

Desenvolvimento de uma Torre de Emergência para Linhas de Transmissão de Energia Elétrica

L. C. Nicolazzi, J. C. Pereira, C. E. L. Leonel, G. B. Rocha, V. Bianchezzi, M. C. Resende, A. J. L. Pereira, L. M. R. Fulco

Resumo - Este projeto de P&D tem por objetivo desenvolver uma torre de emergência para linhas de transmissão de energia elétrica. Considerando que estas torres devem ter como características principais a facilidade no seu transporte, a facilidade na sua montagem, associados a um baixo custo de fabricação, foi aplicado neste projeto o conceito de torre de coluna única estaiada, modular, treliçada e articulada na sua base, a partir do emprego de uma metodologia de projeto. A partir da definição das suas diferentes situações de carregamento, foram desenvolvidos modelos numéricos com os quais foi possível conceber a disposição dos elementos estruturais de seus módulos. Em seguida, foram realizados ensaios em laboratório de forma a avaliar o desempenho do módulo para diferentes situações de carregamento. Estes ensaios serviram para identificar inconsistências nos modelos numéricos e propor ajustes na sua concepção de forma a melhorar o seu desempenho quanto à resistência mecânica e à estabilidade.

Palavras-chave — Torre de transmissão de emergência, energia elétrica, ensaios, modelos numéricos.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é geralmente produzida em hidrelétricas e termoeletricas, distantes dos grandes centros consumidores, e é transmitida por meio de linhas de transmissão que atravessam grandes extensões com topografia das mais variadas. A interrupção do fornecimento de energia elétrica em razão da queda de torres devido a vendavais, deslizamentos de rochas e terra, erosão da fundação, corrosão da torre ou devido ao vandalismo, pode incorrer em sérios prejuízos econômicos à sociedade. Portanto, o restabelecimento do sistema de transmissão de energia no mais curto prazo possível é a meta principal a ser atingida pelas equipes de manutenção nos serviços de recuperação.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

L. C. Nicolazzi e J. C. Pereira são professores no Depto. de Eng. Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (e-mails: lauro@grante.ufsc.br; jcarlos@grante.ufsc.br).

C. E. L. Leonel é pós-graduando no Depto. de Eng. Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

G. B. Rocha, V. Bianchezzi, M. C. Resende e A. J. L. Pereira são graduandos do curso de Eng. Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

L. Fulco é engenheiro na Eletrosul Centrais Elétricas S. A. (e-mail: lfulco@eletrosul.gov.br).

A utilização de torres de emergência para o restabelecimento imediato da linha após estas ocorrências é a primeira providência a ser tomada. No entanto, por vezes, a topografia do terreno apresenta grandes dificuldades à equipe de manutenção, como local de difícil acesso, terreno em declive acentuado, terreno alagadiço; o que inviabiliza a montagem das torres de emergência com rapidez. Para atender a estas peculiaridades, as torres de emergência devem ter como principais características, o fácil transporte, a fácil montagem e serem de baixo custo ou mais baratas que as torres permanentes.

No Brasil, até o presente momento, não existem empresas que disponibilizem torres de emergência estaiadas com especificações tão amplas de vão e tensão como as que estão sendo propostas nesse projeto, havendo assim, a necessidade de importá-las a um alto custo. Neste contexto, propôs-se elaborar o projeto, fabricar e ensaiar um protótipo em escala real de torre de emergência de mastro único, aplicando metodologias de projeto de produto, de maneira a oferecer às empresas interessadas na fabricação deste tipo de estrutura um documento detalhado que permita a imediata aplicação dos conceitos desenvolvidos. Pretende-se com isso, implantar a fabricação destas torres no Brasil a preços competitivos com os oferecidos pelo mercado externo, beneficiando assim as concessionárias do sistema de transmissão de energia elétrica nacional.

II. APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE PROJETO PARA A CONCEPÇÃO DA TORRE DE EMERGÊNCIA

No projeto de um produto, devem ser considerados: o tempo e o custo para o seu desenvolvimento, de forma que o mesmo chegue rápido no mercado, atenda as expectativas do consumidor nos quesitos inovação, qualidade e baixo custo, e ofereça um rápido retorno do investimento para a empresa. Para atender a estes requisitos, as empresas devem incondicionalmente aplicar metodologias que racionalizam o desenvolvimento dos seus produtos, seguindo uma seqüência lógica de evolução [1] e [2]. Seguindo este conceito, foi elaborada uma metodologia, a qual divide o projeto em diferentes fases de desenvolvimento do produto: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Esses conceitos, adaptados para torres de emergência, são apresentados a seguir.

A. Projeto Informacional

Nessa etapa são feitas consultas em referências bibliográficas, *sites* na internet, banco de patentes e a potenciais consumidores, de forma a levantar o estado da arte do produto a ser desenvolvido, para elaborar as especificações de seu projeto, no presente caso da torre de emergência, visando atender às necessidades dos clientes.

Nesta etapa do projeto, diversos modelos de torres de emergência foram encontrados, conforme ilustrado na figura 1. Deve-se destacar os modelos de torres modulares como sendo os mais empregados.

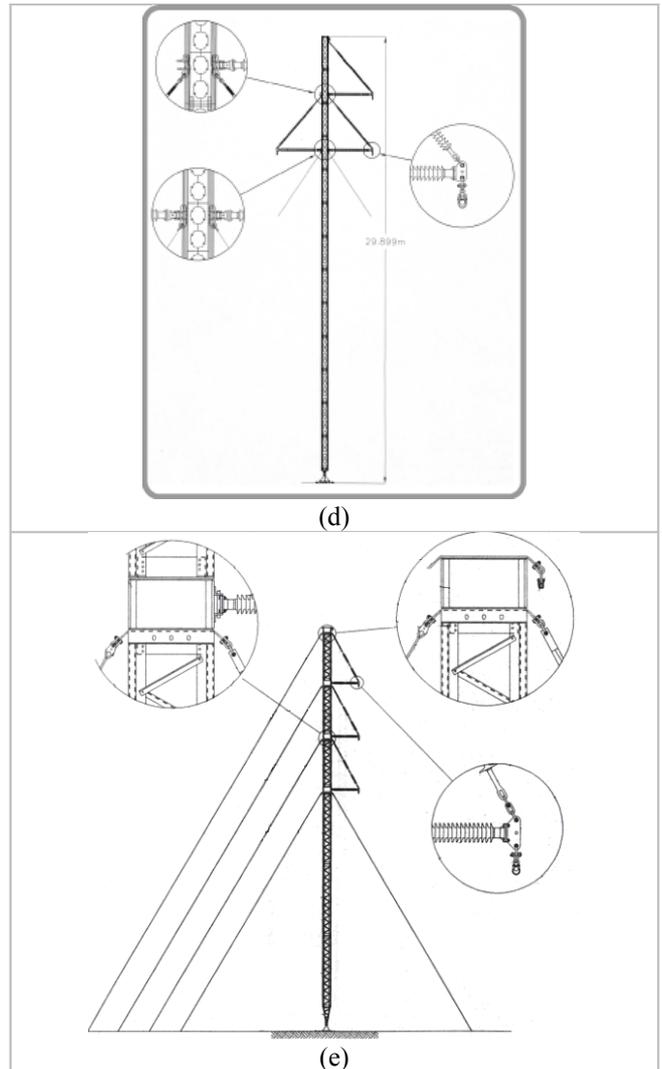
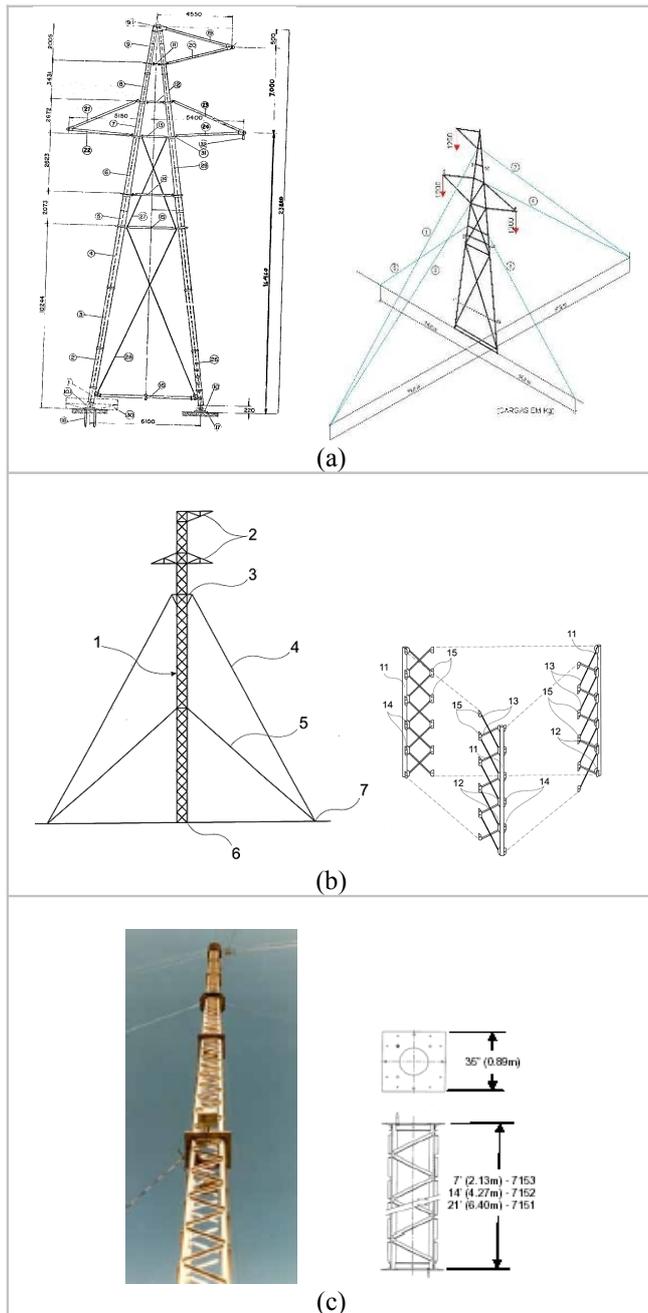


Figura 1. Modelos de torres de emergência.

B. Projeto Conceitual

Esta etapa é baseada nas especificações definidas no projeto informacional, onde são geradas diversas soluções de projeto para a torre de emergência, para ao final selecionar a melhor concepção baseado em critérios definidos pela equipe de projeto, visando atender as necessidades e requisitos dos clientes.

Considerando que os requisitos de projeto para uma torre de emergência são o fácil transporte, a fácil montagem e o baixo custo, a equipe de projeto julgou que uma torre modular e em material de baixa densidade, como o alumínio, atendem aos dois primeiros requisitos. Estes requisitos são também colocados no *IEEE - Guide for Design and Testing of Transmission Modular Restoration Structure Components* [5], que é um guia que faz recomendações quanto às especificações de projeto e ensaios em componentes de estruturas de emergência do tipo modular para linhas de transmissão. O requisito baixo custo deve ser perseguido ao longo do desenvolvimento de todos os componentes da torre.

C. Projeto Preliminar

Nesta etapa, a torre de emergência é dimensionada e modelada na concepção definida no projeto informacional, com as diversas simulações exigidas para o bom desempenho em campo. A partir disso é construído e ensaiado um protótipo com o objetivo de otimizar o projeto e conseqüentemente se obter o *layout* final da torre de emergência.

Maiores informações a respeito desta etapa são colocadas no item III.

D. Projeto Detalhado

Nesta última etapa, são finalizados os desenhos e planos de processo de fabricação e montagem da torre, com o objetivo de documentá-los e repassá-los a uma empresa para fabricação da torre em escala industrial.

A aplicação desta metodologia neste projeto de P&D visa não somente atingir os objetivos propostos anteriormente num prazo de 24 meses, como também atingi-los com o orçamento proposto.

III. ANÁLISE PRELIMINAR DA TORRE DE EMERGÊNCIA - I

Conforme colocado no item II.C, a torre de emergência deve ser dimensionada e modelada na concepção definida no projeto informacional, com as diversas simulações exigidas para o bom desempenho em campo. Sendo assim, foram calculadas todas as possíveis situações de carregamento que uma torre de emergência pode ser submetida em serviço. Em seguida é analisado o comportamento mecânico com *software* de simulação numérica da torre na concepção selecionada na etapa de projeto conceitual.

A. Árvores de carregamento da torre de emergência

Diversas hipóteses de carregamento foram analisadas, para a torre de emergência na condição em suspensão e em ancoragem. Na condição da torre em suspensão se pode citar as seguintes árvores de carregamento: 1) içamento do pára-raios, 2) içamento da fase superior, 3) içamento da fase intermediária, 4) içamento da fase inferior, 5) todas as fases conectadas e sem vento, 6) todas as fases conectadas e com vento; e na condição da torre em ancoragem: 7) tracionamento máximo de montagem e sem vento, 8) todas as fases conectadas e sem vento, 9) todas as fases conectadas e com vento transversal.

Para efeito de cálculo das cargas nos cabos e sobre os elementos estruturais da torre, foram utilizadas as seguintes especificações no presente projeto:

- Número de condutores por fase: 4;
- Temperatura coincidente: 15° C;
- Tipo de terreno: B;
- Altura da torre: 34m;
- Vão entre torres: 244m para a tensão de 525 kV;
- Velocidade básica do vento: 30,56 m/s (110km/h);
- Tensão máxima de operação: 525kV;
- Altitude do local de montagem da torre: 100m.

Para o cálculo das cargas nos condutores e no pára-raios foram considerados o efeito do peso próprio dos cabos e a pressão devido ao vento. Nos isoladores, as cargas consideradas também foram o seu peso próprio, pressão devido ao vento e peso das ferragens e da roldana. As cargas nos suportes são devidas ao seu peso próprio e a pressão do vento. Maiores detalhes sobre estes cálculos são encontrados em [3]. A norma a ser seguida para o cálculo destas cargas é a NBR 5422 [6].

Do cálculo das cargas nas diversas hipóteses de carregamento, conclui-se que as hipóteses mais críticas para a torre de emergência são a 6 e a 9. As figuras 2 e 3 ilustram estas duas hipóteses de carregamento.

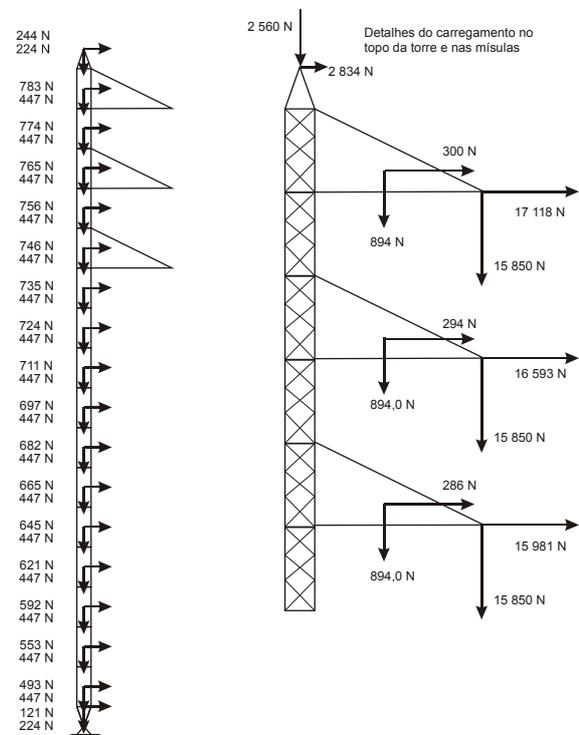


Figura 2. Hipótese 6 – torre em suspensão: todas as fases conectadas e com vento.

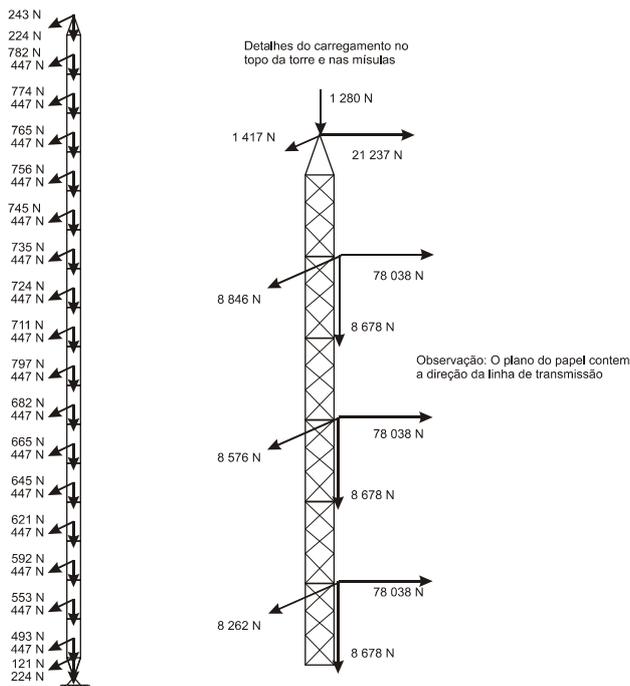


Figura 3. Hipótese 9 – torre em ancoragem: todas as fases conectadas e com vento.

B. Análise de estabilidade da torre de emergência

No projeto estrutural de uma estrutura do tipo torre de coluna única estaiada, deve ser analisado o seu comportamento quanto à sua estabilidade e a resistência de seus elementos estruturais. Desta forma, nos modelos para simulação numérica de comportamento da torre nesta etapa de projeto preliminar, devem ser considerados: forma geométrica e dimensões dos seus elementos estruturais; quantidade, localização e as dimensões dos cabos para o estaiamento. Na figura 4 é mostrado o modelo numérico da torre na hipótese 6 de carregamento com as dimensões principais ressaltadas.

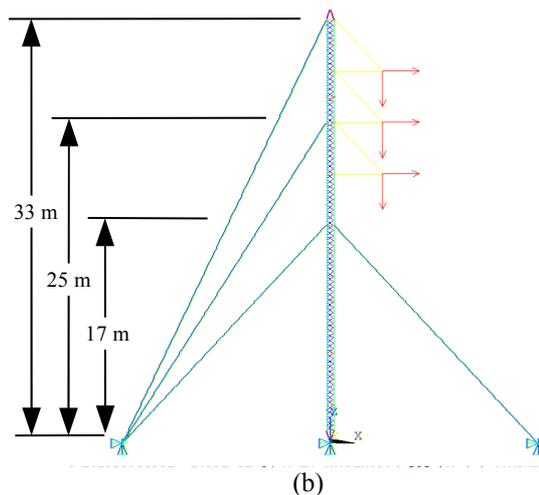
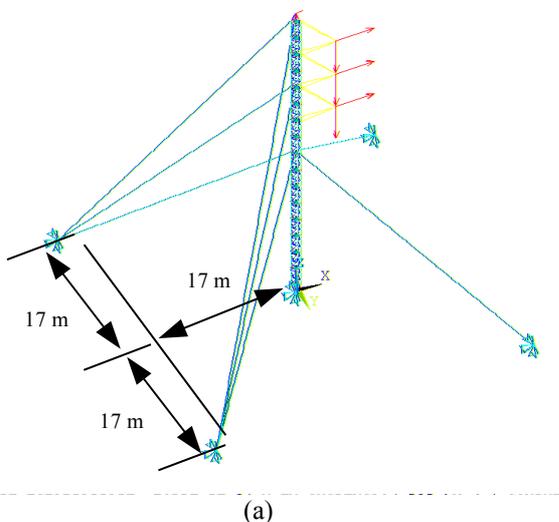


Figura 4. Modelo numérico para simulação da hipótese 6.

As figuras 5 e 6 apresentam o primeiro modo de flambagem com o vento atuando da esquerda para a direita na condição da torre em suspensão e na condição da torre em ancoragem, respectivamente.

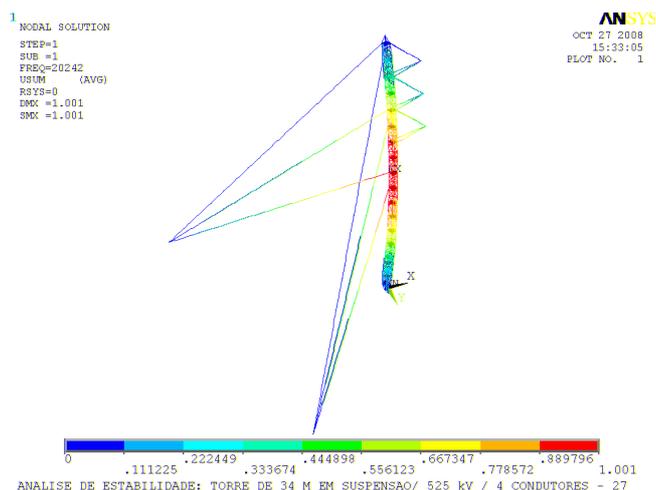


Figura 5. Análise de estabilidade na torre na hipótese 6.

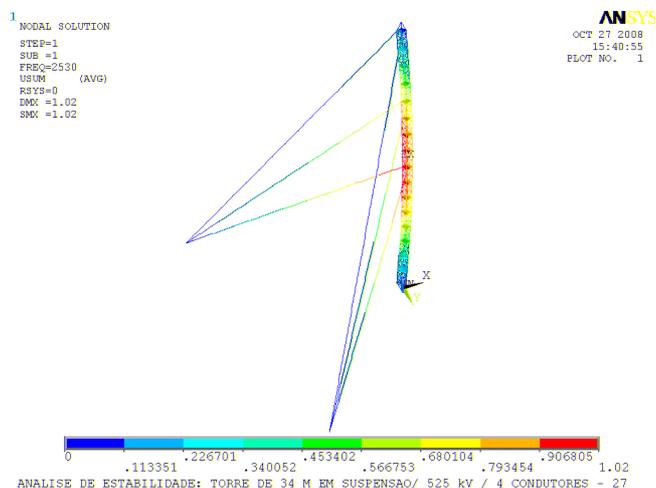


Figura 6. Análise de estabilidade na torre na hipótese 9.

Segundo os resultados obtidos com os modelos numéricos da torre com as propriedades de material e de seção transversal, definidas na etapa de projeto conceitual e preliminar, o fator de segurança é de 1,3 para a torre em suspensão e de 1,2 para a torre em ancoragem para as análises de estabilidade.

C. Análise estática da torre de emergência

As figuras 7 e 8 apresentam as máximas tensões atuantes nos elementos estruturais com o vento atuando da esquerda para a direita na condição da torre em suspensão e na condição da torre em ancoragem, respectivamente.

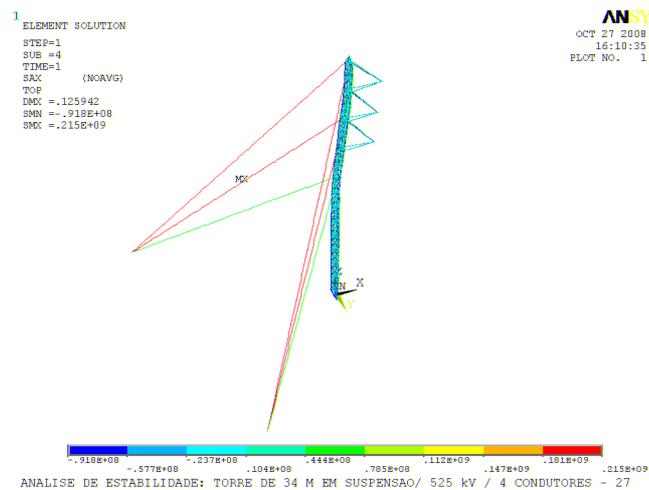


Figura 7. Análise estática na torre na hipótese 6.

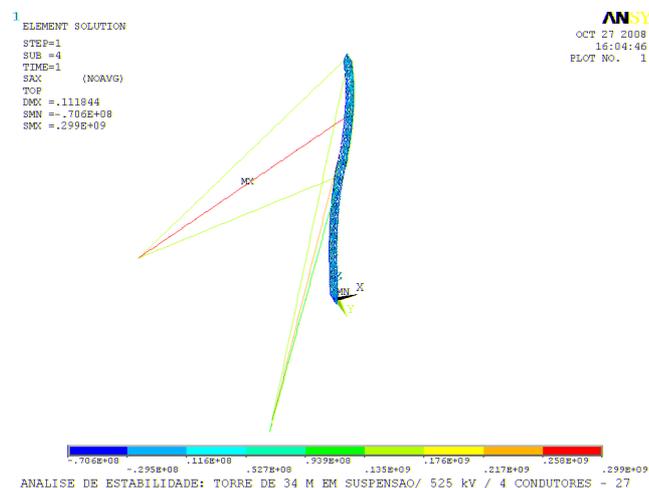


Figura 8. Análise estática na torre na hipótese 9.

Nas análises estáticas realizadas com esses modelos as maiores tensões nos seus elementos estruturais foram 91,8 MPa e 70,6 MPa, respectivamente. As maiores tensões de von Mises que ocorrem nos estais são 215 MPa e 299 MPa, respectivamente.

IV. ENSAIOS MECÂNICOS DE PROTÓTIPOS EM LABORATÓRIO

Dentre as orientações de projeto feitas pelo IEEE [5], estão colocadas recomendações técnicas (material e forma ge-

ométrica dos elementos estruturais e fabricação) e recomendações para ensaios mecânicos. As recomendações técnicas foram observadas com detalhes e auxiliaram a equipe técnica na definição da concepção da torre de emergência deste projeto. Quanto aos ensaios mecânicos, o guia recomenda que sejam realizados ensaios de compressão, flexão, compressão/flexão e torção nos protótipos de módulo. Os três primeiros ensaios foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas – LEE (http://www.ecv.ufsc.br/secdepto/porta_lee/lee.htm), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, enquanto que o ensaio de torção não foi realizado em virtude da dificuldade em aplicar uma carga lateral excêntrica no protótipo com o dispositivo utilizado para o ensaio.

Todos os três ensaios foram realizados em um pórtico, conforme ilustrado na figura 9, com as cargas sendo aplicadas por cilindros hidráulicos posicionados transversalmente ou verticalmente ao protótipo e medidas por células de carga. Os deslocamentos foram medidos por LVDTs (*Linear Variable Differential Transducer*) em alguns pontos do protótipo. Os sinais das células de carga e dos LVDTs foram obtidos por um sistema de aquisição de sinal marca Spider 8 da HBM e monitorados por um PC, como pode ser observado na figura 10.



Figura 9. Pórtico onde foram realizados os ensaios.



Figura 10. Monitoramento dos sinais das células de carga e dos LVDTs.

A. Ensaio do protótipo sob compressão

A figura 11 apresenta o protótipo sendo ensaiado com uma carga compressiva e os deslocamentos sendo medidos na parte superior.



Figura 11. Ensaio de compressão.

A figura 12 apresenta a curva deslocamento x força vertical aplicada.

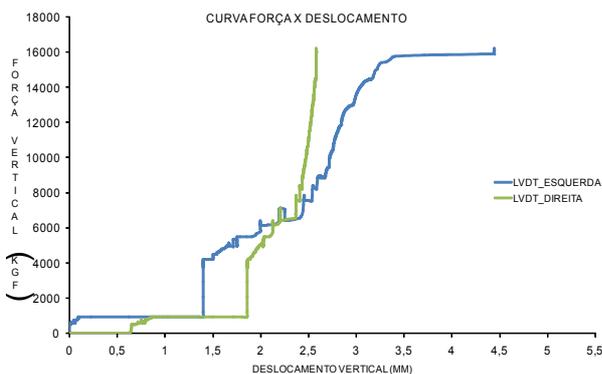


Figura 12. Deslocamentos verticais

Segundo o *IEEE* deve ser aplicada uma carga compressiva de 290 kN como valor limite. A carga máxima aplicada neste protótipo foi de 294,3 kN (30.000 kgf). Vale salientar que, nesse ensaio, os deslocamentos foram monitorados até 4,5 mm, o que corresponde a uma carga transversal aplicada no extremo livre do módulo de cerca de 157 kN. Este procedimento foi adotado para que não ocorresse nenhum dano nos LVDTs na ocasião da ruptura do protótipo.

B. Ensaio do protótipo sob flexão

A figura 13 apresenta o protótipo sendo ensaiado com uma carga transversal e os deslocamentos sendo medidos na lateral superior.

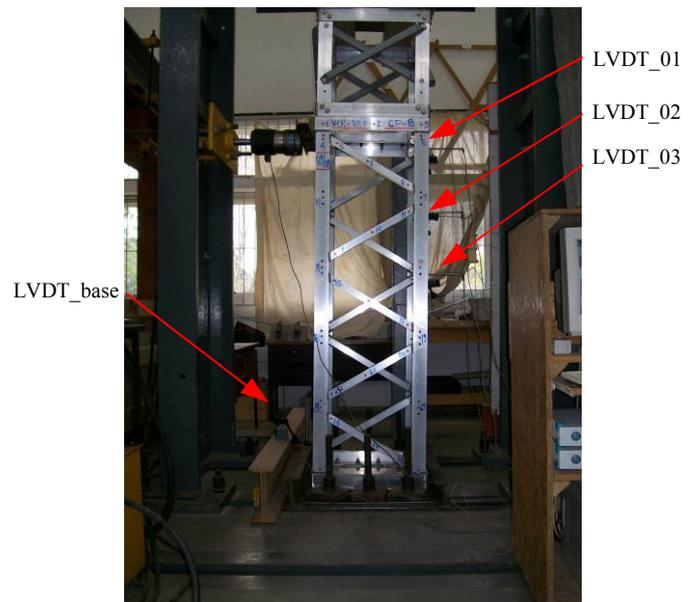


Figura 13. Ensaio de flexão.

A figura 14 apresenta a curva deslocamentos x força transversal aplicada.

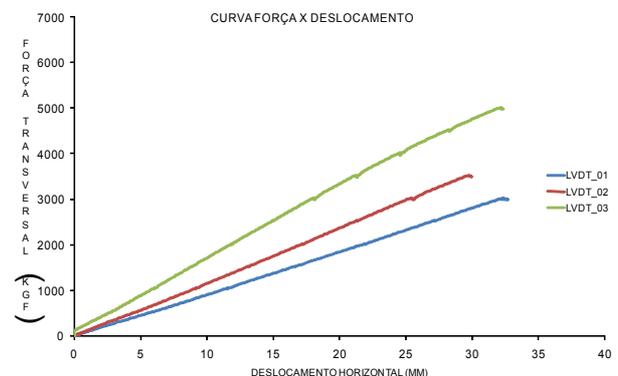


Figura 14. Deslocamentos transversais.

Segundo o *IEEE*, deve ser aplicada uma carga compressiva de 11,4 kN. A carga máxima aplicada neste protótipo foi de 70,5 kN (7.184 kgf).

Este ensaio mostrou ser de muita importância, pois foram encontradas falhas nos protótipos que eram impossíveis de

serem identificadas em modelos numéricos. A figura 15 mostra essas falhas, que foram a flambagem da aba vertical da cantoneira da base do módulo e a ruptura ocorrida no cordão de solda no montante tracionado quando da aplicação da carga máxima.



(a)



(b)

Figura 15. Falhas identificadas nos protótipos: (a) flambagem da aba da cantoneira e (b) ruptura no cordão de solda.

C. Ensaio do protótipo sob compressão/flexão

A figura 16 apresenta o protótipo sendo ensaiado com uma carga transversal e três cargas verticais, e os deslocamentos sendo medidos na lateral superior pelos LVDT_01 a 03.

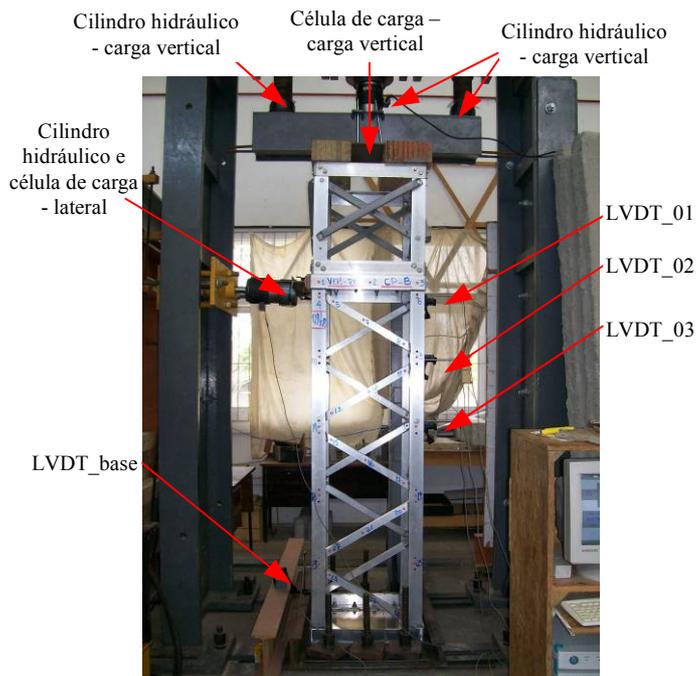
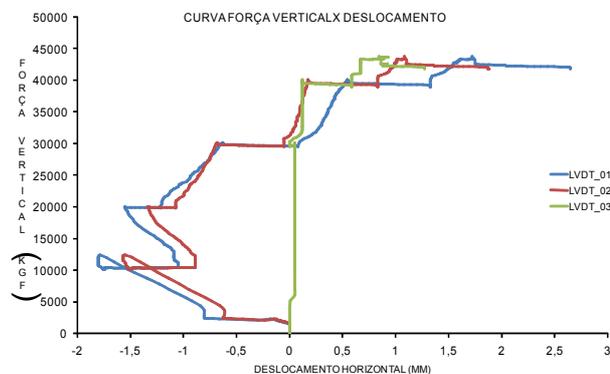
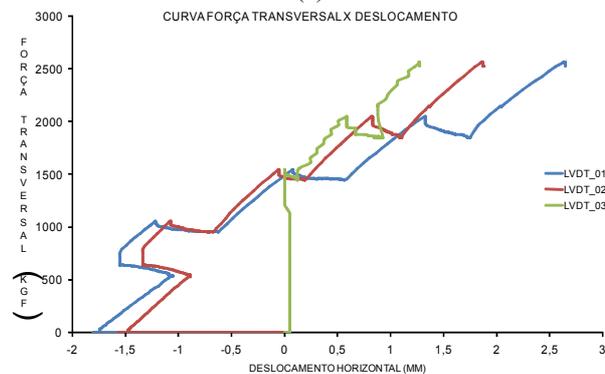


Figura 16. Ensaio de compressão/flexão.

A figura 17 apresenta as curvas força vertical x deslocamento e força transversal x deslocamento dos 3 LVDTs que medem o deslocamento lateral dos módulos. Devido à dificuldade em aplicar as duas cargas, lateral e vertical, ao mesmo tempo, adotou-se a estratégia de manter uma carga constante enquanto a outra era aplicada.



(a)



(b)

Figura 17. Deslocamentos transversais: (a) força vertical e (b) força transversal.

Segundo o *IEEE*, deve ser aplicada uma carga transversal de 22,2 kN e uma carga compressiva de 445 kN. As cargas máximas aplicadas neste protótipo foram de 24,5 kN (2.500 kgf) para a carga transversal e de 441,4 kN (45.000 kgf) para a carga vertical.

V. ANÁLISE PRELIMINAR DOS DEMAIS COMPONENTES DA TORRE DE EMERGÊNCIA

Além da torre propriamente dita, formada por módulos parafusados entre si, há os seguintes componentes adicionais: a) uma base articulada, b) uma pontina, c) três mísulas e o estaiamento. Além destes componentes citados, a torre possui alguns acessórios que devem ser concebidos para atender às suas funções de forma adequada e projetados para resistir aos esforços oriundos das suas aplicações. Neste sentido, neste projeto de P&D estão sendo desenvolvidos também o pau-de-carga móvel, ou *gin-pole*, e o pau-de-carga fixo.

No projeto destes componentes da torre de emergência também foram considerados nas suas concepções a facilidade no transporte, na montagem (interpretado como baixo peso e modularidade de seus elementos), no processo de fabricação e o seu baixo custo.

A base articulada permite que a torre possa ser instalada em terrenos inclinados, assim como oferece duas opções de montagem da torre: a) uma com os módulos totalmente ou parcialmente montados no solo e b) outra com a torre montada já na sua posição vertical. A pontina é o elemento onde são instalados o pára-raios e as mísulas são os elementos onde são instalados os cabos condutores. O estaiamento é o conjunto de cabos pré-tensionados que dão sustentação à torre de emergência.

A. Análise estática da base articulada

Conforme mencionado anteriormente, a base articulada de uma torre de emergência deve permitir que a torre possa ser instalada em terrenos inclinados. De forma a atender aos critérios de facilidade do transporte e da montagem, a base articulada é fabricada em alumínio, com exceção de alguns elementos, e o conceito de placa sanduíche é empregado na chapa que desempenha o papel de fundação da torre. A base possui também um elemento denominado *Ball-Joint* que permite uma maior flexibilidade no momento de montagem da torre.

Após os estudos realizados para a otimização da base articulada apresentados em [4], em razão do cálculo mais apurado da carga vertical atuante na torre de emergência que é de 245 kN (25.000 kg), a concepção final da base articulada é conforme apresentado na figura 18, e atingiu um peso de 2,3 kN (231,44 kgf).

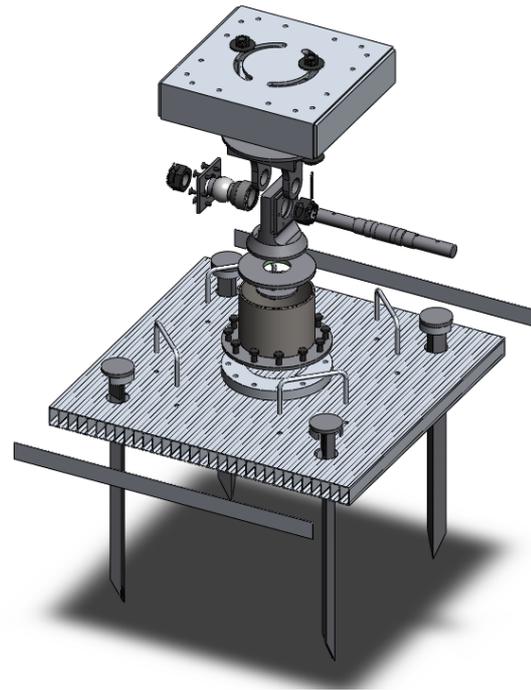


Figura 18. Vista explodida da base articulada.

B. Análise de estabilidade e estática da mísula

No projeto da mísula deve ser considerada a sua estabilidade, uma vez que a sua parte inferior é submetida a cargas compressivas, conforme ilustrado na figura 2, assim como a sua resistência mecânica. A mísula na sua concepção final é formada por elementos estruturais do tipo tubos de seção retangular nos montantes e por cantoneiras nos contraventamentos. No seu projeto foram consideradas as cargas da hipótese 4, conforme descrito no item II.

As figuras 19 e 20 apresentam os resultados obtidos nas análises de estabilidade e estática pela distribuição da tensão equivalente de von Mises.

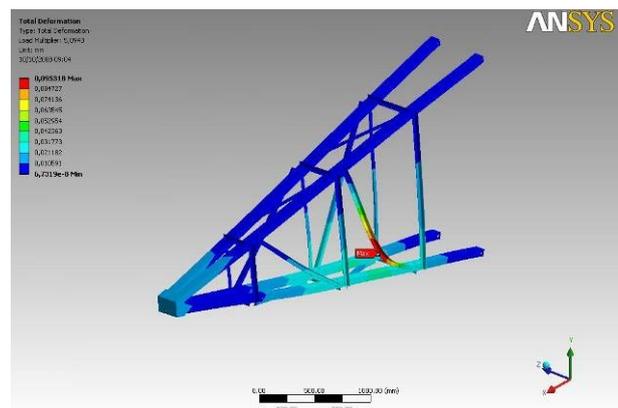


Figura 19. Análise de estabilidade na mísula.

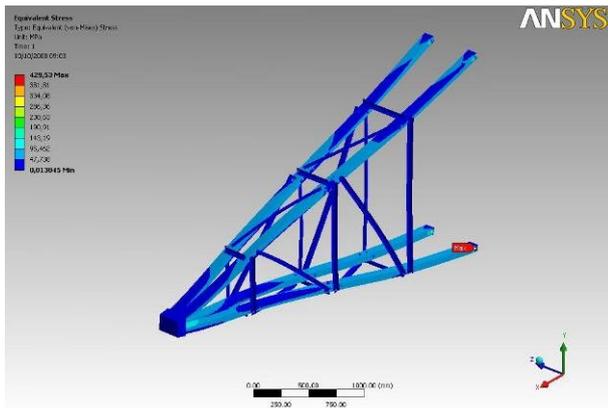


Figura 20. Análise estática na mísula.

Da análise de estabilidade, observa-se que o fator de segurança para esta concepção é superior a 5. Se for desprezada a máxima tensão de 429 MPa que ocorre em um ponto de aplicação das condições de contorno, as demais tensões que ocorrem na mísula são inferiores a 150 MPa.

C. Análise estática da pontina

A pontina é formada pelos mesmos elementos estruturais que compõem os módulos da torre. No seu projeto foram consideradas as cargas da hipótese 9 de carregamento conforme colocado na figura 3.

A figura 21 apresenta a distribuição das tensões equivalentes de von Mises na pontina. Se for desprezada a máxima tensão de 119 MPa obtida em um canto vivo, intrínseco ao modelo geométrico desenvolvido, as tensões que ocorrem na pontina são inferiores a 50 MPa.

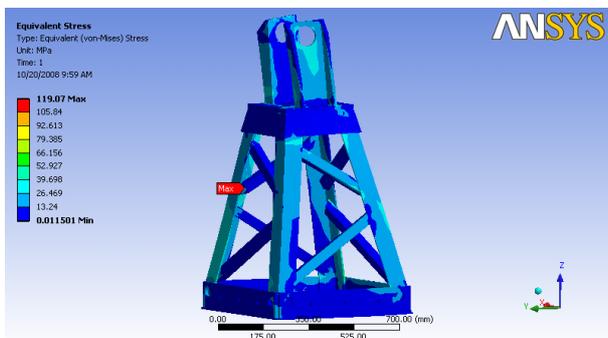


Figura 20. Análise estática na pontina.

D. Análise estática do pau-de-carga móvel

O pau-de-carga móvel ou *gin-pole*, é o dispositivo usado para içar os módulos superiores quando se opta em montar a torre na posição vertical, seja parcialmente, seja totalmente. A figura 21 apresenta seu princípio de funcionamento: (a) *gin-pole* acoplado na extremidade superior de um módulo, (b) *gin-pole* içando um módulo no solo e (c) módulo içado e parafusado no módulo inferior. Após estas operações, o *gin-pole* é basculado (girado em torno de um pino na sua base), sendo acoplado ao módulo superior, estando pronto para içar o módulo seguinte.

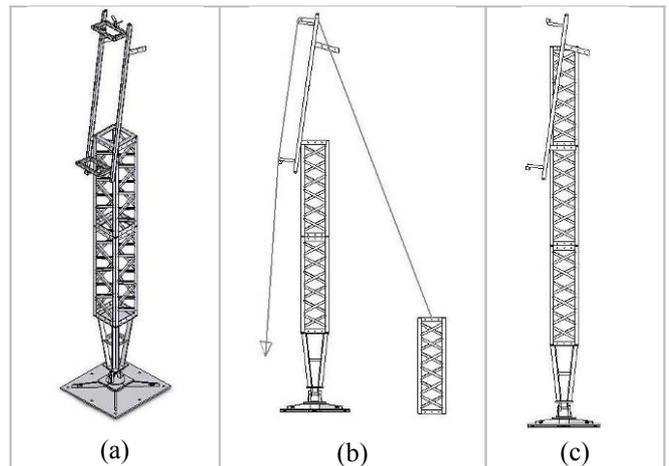


Figura 21. Princípio de funcionamento do *gin-pole*.

No projeto estrutural do *gin-pole* deve ser analisado o seu comportamento quanto à sua estabilidade e a resistência de seus elementos estruturais. Desta forma, nos modelos para simulação numérica de comportamento desta peça nesta etapa de projeto preliminar devem ser considerados: forma geométrica e dimensões dos seus elementos estruturais.

Os esforços atuantes no *gin-pole* quando da operação de içamento de um módulo são determinados em função do peso do módulo e da posição de aplicação das cargas oriundas desta operação.

As figuras 22 e 23 apresentam o primeiro modo de flambagem e a distribuição da tensão equivalente de von Mises em uma concepção do *gin-pole*.

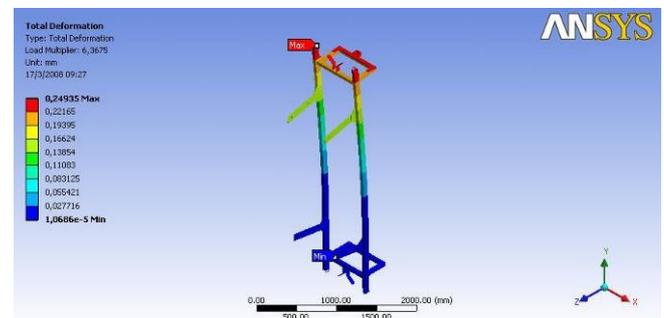


Figura 22. Primeiro modo de flambagem do *gin-pole*.

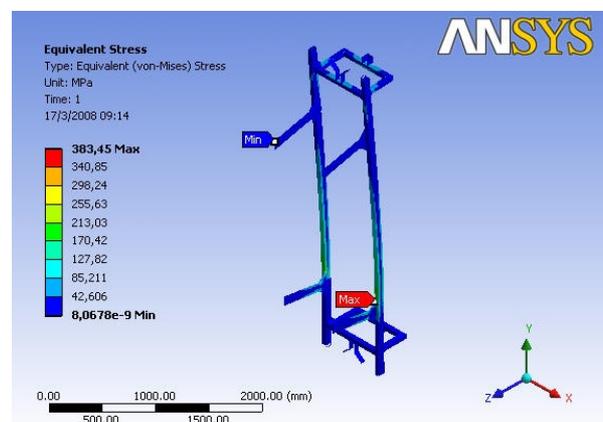


Figura 23. Tensão equivalente de von Mises no *gin-pole*.

Da análise de estabilidade realizada no *gin-pole* nesta concepção, observa-se que o fator de segurança para a esta-

bilidade é 6,36. Se for desprezada a máxima tensão de 383 MPa obtida em uma região de mudança de geometria, a tensão que surge no *gin-pole* é de 200 MPa. Considerando que esta tensão surge em uma região de solda onde ocorre a redução de tensão de escoamento do material, o projeto do *gin-pole* deve ser aperfeiçoado para reduzir estas tensões.

E. Análise estática do pau-de-carga fixo

O pau-de-carga fixo é um dispositivo usado para o içamento da torre quando montada parcialmente no solo. É um dispositivo prático e de fácil manuseio cuja função é permitir o içamento de até 4 módulos previamente montados na posição horizontal, conforme apresentado na figura 24.

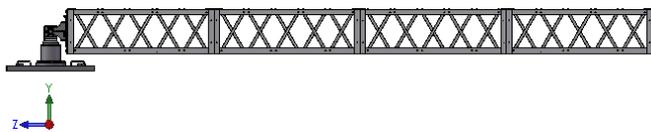


Figura 24. Montagem dos módulos na posição horizontal.

A figura 25 apresenta a forma como o pau-de-carga fixo é montado no primeiro módulo da torre e a figura 26 apresenta o seu princípio de funcionamento: (a) e (b) módulos na posição horizontal, (c) e (d) módulos numa posição inclinada, e (e) e (f) módulos na posição vertical. A força aplicada no tirante para içar a torre pode ser aplicada por um veículo ou por um motor elétrico.

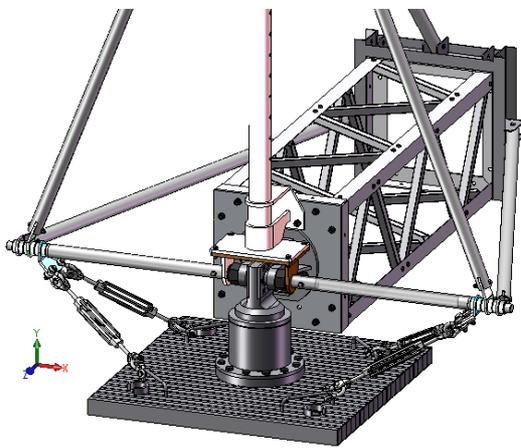


Figura 25. Montagem do pau-de-carga fixo no primeiro módulo.

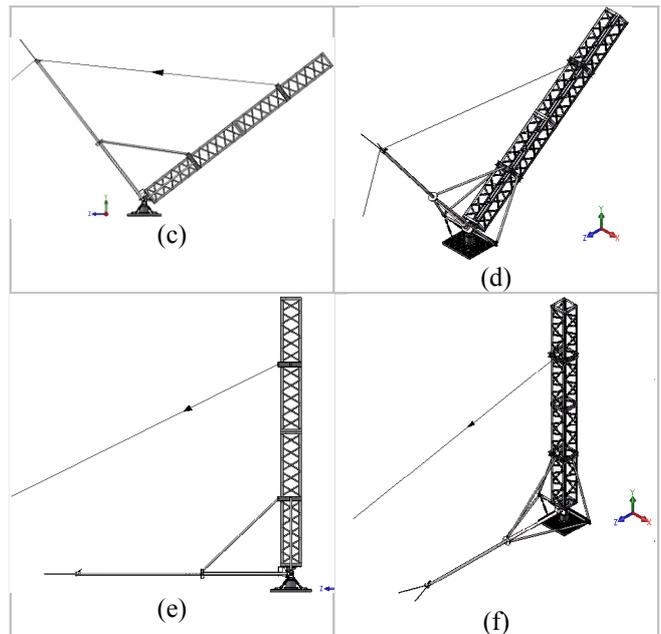
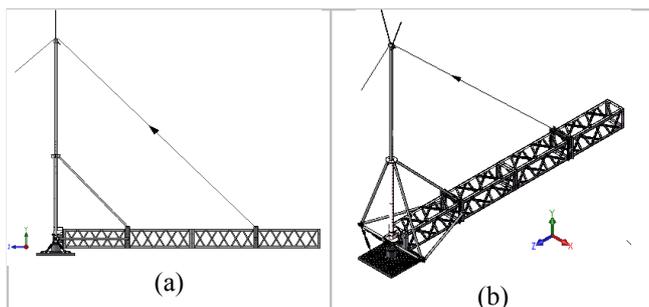


Figura 26. Princípio de funcionamento do pau-de-carga fixo.

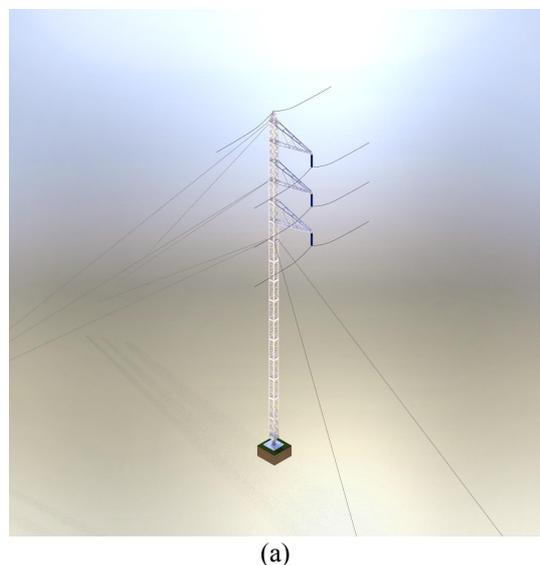
No projeto estrutural do pau-de-carga fixo, o mesmo também deve ser analisado quanto ao seu comportamento quanto à sua estabilidade e a resistência de seus elementos estruturais. Desta forma, nos modelos para simulação numérica de comportamento do pau-de-carga fixo nesta etapa de projeto preliminar devem ser considerados: forma geométrica e dimensões dos seus elementos estruturais.

Os esforços atuantes no pau-de-carga fixo quando da operação de içamento dos módulos são determinados em função do peso dos 4 módulos e da posição de aplicação das cargas oriundas desta operação.

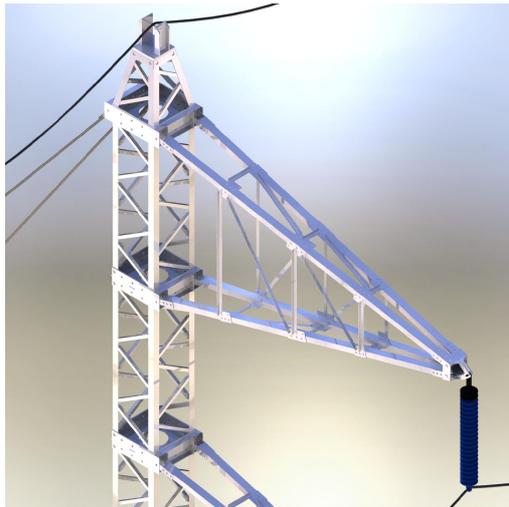
O projeto do pau-de-carga fixo se encontra ainda na etapa de projeto preliminar, no qual os modelos geométricos de seus elementos estruturais estão sendo usados para a simulação numérica.

F. Modelo da torre completa

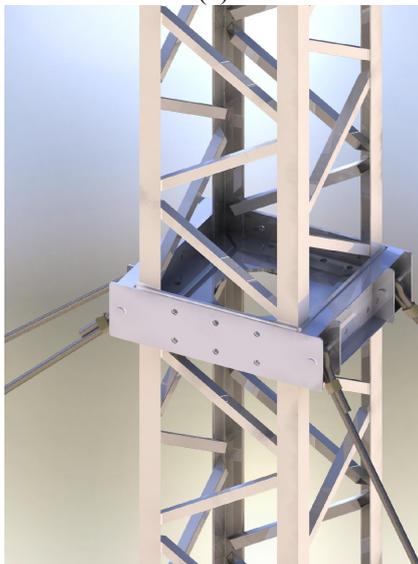
A figura 27 apresenta a torre de emergência do presente projeto e detalhes de alguns de seus componentes.



(a)



(b)



(c)

Figura 27. Torre de emergência com alguns de seus componentes.

VI. CONCLUSÕES

Este projeto de P & D propôs o desenvolvimento de uma torre de emergência para linhas de transmissão de alta tensão com tecnologia totalmente nacional. Da aplicação da metodologia de projeto para o desenvolvimento de produtos no presente projeto, a qual é dividida 4 etapas evolutivas, foi possível definir a concepção de todos os seus elementos, atendendo os critérios de facilidade no seu transporte, na sua montagem e baixo custo. Neste contexto, foram empregados conceitos de engenharia de vanguarda associados com ferramentas de modelamento geométrico e de simulação numérica de comportamento mecânico. Ensaio mecânicos foram também realizados em protótipos, em atendimento ao *IEEE - Guide for Design and Testing of Transmission Modular Restoration Structure Components*. Estes ensaios foram fundamentais para a identificação de inconsistências nos modelos numéricos e conseqüente aprimoramento.

Por fim, pretende-se com um ensaio em escala real da torre de emergência desenvolvida no presente projeto, avaliar seu desempenho e compará-lo com o obtido nos mode-

los numéricos.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Eletrosul Centrais Elétricas S.A. e a ANEEL pelo financiamento da pesquisa que propiciou o desenvolvimento dos modelos numéricos e reais e o custeio da equipe que resultou no presente trabalho.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pahl, G.; Beitz, W., *Engineering Design: a Systematic Approach*, 2nd ed. London: Springer, 1996.
- [2] Roozenburg, N. F. M; Eekels, J., *Product Design: Fundamentals and Methods*, Chichester: John Wiley & Sons, 1995.
- [3] L. C. Nicolazzi. J. C. Pereira, "Desenvolvimento de Projeto e Protótipo de Torre de Emergência para Linhas de Transmissão," Eletrosul/FEESC/UFSC, Florianópolis, SC, Relatório Técnico V. No. 805-700-07, Mar. 2008.
- [4] L. C. Nicolazzi. J. C. Pereira, "Desenvolvimento de Projeto e Protótipo de Torre de Emergência para Linhas de Transmissão," Eletrosul/FEESC/UFSC, Florianópolis, SC, Relatório Técnico VII. No. 805-700-07, Jul. 2008.
- [5] *IEEE Guide for Design and Testing of Transmission Modular Restoration Structure Components*, IEEE Power Engineering Society, USA. 2006.
- [6] NBR 5422 - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. ABNT. Brasil. 1985.