



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/06
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS TUBULARES EM LINHAS DE TRANSMISSÃO -
ASPECTOS TÉCNICOS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS.**

**Ismar Esaú dos Santos (*)
ESAU ENGENHARIA**

**Thiago Michel do Valle Pedroso
SECCIONAL BRASIL SA**

RESUMO

Este informe técnico aborda a utilização de estruturas de seção triangular e também o uso de elementos tubulares em posições de maior carregamento, no projeto de linhas de transmissão, com destaque para os aspectos técnicos que resultam na redução de peso, menor coeficiente de arrasto ao vento, maior facilidade de montagem, resultando em uma alternativa economicamente viável comparada com os projetos tradicionais com uso de estruturas treliçadas de seção quadrada e perfis tradicionais. Também são destacados os aspectos ambientais, face a menor área ocupada no solo, redução nas fundações e aspecto visual menos agressivo.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Torres Triangulares, Elementos Tubulares,

1.0 - INTRODUÇÃO

Em artigo publicado na revista Electra em 2011 (1), o Dr. Walter Bückner relata casos bem sucedidos de linhas de transmissão com torres triangulares com montantes tubulares construídas na década de 50 na Alemanha e lamenta a descontinuidade imotivada do uso dessas estruturas.

No Brasil, a utilização de torres com seção triangular com elementos tubulares vem ocorrendo há cerca de 40 anos no setor de telecomunicações, sendo notórias as vantagens do uso dessas estruturas. No início havia restrições ao emprego de tubos face ao temor da corrosão interna dos mesmos. O uso de aços patináveis resistentes a corrosão, tornou esse uso viável.

Na área de transmissão tem-se exemplo recente na instalação dos pórticos do laboratório de Ultra Alta Tensão do CEPEL, em Nova Iguaçu, RJ. O primeiro pórtico, de 70m altura e 70m largura, com quase 200 toneladas de peso, foi instalado em 2013. Outros dois serão instalados em 2015, todos com mastros de seção triangular utilizando colunas dos montantes e treliças em tubos de aço patinável galvanizado.

Outro exemplo são as torres de 500 kV instaladas na travessia do rio Amazonas, projetadas e fabricadas na China, embora de seção quadrada, mas inteiramente construídas com tubos de aço galvanizado.

2.0 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE TORRES DE SEÇÃO TRIANGULAR

2.1 Torres triangulares

A configuração triangular para estruturas treliçadas proporciona uma melhor distribuição dos esforços e a menor resistência ao vento.

(*) Rua Fiore Della Nina, 168 - ap143 – 13201-100 - Vila Inhamupe, Jundiaí - SP - Brasil.
Tel: (+55 11) 4522-1027 – Email: iesau@uol.com.br

Os projetos elaborados com seção triangular resultam em menor área requerida no solo para implantação das estruturas e menores custos com as fundações, comparando com estruturas similares usando perfilados e seção retangular.

O melhor comportamento aerodinâmico leva também a uma redução do custo das fundações

O uso de elementos tubulares acentua os aspectos positivos acima descritos.

A torre de seção triangular requer apenas três fundações. Mesmo considerando um acréscimo nos esforços por fundação, ao se trocar 4 por 3 há uma economia em escavação, estacas, concreto e ferragem, resultando no conjunto um menor custo das fundações.

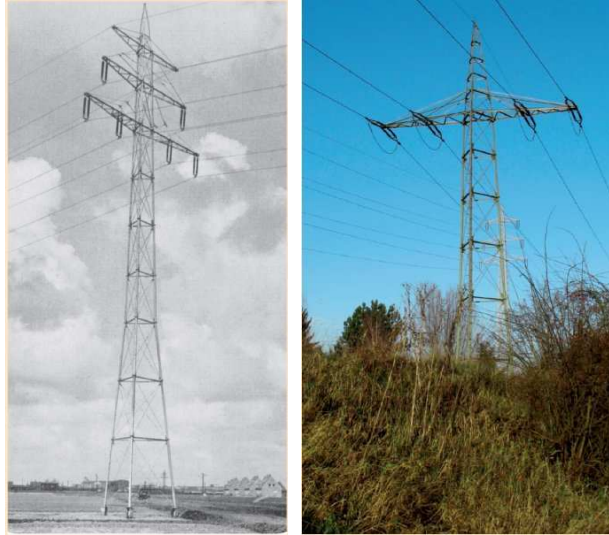


FIGURA 1 – Torres de transmissão construídas na década de 50 na Alemanha [1]

O artigo mencionado da Revista Electra [1] relata os ganhos obtidos na construção de uma linha de 110 KV na Alemanha, em 1952, utilizando torres triangulares com montantes tubulares, comparando com uma linha convencional de seção retangular e perfis L.

- Aço das fundações – 71%
- Concreto para fundações – 78,2%
- Superfície para pintura – 71,7%
- Peso total de torres 421 contra 435 ton – 97%

No custo total da obra a economia foi de 9,5%

No contexto atual o custo de aquisição tende a ser menor conforme a escala de fornecimento. Contribuem para elevar os custos os aços patináveis, ligeiramente mais caros e algumas etapas do processo produtivos ainda não automatizadas, porém são compensados pelo menor peso, fundações menores e menor custo de montagem.

Um ganho significativo, geralmente não percebido na implantação, vem da manutenção. O uso de aços patináveis posterga significativamente qualquer intervenção para tratamento anticorrosivo.

2.2 Utilização de peças estruturais tubulares

Devido a melhor distribuição dos esforços em toda a seção, os tubos apresentam maior resistência quando comparados com as cantoneiras tanto a tração quanto a compressão. Existem fenômenos, alguns ainda não perfeitamente explicados, que levam a um significativo aumento de resistência quando os tubos são submetidos a esforços de compressão e flexão.

O resultado é que os tubos apresentam maior comprimento de flambagem para a mesma seção, comparado aos perfis L, requerendo menor quantidade de diagonais de contraventamentos no projeto estrutural e consequentemente, menor peso das estruturas.

O gráfico da Figura 2 mostra uma comparação da resistência à compressão entre perfis L90° e tubos ocos e preenchidos com concreto. O uso de colunas com concreto já foi utilizado em alguns projetos de torres de telecomunicações e também no Pórtico do Laboratório de Ultra Alta Tensão do CEPEL.

Em projetos de torres de grande porte, a substituição dos perfis L por tubos é feita com frequência, de forma a tornar os projetos mais leves e mais econômicos.

Reduzindo as diagonais também se reduz a área exposta ao vento. O formato cilíndrico também oferece menor resistência ao vento que o dos perfis L. Como resultado, as torres com elementos tubulares apresentam menor coeficiente de arrasto que as similares com cantoneiras. Em torres triangulares com elementos tubulares a redução do coeficiente de arrasto varia de 25 a 30% conforme o projeto. Isso contribui para uma maior capacidade para o mesmo peso em aço um uma redução de peso para um mesmo carregamento.

Essa diferença pode ser facilmente visualizada comparando as imagens das torres convencionais com as torres com elementos tubulares. A Figura 3 ilustra torres construídas somente com perfis, bastante treliçadas e torres construídas somente com tubos, sendo que nessas últimas visualiza-se muitos vazios, proporcionados pela menor necessidade de contraventamentos.

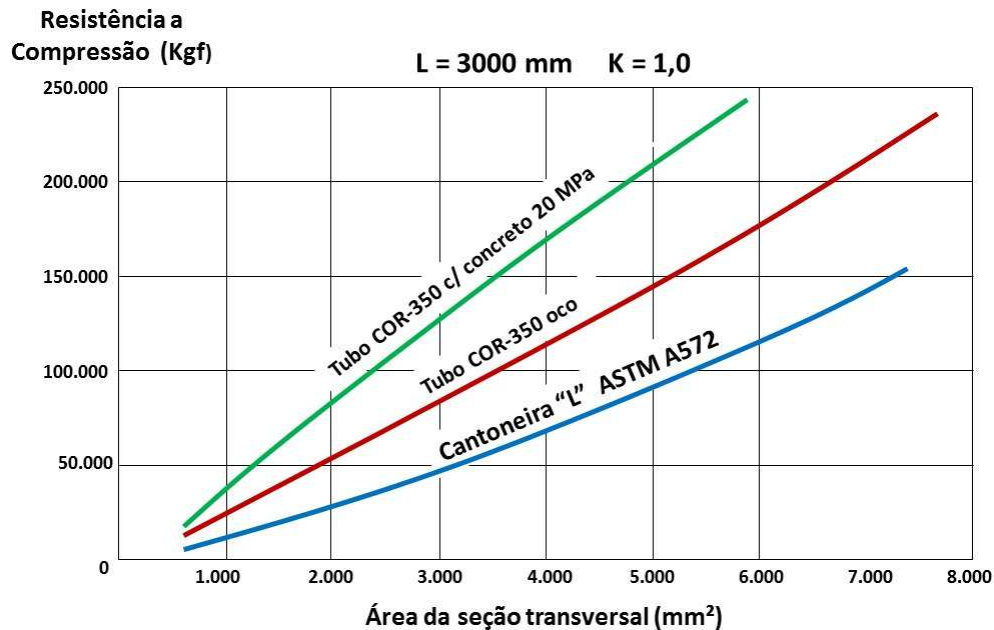


FIGURA 2 – Comparação da resistência à compressão de

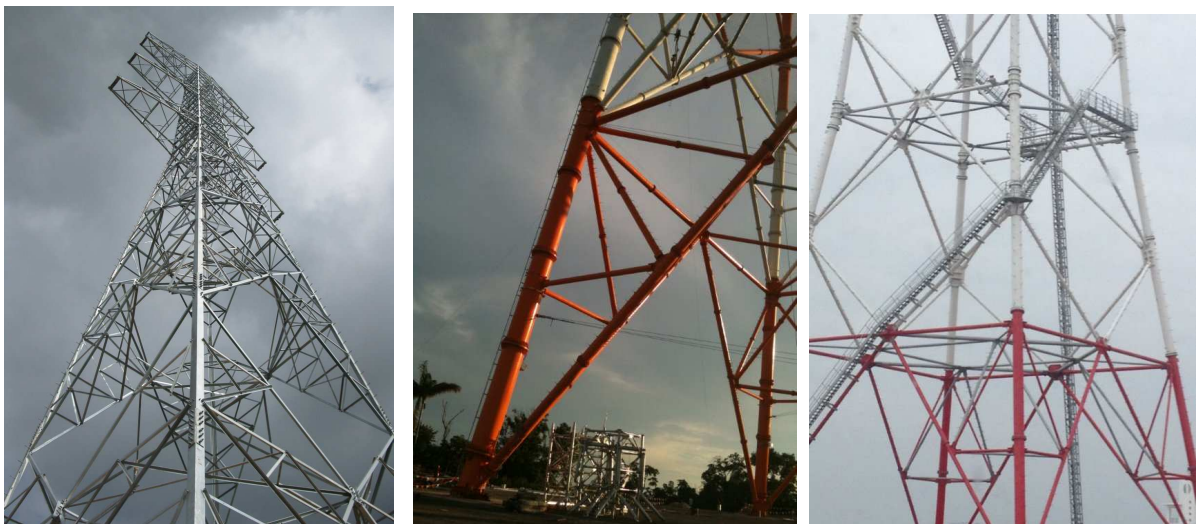


FIGURA 3 – Comparação visual perfilados x tubos; Esquerda-estrutura concebidas somente com perfilados; Centro- Estrutura de 300m da travessia do Rio Amazonas; Direita – estrutura de quase 200m fotografada na china, toda com peças tubulares.

2.3 Reforços estruturais

A maior facilidade de se fazer reforços em estruturas com elementos tubulares, quando requeridos, é mais uma das vantagens do seu uso, existindo diversas alternativas de reforço sem necessidade de furação de peças.

2.3.1 Adição de concreto

As colunas tubulares podem ser reforçadas com a adição de concreto em seu interior tornando os elementos mais rígidos e pesado com baixo custo. Essa técnica tem sido empregada em torres de telecomunicações antigas

Um exemplo de uma torre autoportante triangular de telecomunicações com 70 m de altura pesando 14,8 ton com carregamento limitado a 17m² de antenas. A concretagem das colunas (montantes) usando 5,3 m² de concreto permitiu aumentar a capacidade de carregamento para 24m² de antena (+41%), a baixo custo.

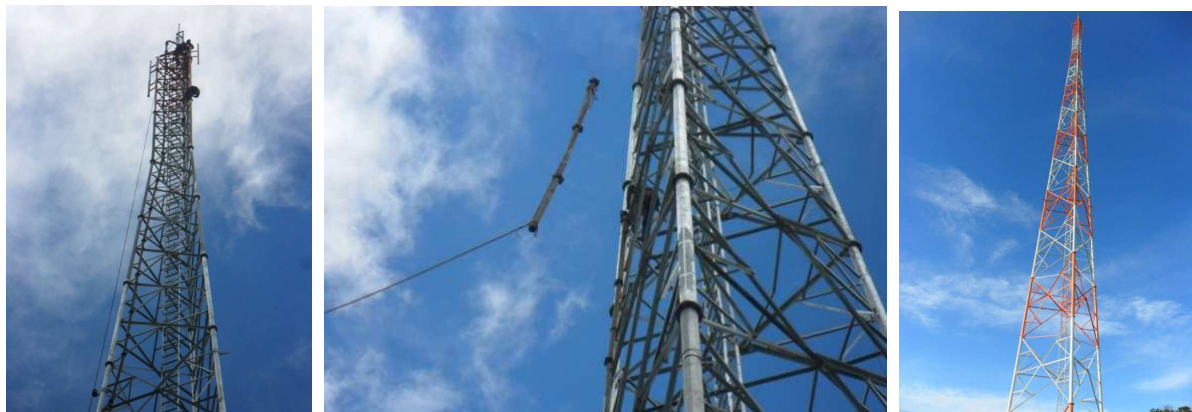


Fig 3 – torre 70m com concretagem interna das colunas após montada – aumento do carregamento admissível em 41%

1.1.2 Reforço externo

Os elementos tubulares podem também ser reforçados com adição de reforços externos sem corte ou furação de peças e sem interrupção da operação da torre. A figura 4 ilustra alguns tipos de reforços utilizados. A análise estrutural e o aumento de carregamento pretendido conduzem para a definição o tipo de reforço a ser implementado em cada caso.

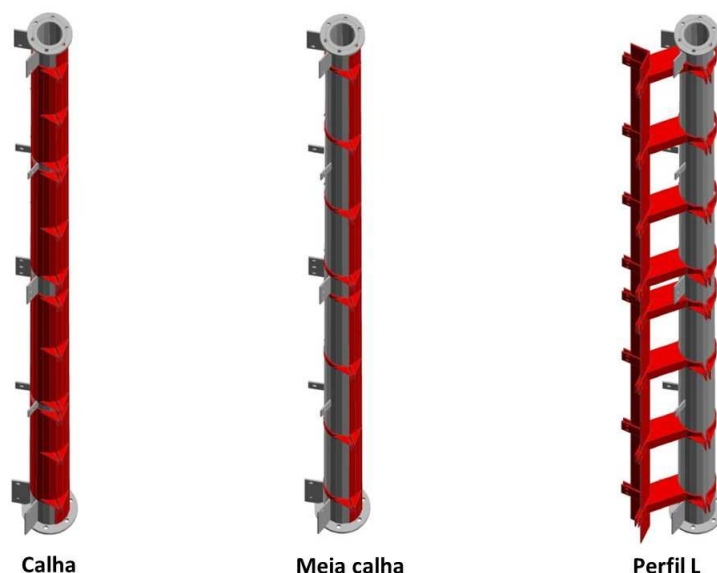


FIGURA 4 – Técnicas de reforço utilizando colunas tubulares com calha inteira, meia calha e perfil “L”

2.4 Uso de aços patináveis

O uso de aços patináveis (que forma pátina) é praticamente uma obrigatoriedade quando se fala em utilizar tubos em estruturas. Os aços comuns, ASTM A36 e ASTM A572 são suscetíveis à corrosão e mesmo bem galvanizados, em geral requerem tratamento por pintura em prazos que variam de 6 a 10 anos, nas áreas litorâneas e de poluição

industrial, a 25 anos, nas áreas rurais. Não sendo possível fazer tratamento anticorrosivo no interior dos tubos, caso não sejam selados a corrosão pode se originar no interior dos tubos.

O uso de aços patináveis resolveu essa questão. Os aços mais utilizados, COR-350, COR-500 e similares, possuem na sua composição elementos químicos que auxiliam na formação da pátina quando a superfície é exposta ao meio externo. A pátina funciona como uma barreira para o avanço da corrosão tendo efeito similar ao da pintura. No gráfico da Figura 5 são mostradas as curvas de perda de espessura ao longo do tempo para aços Conventacionais e Patináveis onde pode-se observar que a corrosão nos aços patináveis se estabiliza após a formação da pátina.

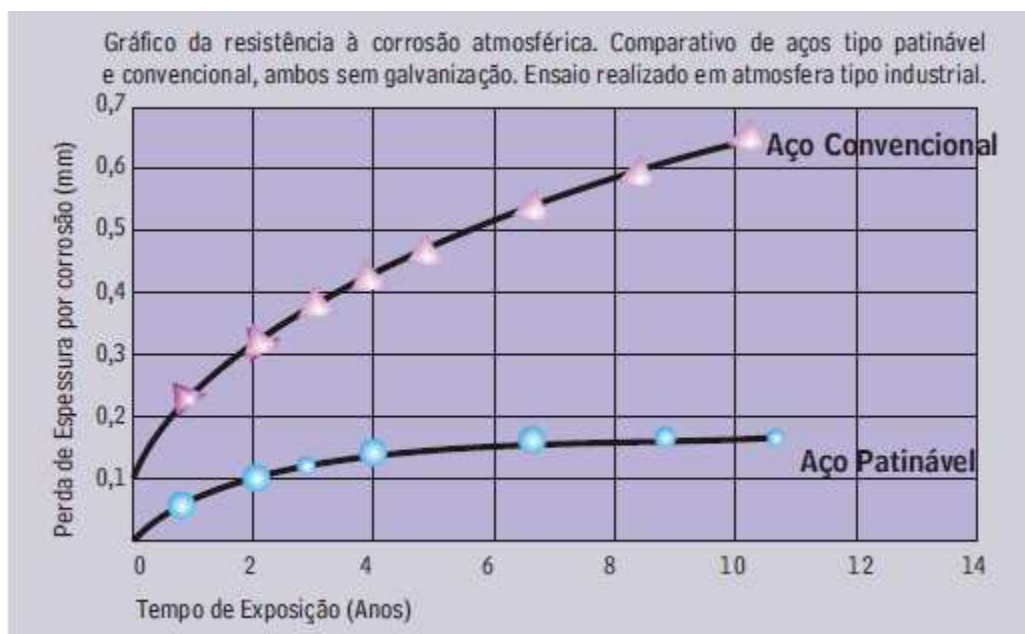


FIGURA 5 – Resistência do aço patinável comparada a dos aços convencionais

Nos Estados Unidos é comum emprego de torres de aços patináveis sem galvanização e sem pintura. No Brasil há casos de uso de aços patináveis sem galvanização, mas pintados, inclusive na área litorânea. O mais comum, no entanto, é emprego de estruturas de aços patináveis galvanizados, funcionando como barreira dupla à corrosão e aumentando significativamente a resistência da superfície ao meio externo em qualquer ambiente.

Na área de telecomunicações há centenas de estruturas fabricadas com aços patináveis galvanizados, com mais de 30 anos de uso espalhadas por todo o país, sem nenhum problema de corrosão. A pintura que costumam receber é apenas de sinalização aérea, devido a sua altura.

3.0 - ASPECTOS AMBIENTAIS

O principal benefício ao meio ambiente vem da menor área de ocupação do solo. A área entre os pés de uma torre triangular é de aproximadamente 50% de uma equivalente de seção retangular.

A redução do número de fundações contribui também para reduzir em 25% o impacto no solo.

Outro aspecto é o visual menos impactante, por resultar em torres mais esbeltas e maior transparência, notadamente quando instaladas em regiões povoadas.

4.0 – EXEMPLOS RECENTES

Em 2006 foi desenvolvida para a ETEO, hoje TAESA, a Torre de Emergência Triangular, com mastro de seção triangular estaiado, de 1 m de lado, atualmente utilizada por diversas concessionárias de transmissão e distribuição em todo o país, em linhas de 138 a 500 kV. Foi o primeiro contato com as torres triangulares e os receios de desempenho se dizimaram já na estação de testes como os ensaios do protótipo.

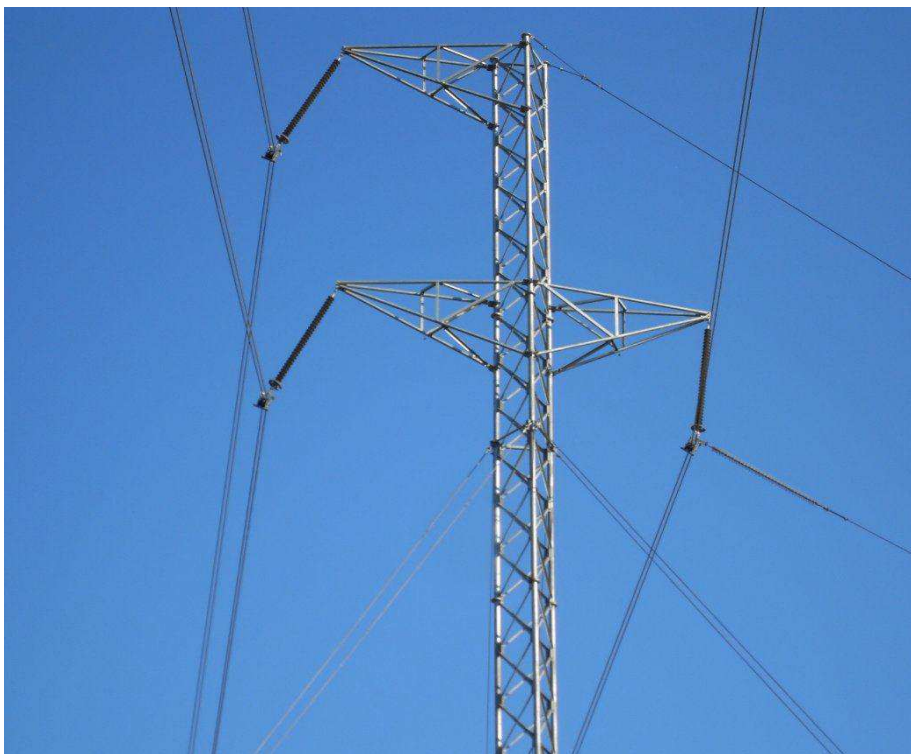


FIGURA 6 – Torre de Emergência Triangular estaiada – Uso em 460 kV com 42m altura e ângulo de 9º

Em 2012 e 2013 a Energisa Sergipe instalou torres triangulares autoportantes em duas travessias em 69 kV com vãos superiores a 600m transpondo área de proteção ambiental do Rio Poxim, em Aracaju – SE, tornando-se a primeira empresa que se tem notícia no país a utilizar torres triangulares autoportantes em instalações em tensão de transmissão.



FIGURA 7 – Torre Triangular de Transmissão – LT 69 kV Jardim – Contorno – Energisa Sergipe – Aracaju – SE – somente os montantes são tubulares

Em 2013 o CEPEL instalou o primeiro dos três pórticos do laboratório de ultra-alta tensão, consistindo em dois mastros de 70m de altura em seção triangular e uma viga também de 60m de seção quadrada, ambos com peças tubulares em aço patinável.



FIGURA 8 – Portico 70 x 70m – Laboratorio UHT CEPEL – Projeto Nacional – seção triangular e elementos tubulares

Também na mesma época foram instaladas duas torres de cerca de 300m de altura na LT 500 kV Oriximiná – Manaus – Macapá, para travessia do rio Amazonas, de seção quadrada, porém inteiramente fabricada com peças tubulares e importada da China.

Encontra-se em desenvolvimento o projeto de uma nova travessia do Rio Amazonas, na LT 230 kV Oriximiná – Juruti – Parintins. Embora mais baixas o vão a ser transposto seja de 2300m.

5.0 - CONCLUSÕES

O uso de torres triangulares é uma alternativa técnica viável no projeto de linhas de transmissão com possibilidades de ganho econômico e nos prazos de obra.

Os casos analisados até o momento se referem a projetos isolados e de pequena escala, porém indicam caminhos promissores. Somente uma aplicação em larga escala, como uma linha inteira, irá demonstrar quais os ganhos reais e capacitar o setor produtivo a aprimorar os processos, se aproximando dos vivenciados atualmente na fabricação de torres com perfilados.


O uso de aços patináveis na fabricação de peças tubulares, não deve ser considerado como um custo adicional pois os ganhos na vida útil e manutenção são notórios a médio e longo prazo, porém em geral não considerados na etapa de implantação das linhas.

O emprego de montantes tubulares com concreto também é uma oportunidade de se ter um menor emprego de aço na construção, resultando em vantagens econômicas e ambientais.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bückner, W.F. -Transmission line project is Booming – A Current Practical Consideration of Transmission Line Engineering. Cigré, Electra, 259, dec/2011
- (2) ASCE – Manual 10-90 – Design of Latticed Steel Transmission Structure – Dec/1991
- (3) IEC 60826 – Design Criteria of Overhead Transmission Lignes. Third edition, 2003-10.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

<p>Ismar Esau dos Santos Nascido em Baependi-MG em 19/07/1953 Graduado em Engenharia Elétrica em julho/1977 pela EFEI (atual UNIFEI) – Itajubá-MG Empresas: Fermenta (1977-1978); CESP e CTEEP (1979 a 2004), ocupando de 1996 a 2004 a Gerência da Divisão de Linhas de Transmissão. Aposentado em 2005; Selva Serv. Esp. L Viva - (2008 a 2010); ESAU ENGENHARIA (de 2006 até data atual) prestando serviços no desenvolvimento de estruturas para linhas de transmissão para a Seccional Brasil S/A (2011 até esta data) e consultorias para outras empresas no atendimento de emergência em LTs.</p>	
<p>Thiago Michel do Valle Pedroso Nascido em Curitiba-PR, em 11 /05 /1987. Graduado em Engenharia Civil em 2010 de pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Empresas: Seccional Brasil S/A, desde 2009 a até a presente data, atuando no projeto de estruturas metálicas e fundações para Linhas de Transmissão, Iluminação de grandes áreas e Telecomunicações.</p>	