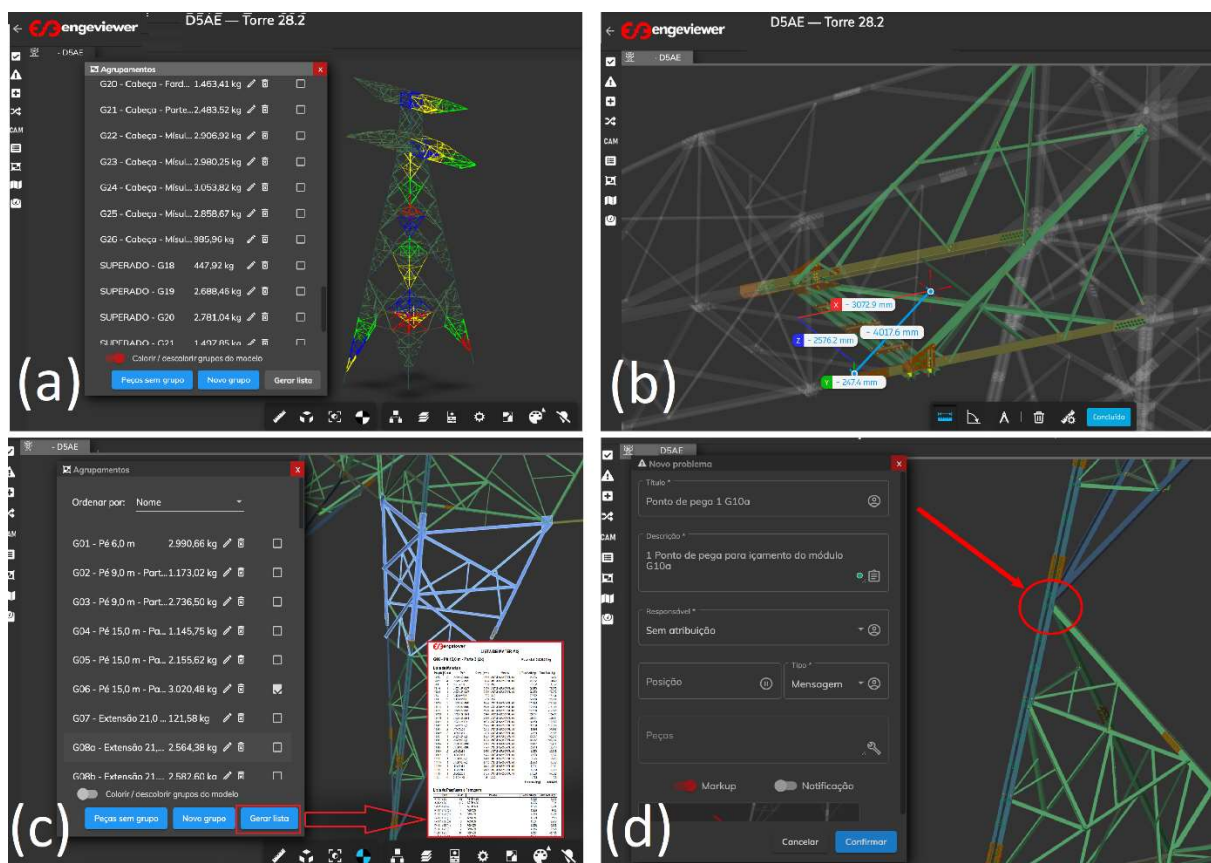


Figura 4 – Algumas ferramentas desenvolvidas na plataforma web de visualização do modelo virtual

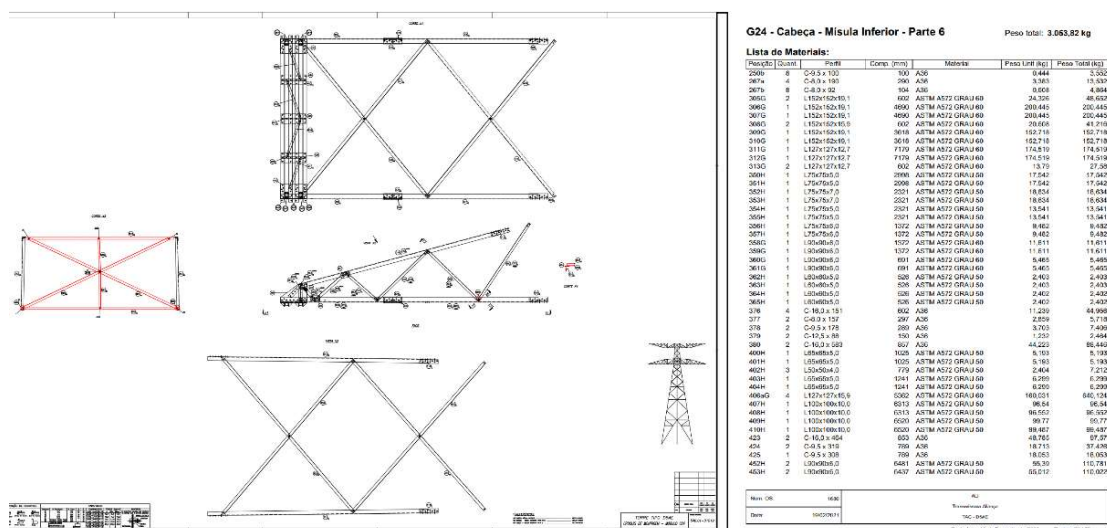
2.2 – Definição e verificação dos módulos

Com o auxílio das ferramentas desenvolvidas, uma equipe multidisciplinar composta por representantes das empresas responsáveis pela engenharia estrutural, pela montagem da linha e pela operação com as aeronaves definiu os módulos através da plataforma web. Definidos os módulos, a equipe de engenharia estrutural realizou dois tipos de verificação estrutural:

- 1) Verificação da estabilidade estrutural dos módulos, ou seja, análise da capacidade dos conjuntos de preservarem a sua configuração geométrica durante o transporte;
- 2) Verificação da resistência dos módulos dos pés à flexo-compressão quando instalados (de acordo com os critérios da Norma ASCE 10-15) e definição da necessidade de estaiamento provisório.

Para os módulos considerados instáveis na verificação de estabilidade, foram projetadas peças provisórias para sua estabilização durante o transporte (Figura 5).

A agilidade e praticidade conferidas pelo uso dessas ferramentas foram cruciais para a viabilização do processo iterativo de estudo e planejamento da modularização da torre.



Dos 22 módulos pré-montados, em 16 foi necessária a inclusão de peças provisórias para estabilização no transporte.

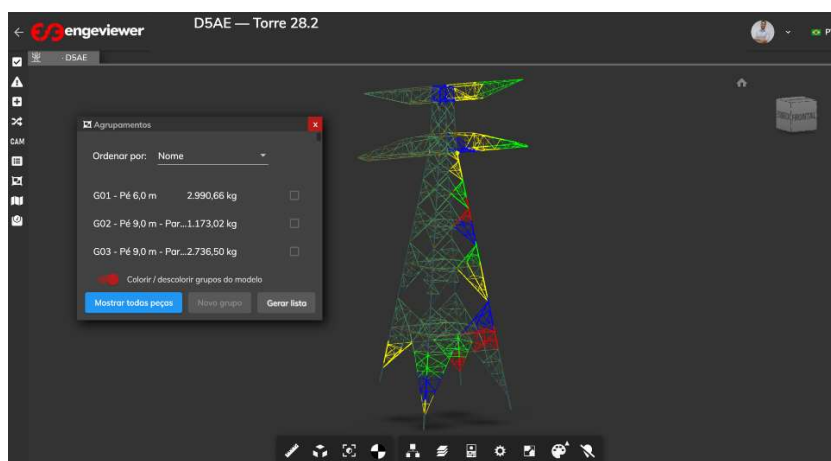


Figura 7 – Torre subdividida nos módulos G01 a G26

O peso total dos módulos a serem transportados pré-montados foi de 124 t, o que representa cerca de 85% do peso total da estrutura. Os fardos juntos pesam 22 t, ou 15% do peso da torre. As 94 posições de peças provisórias a se fabricar pesam 3,5 t, um acréscimo de cerca de 2% no peso total da torre.

O peso médio dos 22 módulos pré-montados foi de 2395kg, ou 96% da capacidade máxima de segurança da aeronave, quando ela opera em maior eficiência.

4.0 CONCLUSÃO

É observada a importância da definição prévia da metodologia de montagem da estrutura, de forma a elaborar sua divisão em módulos desde a concepção inicial do projeto, que deve ser precisa devido ao alto custo operacional dos equipamentos. Assim, não haveria a necessidade de uma grande quantidade de peças provisórias, o detalhamento seria planejado desde o princípio para que os módulos fossem estáveis e de fácil transporte, com encaixes bem definidos entre os módulos adjacentes.

Destacam-se as notáveis vantagens trazidas pelo uso do BIM em comparação ao que seria feito em um processo tradicional de análise de desenhos 2D e listas de materiais dos componentes.

Embora as peças da estrutura já estivessem fabricadas, houve tempo hábil para que o processo de pré-montagem virtual antecipasse não-conformidades no projeto antes da realização da pré-montagem física, o que acelerou esta etapa na fabricação. Durante este processo de acompanhamento das pré-montagens física e virtual, evidenciou-se que a precisão e qualidade de informações contidas nos modelos virtuais tridimensionais permitem detectar melhorias significativas no projeto, como comprimento de barras e ângulos de dobras, proporcionando um encaixe mais preciso das peças durante a montagem, contribuindo inclusive para o melhor comportamento estrutural da torre.

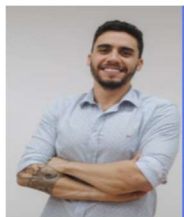
Com o conhecimento adquirido neste projeto e as ferramentas desenvolvidas, é possível vislumbrar uma nova era de montagem de estruturas no Brasil com uso de aeronaves, não somente para situações extremas como a deste estudo, mas também visando uma otimização dos custos e aumento da segurança e eficiência desta etapa dispendiosa dos empreendimentos de linhas de transmissão.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASCE 10-15. Design of Latticed Steel Transmission Structures. 2015.
- (2) CAMPOS, O.L Estudo de caso sobre impactos ambientais de linhas de transmissão na região Amazônica. BNDES Setorial 32. Biblioteca Digital. p.231-266. Set. 2010.
- (3) LIBERATO, P. H. O. et al - Projeto, fabricação e montagem de estruturas para LT's na era da Indústria 4.0 e Internet das Coisas. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE – Belo Horizonte, Brasil, 2019.
- (4) LONGWOOD LAKE CABIN OWNERS ASSOCIATION. Helicopter Carrying Part Of A Power Line Tower. 2013. Disponível em: <https://longwoodlakecabins.org/2013/03/11/helicopter-carrying-part-of-a-powerline-tower/>. Acesso em: 16 set. 2021.

(5) OLIVEIRA, J. M. C. et al - Implementação da Modelagem Tridimensional no Projeto de Torres Treliçadas para Linhas de Transmissão. XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE – Curitiba, Brasil, 2017.

DADOS BIOGRÁFICOS

**RICARDO DE OLIVEIRA E BRITTO PERUCCI**

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 22/06/1994, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Está cursando Mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais com previsão de conclusão em 2023. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's e no desenvolvimento de sistemas e processos de integração.

(2) PEDRO HENRIQUE ROCHA DE MENEZES BRAGA

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 25/03/1991, graduou-se em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2018. Está cursando Mestrado em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais com previsão de conclusão em 2022. Atua desde 2017 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.

(3) TIAGO DE OLIVEIRA RAPOSO

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 15/04/1981, graduou-se em Tecnologia de Jogos Digitais pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais no ano de 2011. Possui pós-graduação em Arquitetura de Sistemas Distribuídos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Trabalhou com jogos digitais e ambientes virtuais interativos por dez anos. Trabalha no desenvolvimento de sistemas WEB e aplicativos móveis desde 2016. Trabalha no desenvolvimento do sistema de gerenciamento e visualização tridimensional de projetos da Engetower desde 2018.

(4) PAULO RICARDO RALO LIBERATO DA SILVA

Nascido em Conselheiro Lafaiete/MG, em 01/06/1954, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 1977. Atuou como engenheiro projetista de estruturas metálicas para LT's e SE's na empresa Morrison Knudsen de Engenharia, no período de 1977 a 1986, e na empresa Mendes Júnior Montagens e Serviços, no período de 1987 a 1994. Foi professor da cadeira de Estruturas Metálicas do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFMG no período de 1978 a 1993. A partir de 1995 atua como sócio e diretor executivo da Engetower Engenharia.

(5) TIAGO CORRADI MELLO

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 12/07/1996, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2021. Atua desde 2016 na Engetower Engenharia na elaboração de projetos de estruturas metálicas para LT's e SE's.

(6) JEAN MARK CARVALHO OLIVEIRA

Nascido em Teófilo Otoni/MG, em 11/01/1985, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2009. Especialista em Estruturas Metálicas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Atua desde 2007 na Engetower Engenharia e Consultoria na elaboração de projetos de Estruturas Metálicas para LT's e SE's.

(7) PEDRO HENRIQUE LIBERATO

Nascido em Belo Horizonte/MG, em 21/02/1982, graduou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais no ano de 2006. Possui pós graduação em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral. Trabalhou com desenvolvimento de softwares para o AutoCAD com a tecnologia ObjectARX .NET durante dois anos. Trabalhou também durante nove anos com desenvolvimento de sistemas WEB e aplicativos móveis para diversos segmentos. Trabalha na Engetower Engenharia desde 2015 no setor de Tecnologia da Informação desenvolvendo o software de detalhamento 3D.