



XXIV SNPTEE

CB/GLT/21

SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E

TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHA DE TRANSMISSÃO - GLT

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LTs DE AT COM A UTILIZAÇÃO INTENSIVA DE GUINDASTES AÉREOS. EXPERIÊNCIA AMERICANA E CANADENSE. VANTAGENS, DESVANTAGENS E PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO À REALIDADE BRASILEIRA.

BALEEIRO, Mauro G. (*)
Altiva Helimont

LUMRY, Mark W.
Altiva Helimont

BUENO, Irineu V.
Altiva Helimont

RESUMO

O uso intensivo de guindastes aéreos na construção de Linhas de Transmissão é uma prática corrente nos EUA e Canadá, desde 1972. Trata-se de uma tecnologia revolucionária que estabeleceu um novo paradigma para a indústria de construção especializada nessa atividade, com base no binômio da precisão x velocidade. O objetivo é criar e operar um sistema capaz de extrair o máximo da versatilidade e da capacidade desse extraordinário equipamento com o mínimo tempo de uso, ou de voo. É intrigante o fato de que no Brasil, maior mercado mundial desse ramo de construção da atualidade, essa tecnologia não seja utilizada.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão; Guindastes Aéreos; Uso Intensivo; Precisão; Velocidade.

1. INTRODUÇÃO

Os desafios recentes na engenharia dos megaempreendimentos de transmissão de energia como os do Rio Madeira, Teles Pires, Belo Monte e a ligação Tucuruí-Manaus, trouxeram grandes avanços no aspecto conceitual dos projetos das linhas de transmissão, para grandes blocos de energia a longa distância, tais como: (i) opção pelos sistemas de corrente contínua; (ii) elevação da tensão para até 800 kV na CC; (iii) utilização de feixes normais ou expandidos de até 6 subcondutores por polo ou fase; (iv) utilização de cabos de alumínio-liga de grandes diâmetros, mais leves e resistentes; (v) elevação da tensão de esticamento em % do EDS dos cabos, entre outros.

Paralelamente, a regulamentação ambiental e laboral brasileira, em constante evolução, vem se tornando cada vez mais exigente e restritiva, em especial, para os novos empreendimentos e para a indústria da construção pesada.

A combinação desses fatores impactou a geometria, a altura e os pesos das torres, com alteamento das linhas, para atendimento dos requisitos elétricos e das restrições ambientais. Em muitos casos, também impactou na relação econômica ideal entre torres estaiadas e autoportantes, por restrições ambientais quanto ao desmatamento para proteção dos estais. Os processos de licenciamento se tornaram mais longos e complexos e o atendimento da legislação para trabalhos em altura, típicos das LTs, se tornou um fator de aumento de risco e onerosidade para o construtor, com escassez de mão de obra capacitada.

Entretanto, os padrões tecnológicos de construção de linhas de transmissão no Brasil continuam rudimentares, de baixa produtividade, intensivos de mão de obra não especializada, vulneráveis a eventos climáticos, ambientalmente invasivos e de alto índice de acidentes. Portanto, ainda não responderam aos novos desafios.

Frequentes atrasos nos projetos de linhas de transmissão e até mesmo a paralização de obras têm causado apreensão no mercado. Estima-se que esses casos demandarão, mais cedo ou mais tarde, um significativo esforço

de recuperação de prazos. Ao mesmo tempo, os leilões de novas linhas de transmissão têm sido realizados com regularidade pela ANEEL, com grande interesse pelos investidores, acrescentando milhares de novos quilômetros a serem construídos, a cada ano, e constituindo-se no maior mercado mundial para esse tipo de atividade.

Haverá aí um descompasso entre demanda e oferta? Não nos cabe no propósito deste IT discutir ou antecipar um prognóstico a respeito. Mas, é certo que existem gargalos na construção de linhas de transmissão no Brasil, notadamente em relação às obras civis e eletromecânicas, a parte que vem por último, mais complexa e arriscada.

Formulamos então a pergunta: porque a tecnologia de uso intensivo de guindastes aéreos na construção de LTs é um grande sucesso nos EUA e Canadá, e aqui no Brasil ainda não foi experimentada?

2. A UTILIZAÇÃO INTENSIVA DE GUINDASTES AÉREOS NA CONSTRUÇÃO DE LTs. O ESTADO DA ARTE. EXPERIÊNCIA AMERICANA E CANADENSE.

A montagem de torres de linhas de transmissão com uso intensivo do guindaste aéreo Skycrane S64 teve início nos EUA em 1972, pela empresa Erickson Aircrane. Daí em diante, as técnicas de construção de LTs com uso de helicópteros de grande porte evoluíram muito, passando por um processo gradativo de refinamento. Em particular, a concepção e o aperfeiçoamento dos sistemas auxiliares de acoplamento das seções de torres, conhecidos como “guias & batentes” (stops & guides) aumentaram muito a segurança das operações, reduzindo os riscos e incrementando a produtividade. Nos EUA e Canadá, dependendo das circunstâncias, o uso de guindastes aéreos estende-se também ao apoio às atividades de limpeza de faixa (“logging”), construção das fundações (cravação de “caissons” metálicos e concretagem), instalação das cadeias de isoladores e roldanas e ao lançamento de cabos (lançamento de cabo precursor de nylon/pré-piloto, transporte de bobinas de cabos, e dos guinchos e tensionadores nas mudanças de praça). Tudo isto pode resultar em uma impressionante compactação dos prazos de construção.

A atividade de construção de linhas de transmissão, de forma racional e econômica, é muito afetada pela intempérie, como chuvas, inundações, neve ou gelo. No Canadá e parte dos EUA, a atividade de construção ficará sempre restrita a uma “janela de tempo favorável”, de cerca de 6 meses a cada ano. Neste caso, a construção de uma linha de transmissão será preferencialmente planejada para começar e terminar dentro da janela favorável, exigindo intenso trabalho de planejamento e preparação nos aspectos de engenharia e logística de suprimentos, antes do início efetivo da construção. A parte de campo também deve ser planejada para assegurar o adequado sincronismo de todas as etapas envolvidas, de forma a alcançar o objetivo de redução de prazo com economia.

Não há como se pensar em encurtamento de prazos e economia sem um elevado grau de mecanização da produção. Mais ainda, significa trazer para a construção civil, a metodologia de produção industrial, da linha de produção seriada. Neste aspecto, nos EUA e Canadá, os métodos construtivos convencionais¹, geralmente mecanizados, mas ainda intensivos de mão de obra, vem sendo paulatinamente substituídos pela tecnologia do uso intensivo de guindastes aéreos. Além de acelerar a construção, com redução do custo total da obra, os guindastes aéreos oferecem inúmeras outras vantagens (i) maior agilidade, flexibilidade e rapidez, com menor risco, em locais de difícil acesso; (ii) ambientalmente mais amigável e menos invasivo: redução de desmatamento e abertura de acessos; imunidade a certas restrições ambientais; facilitador dos processos de licenciamento; (iii) imunidade a certos obstáculos naturais, como na travessia de serras, rios e alagados; (iv) imunidade a embargos de passagem (proprietários de terras, indígenas, quilombolas, etc); facilitador dos processos de liberação fundiária; (v) melhoria geral da segurança nas obras: equiparação aos padrões da indústria da aviação; redução do trabalho humano em altura, tipicamente antiergonômico, lento, arriscado e oneroso; (vi) melhor aproveitamento dos intervalos secos nos períodos chuvosos; menor ociosidade de pessoal e menor desgaste de equipamentos; (vii) antecipação da operação comercial com reflexo no fluxo de caixa do empreendimento/melhoria da Taxa Interna de Retorno do projeto. As figuras e tabelas a seguir ilustram o estado da arte da montagem de torres treliçadas das Linhas de Transmissão nos EUA e Canadá.

2.1 Pátio de Pré-montagem e Içamento (FLY YARD): Linha de Produção de Pré-montagem em Série.

Na Figura 1 apresentamos diferentes Fly Yards, ilustrando o caso de pré-montagem de torres estaiadas completas, bem como, da pré-montagem de seções de torres autoportantes. Todas as torres serão pré-montadas em solo,

¹ Os métodos construtivos convencionais de montagem de torres de linhas de transmissão, sejam manuais ou mecanizados com uso de guindastes, são descritos no Capítulo 15 – Seção 15.5 Structure Assembly and Erection do manual publicado em Paris, em 2014, pelo CIGRÉ - Green Book on Overhead Lines, de nossa coautoria.

utilizando-se equipamentos leves de içamento e aparafusadeiras elétricas ou pneumáticas com calibrador de torque, com o objetivo de se obter velocidade, qualidade, menor custo e menor risco.

A função dos Fly Yards é de reunir e organizar em local próximo da faixa da LT, ou de preferência dentro da faixa, todas as estruturas necessárias para um determinado segmento da LT, a serem pré-montadas em série, no solo, evitando-se ou reduzindo-se o trabalho humano em altura, que é lento e de alto risco.

Os Fly Yards são estrategicamente localizados para reduzir as distâncias médias de voo, bem como, servem para pouso, estacionamento, manutenção e reabastecimento das aeronaves.

A distribuição das estruturas ao piquete e a montagem será pelo modo aéreo, com o menor tempo de voo possível a cada ciclo completo. As estruturas vem embaladas de fábrica já “piqueteadas” por seção de pré-montagem.

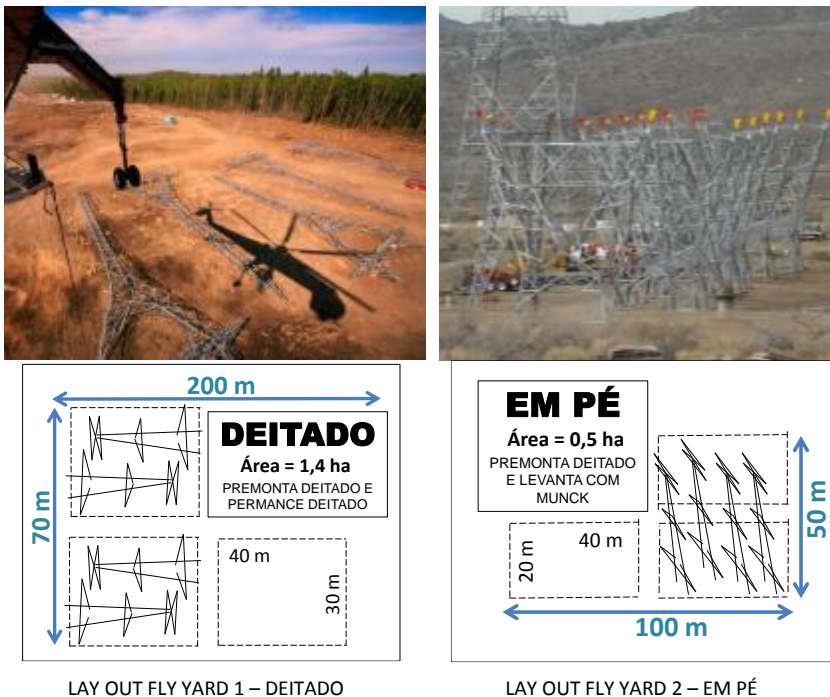


Figura 1 – Fotos e quadros ilustrativos de FLY YARDS. (Fonte: LUMRY Corp.-USA)

Após o minucioso planejamento prévio das operações em campo, um intenso trabalho de coordenação e comunicação via rádio, entre os pilotos e o pessoal de solo, se faz necessário para o sucesso de cada jornada de montagem. Para que o coordenador geral, que detém o comando das operações de cada jornada, acompanhe de perto toda a movimentação e tenha a mobilidade necessária, é usual que ele disponha de um outro helicóptero, de pequeno porte, geralmente um MD500 ou MD600, a partir do qual ele controla e orienta, passo a passo, cada etapa do processo, inclusive nos acoplamentos das seções.

As empresas operadoras dos guindastes aéreos cobram os seus serviços pela hora efetivamente voada. Portanto, em razão dos elevados custos da hora de voo destes gigantes aéreos, que consomem cerca de 2000 litros de querosene de aviação por hora, torna-se imperativo que cada hora voada seja muito bem aproveitada, sem desperdícios de tempo. Para que este objetivo seja alcançado é necessária a combinação dos seguintes fatores:

1º - **a otimização de carga**, isto é, cada seção de torre ou torre completa pré-montada a ser transportada e acoplada, deve estar o mais próximo possível da capacidade útil do helicóptero;

2º - **a distribuição e localização dos Fly Yards**, em área plana próxima da faixa da LT, a cada 7 Km; o **desenho, a fabricação e a instalação das “guias & batentes”** (stops & guides); e **a pré-disposição dos engates nas seções pré-montadas** para conexão ao gancho elétrico do guindaste aéreo;

que devem possibilitar o menor tempo médio de ciclo de engate-transporte-acoplamento-desengate-retorno.

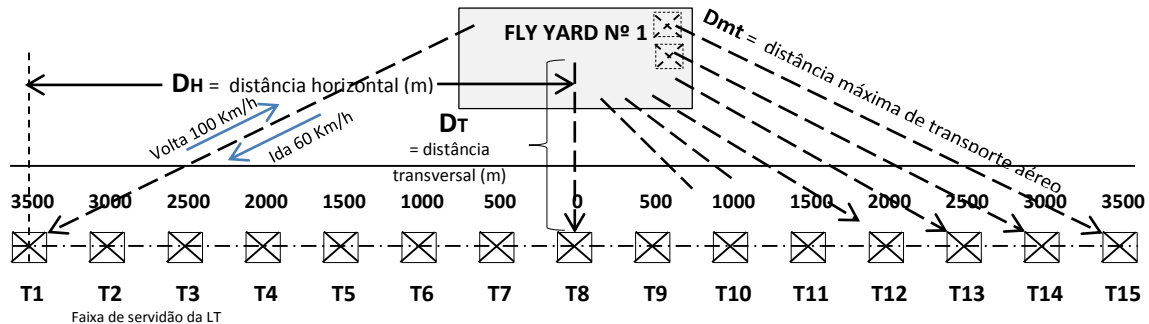
Cada ciclo corresponde a uma seção de torre ou torre completa içada, transportada e montada e é denominado de “Lift”. A quantidade de Lifts por hora, multiplicada pelo peso médio dos Lifts determinará a produtividade média expressa em toneladas por hora. Os operadores americanos de Skycrane S64, versão F com 25.000 lbs de capacidade no gancho externo, indicam que com equipes altamente treinadas, é possível se alcançar uma produtividade média de 64 (sessenta e quatro) toneladas de torres montadas, por hora.

Embora a capacidade nominal do S64F possa chegar a 11,34 ton, a carga ideal para cada Lift é em torno de 9,0 (nove) ton, por possibilitar maior autonomia de voo descontada a variação de altitude, o que se traduz em menor número de paradas para reabastecimento, além de maior velocidade de translação, considerando o balanço dinâmico do conjunto aeronave-carga, pelo esforço de arraste e efeitos de vento, e sem risco de dano estrutural no

acoplamento. Considera-se como 60 Km/h a velocidade média do conjunto carregado e de 100 Km/h a velocidade de retorno, descarregado. Estas velocidades podem variar em função das circunstâncias.

Comparando o Brasil e os EUA-Canadá, as torres de transmissão de lá são muito mais pesadas do que as nossas, pois, dependendo de onde serão instaladas, devem resistir a furacões ou tornados, terremotos, tempestades de neve e acúmulo de gelo, situações que não são típicas para nós. Logo, uma mesma quantidade de torres ou de Km de LT será montada no Brasil com menor quantidade de horas de voo do que nos EUA-Canadá; conclui-se que produtividade da hora de voo no Brasil em nº de torres e de Km de LT será maior.

ORGANIZAÇÃO IDEAL DE UMA JORNADA DE MONTAGEM DE TORRES AUTOPORTANTES COM GUINDASTE AÉREO S64



A distribuição ideal dos Fly Yards deve considerar uma distância média entre eles em torno de 7,0 (sete) quilômetros, devendo-se voar até 3,5 Km para cada lado, conforme se ilustra na Figura 2. Na Figura 1 exemplificamos as alternativas de layout e dimensionamento de um Fly Yard. A sua localização deve de preferência coincidir com a localização das praças de lançamento de cabos. É desejável que a atividade de lançamento de cabos venha logo atrás da montagem das torres com o S64 e aproveite os Fly Yards como praças para posicionamento dos guinchos, tensionadores e bobinas.

TABELA 1 – Ilustração da Produção de uma Jornada de Montagem de Torres com Guindaste Aéreo S64F

ALTIVA HELIMONT – PLANILHA DE CONTROLE: TEMPO DE VOO E PRODUÇÃO												
Distância para voar			Tempo previsto para:						PRODUÇÃO			
DH	DT	D	ida	volta	total1	engate	desengate	total2	lifts	ton/lift	ton	
m	m	m	min	min	min	min	min	min				
3500	1000	3640	3,64	2,18	5,82	3	4	12,82	1	9	9	
3000	1000	3162,3	3,16	1,90	5,06	3	4	12,06	1	9	9	
2500	1000	2692,6	2,69	1,62	4,31	3	4	11,31	1	9	9	
2000	1000	2236,1	2,23	1,34	3,58	3	4	10,58	1	9	9	
1500	1000	1802,8	1,80	1,08	2,88	3	4	9,88	1	9	9	
1000	1000	1414,2	1,41	0,85	2,26	3	4	9,26	1	9	9	
500	1000	1118	1,12	0,67	1,79	3	4	8,79	1	9	9	
0	1000	1000	1,00	0,60	1,60	3	4	8,60	1	9	9	
500	1000	1118	1,12	0,67	1,79	3	4	8,79	1	9	9	
1000	1000	1414,2	1,41	0,85	2,26	3	4	9,26	1	9	9	
1500	1000	1802,8	1,8	1,08	2,88	3	4	9,88	1	9	9	
2000	1000	2236,1	2,23	1,34	3,58	3	4	10,58	1	9	9	
2500	1000	2692,6	2,69	1,62	4,31	3	4	11,31	1	9	9	
3000	1000	3162,3	3,16	1,90	5,06	3	4	12,06	1	9	9	
3500	1000	3640,1	3,64	2,18	5,82	3	4	12,82	1	9	9	
Totals	Ida/volta	66264	tempo total de voo (min)						158,01	15	135	
Dist.méd de voo (m)		4417,6								PRODUTIVIDADE MÉDIA		
Atividades de solo: Prémontagem			tempo reserva (min)						22			
= 5 equipes x 20 pessoas = efetivo 100 p x 200 hs / mês			tempo total + reserva (min)						180,0	nº lifts	ton/lift	ton/hora
Produção: 2.700 t / mês; média 3,6 t p/hora, p/ equipe			horas de voo por dia:						3	5	9	45

TABELA 2 – Resumo da Produção Diária e Mensal na Montagem de Torres com Guindaste Aéreo S64F

JORNADA MÉDIA (PRODUÇÃO DIÁRIA)				CAMPANHA DE MONTAGEM (MENSAL)			
Horas de voo / dia	3	Montagem ton / h	45	Horas de voo / mês	60	Montagem aérea (ton)	2700
Lifts por hora	5	Peso por lift	9	Nº de dias de voo:	20	Mont. Convencional (t)	900
KM LT por dia	7	Ton. Torre ao dia:	135	Premontagem (ton)	2700	Tot. Montagem (ton)	3600
Obs.: Montagem convencional até o quadro da base; montagem aérea após o quadro da base						KM LT ao mês	140

Fonte: Cortesia da LUMRY Corp. USA e Altiva Helimont

No exemplo da Tabela 1, o Fly Yard está localizado a cerca de 1,0 Km da faixa da LT (D_T = distância transversal), o que resultará em uma distância média de transporte de 4,4 Km, por lift, para um segmento de LT de 7,0 Km. Mas se o Fly Yard estiver localizado dentro da faixa da LT, a D_T será reduzida a zero, e a distância média de transporte será reduzida para cerca de 3,7 Km, aumentando a produção e a produtividade da jornada, com redução do custo por ton. Na Tabela 2 estão calculados os valores da produção diária de montagem de torres (7 Km) e mensal (140 Km), consideradas as premissas do exemplo da Tabela 1.

Nos padrões americanos e canadenses, o tempo médio ideal para os Lifts é de 12 a 15 minutos para as torres estaiadas completas e de 8 a 10 minutos para cada seção de torre autoportante.

2.2 A importância da análise estrutural – Cada torre a ser montada deve ser previamente analisada do ponto de vista estrutural com os seguintes objetivos:

2.2.1-Otimização da carga. Assegurar que a subdivisão da torre em seções a serem pré-montadas no solo e posteriormente aerotransportadas, atendam ao requisito de peso ideal em torno de 9,0 toneladas +/- 10%; isto poderá demandar o reposicionamento das emendas dos montantes e diagonais da torre e/ou novas emendas;

2.2.2-Segurança. Assegurar que no cálculo estrutural foram consideradas as hipóteses de carga de montagem, com a definição dos pontos de ataque para içamento e transporte aéreo, o que condicionará o plano de içamento;

2.2.3-Precisão e velocidade. Permitir o estudo das emendas e conexões das barras da estrutura, para a definição do projeto das guias & batentes (stops & guides) que deverão ser encaixadas e aparafusadas nas extremidades das seções pré-montadas, ainda em solo; estes acessórios de montagem constituem o ponto vital dessa tecnologia de construção, para que o acoplamento aéreo entre seções da estrutura seja preciso, rápido e seguro. Como regra geral, o acoplamento aéreo das seções da torre ocorre de forma desassistida, ou seja, não há necessidade da presença de nenhum montador na torre para assistência na montagem. Daí a importância de projetar e fabricar corretamente as guias & batentes para garantir um perfeito encaixe e acoplamento entre seções de torres, mantendo provisoriamente a integridade e estabilidade do conjunto, até que os montadores possam subir na torre e finalizar as conexões, com as peças definitivas.

2.3 A importância das Guias, Batentes e Cordas: acoplamento preciso, rápido e seguro das seções.

As Guias & Batentes são elementos vitais da tecnologia de montagem stand-alone com os guindastes aéreos Skycrane S64. As Guias & Batentes são projetadas e fabricadas após a análise estrutural adequada, para cada tipo de estrutura e seção a ser acoplada.

As Guias & Batentes têm as seguintes funções: (1) Possibilitar o acoplamento preciso, rápido e seguro entre seções de torres metálicas, sucessivamente desde a base até a cabeça, até completar a torre, sem a necessidade de assistência humana; (2) Garantir provisoriamente a integridade e a segurança do conjunto, até que os montadores subam na torre para concluir as conexões definitivas entre as seções acopladas; (3) Facilitar e agilizar o encaixe entre seções, liberando rapidamente o retorno do helicóptero e reduzindo o tempo total de ciclo.



Figura 3 – Acessórios essenciais de montagem: Guias, batentes e cordas (fonte: LUMRY Corp.–USA)

Como regra geral, na tecnologia de montagem com o uso intensivo de guindastes aéreos, em face do elevado custo da hora de voo do equipamento, toda atenção e prioridade devem ser dedicadas à redução do tempo de voo, que se traduz no melhor aproveitamento possível da hora voada. As guias e batentes desempenham um papel primordial.

Como demonstrado na figura 3, as guias (guides), também chamadas de “bananas”, juntamente com os batentes (stops) são instalados na seção inferior, receptora do acoplamento, (parte “fêmea”). Na parte superior que será acoplada (parte “macho”) são instaladas as cordas de “pescar” e os sinalizadores para os pilotos. As cordas de “pescar” são instaladas ligando as extremidades dos quatro montantes da seção superior e servem para facilitar a aproximação, pescando as “bananas” e prevenindo o choque direto entre os montantes das duas partes a serem acopladas, que pode deformá-los, e desta forma facilitando o encaixe e reduzindo o tempo de acoplamento.

Os sinalizadores são fitas plásticas coloridas com a extremidade fixada na corda de “pescar” e servem de referência para os pilotos no contato visual no processo de aproximação e encaixe, bem como, indicam a direção do vento. Os acessórios de acoplamento são pintados em cores vivas para facilitar a visualização dos pilotos.

2.4 O Equipamento. O Equipamento padrão utilizado nos EUA e Canadá para a montagem desassistida de torres de LTs é o Skycrane S64, nas versões E e F, ou versão militar CH54B. Suas características mais apreciadas são a capacidade de pairar no ar com grande estabilidade e o menor deslocamento de ar vertical, o que o habilita a trabalhar com linhas mais curtas e grande precisão e segurança de engate/acoplamento.

2.5 A montagem de torres de LTs com o uso intensivo de guindastes aéreos S64: novo paradigma. O uso intensivo se diferencia do uso eventual. Isto faz muita diferença, pois para o uso econômico dos guindastes aéreos na construção de uma LT, esta deve já de início ser projetada para o uso dessa tecnologia. Esta forma de pensar e planejar constitui na realidade a chave do sucesso. É uma quebra de paradigma, que impõe grande mudança cultural. Costuma-se dizer que a construção convencional é planejada em dias, semanas ou meses de produção. Na construção com uso intensivo de helicópteros, planeja-se em horas e minutos, pois este é o padrão da aviação.

A lógica da utilização intensiva dos guindastes aéreos está baseada no binômio da precisão com a velocidade. Tudo deve ser concebido, planejado e executado em função do melhor aproveitamento da versatilidade e da capacidade do equipamento, com a maior velocidade possível, no ar e no solo. As Figuras 4 e 5 ilustram a sequência de montagem de torres estaiadas inteiras e torres autoportantes por seções.



Figura 4 – Sequência de transporte e montagem de torres estaiadas com S64 (fonte: LUMRY; USA)



Figura 5 – Transporte e montagem de seções de torres autoportantes (fonte: LUMRY Corp.; USA)

Como vimos, a infraestrutura necessária e as atividades precursoras da montagem aérea devem estar prontas com antecedência. A atividade de pré-montagem no solo, nos fly yards, é iniciada de preferência de 4 a 6 meses antes.

2.6 Finalização da montagem das torres após o acoplamento aéreo das seções. Após o acoplamento das seções, uma equipe de montadores treinados, 1(um) ou 2(dois) em cada montante, no caso das torres autoportantes, deve subir até os pontos de acoplamento para realizar as conexões definitivas e retirar os acessórios de montagem. É usual que todas as peças necessárias para as conexões já estejam no seu devido local, ainda que amarradas com arame ou aparafusadas provisoriamente na própria estrutura, para evitar a perda de tempo com o transporte e içamento alternativo dessas peças.

A conferência e os eventuais ajustes de prumo ou giro e alinhamento, são feitos de forma concomitante com a finalização das conexões da torre e torqueamento definitivo das mesmas, ou ajuste dos estais, em conjunto com as equipes de solo, seguindo os métodos tradicionais e, em geral, não há retrabalhos.

3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO INTENSIVO DE GUINDASTES AÉREOS

3.1 Benefícios diretos. A redução do prazo total e do custo total da obra é sem dúvida o grande objetivo a ser alcançado em qualquer empreendimento e é o maior diferencial oferecido por essa tecnologia revolucionária, desde que utilizada corretamente, na sua integralidade, em todas as fases do projeto desde a sua concepção, e por empresas e profissionais capacitados e experientes.

Para dar uma ideia do potencial de economia pela redução de prazos, começamos pelo custo indireto total da construção de uma obra de linha de transmissão. O custo geral com a operação e manutenção das infraestruturas de apoio (canteiros) às obras e gerenciamento do projeto, é da ordem de 1/3 (um terço) do valor total das obras. Portanto, se reduzirmos o prazo total de implantação em 1/3 (um terço) teremos uma economia no custo total de 11,1%. No Brasil, os prazos médios da etapa de obras de construção das LTs é 12 a 18 meses, enquanto o uso intensivo dos guindastes aéreos poderia reduzir tais prazos para 6 a 9 meses.

O esforço para compactação dos prazos da montagem das torres metálicas que desafia o “impossível”, pela precisão e velocidade que somente o transporte aéreo oferece (novo paradigma), traz consigo um círculo virtuoso de oportunidades de melhorias e redução de custos e prazos nas outras atividades, precursoras e sucessoras.

Em todo processo de padronização, industrialização ou mecanização da produção haverá redução de mão de obra, em troca de ganhos de escala e saltos de qualidade e produtividade. No uso intensivo dos guindastes aéreos, estima-se uma redução superior a 50% da mão de obra, em comparação com a construção convencional.

3.2 Benefícios indiretos. O uso intensivo de guindastes aéreos na construção de LTs traz inúmeras vantagens:

3.3.1-Maior agilidade, flexibilidade e rapidez de operação, com menor risco, em locais de difícil acesso: isto se traduz em que a construção da LT será efetivamente contínua e sequenciada, sem salteamentos ou quebra de ritmo; a produção será linear ou nivelada em toda a sua extensão, independente de obstáculos naturais;

3.3.2-Ambientalmente mais amigável e menos invasivo: redução da necessidade de desmatamento e abertura de acessos; imunidade a certas restrições ambientais; facilitador dos processos de licenciamento ambiental: além do aspecto socioambiental de interesse para o empreendedor e os financiadores, a redução do desmatamento e da exposição aos riscos ambientais, pode influenciar o enquadramento do empreendimento quanto ao Grau de Impacto Ambiental, que define os custos das compensações ambientais a incorrer pelo empreendedor;

3.3.3-Imunidade a certos obstáculos naturais, como na travessia de serras, rios, alagados e áreas de preservação: o uso da tecnologia de construção com guindastes aéreos pode influenciar a definição de um traçado mais retilíneo da LT, sem a necessidade de realizar certos desvios em função de dificuldades logísticas;

3.3.4-Imunidade a embargos de passagem (proprietários de terras, indígenas, quilombolas, etc); facilitador dos processos de liberação fundiária: um dos responsáveis por atrasos nos projetos são os embargos de passagem, muitas vezes fora da faixa da LT;

3.3.5-Melhoria geral dos padrões de segurança das obras: equiparação aos padrões da indústria da aviação; redução do trabalho humano em altura, que é tipicamente antiergonômico, mais lento, arriscado e oneroso: temos visto na evolução recente que as torres de transmissão estão ficando cada vez mais altas e mais pesadas, por vários motivos; este fato tem como repercussão direta a queda de produção e produtividade e aumento dos riscos;

3.3.6-Melhor aproveitamento dos intervalos secos nos períodos chuvosos: é comum nos períodos chuvosos a ocorrência de chuvas intermitentes; é também muito comum que após uma chuva torrencial, sejam necessários de 2 a 3 dias de espera para “secar”, já que as estradas se tornam intransitáveis para os equipamentos pesados de construção; o uso dos guindastes aéreos pode aproveitar todas as janelas secas desses períodos para produzir;

3.3.7-Antecipação da operação comercial com reflexo significativo no fluxo de caixa / melhoria da TIR do projeto: este é, juntamente com a redução do prazo e do custo do EPC, o aspecto de maior interesse para os investidores, pela oportunidade de redução de custo e antecipação de receitas, turbinando o resultado.

3.4 Desvantagens. Enumeramos a seguir os pontos que podem ser considerados como desfavoráveis ou negativos no uso intensivo de guindastes aéreos na construção de LTs:

- a) Elevado custo de mobilização e operação do guindaste aéreo S64;
- b) Custos em dólares americanos;
- c) Restrições quanto à acessibilidade e disponibilidade do guindaste aéreo S64;
- d) Precisão e rigidez no planejamento;

- e) Eventual reforço e novas emendas nas estruturas;
f) Áreas para Fly-yards e sua umidificação.

4. PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO À REALIDADE BRASILEIRA. ESTUDO DE CASO

4.1 Dados iniciais do projeto. Análise das estruturas das torres. Estudamos o caso de uma LT 500 Kv CD, cujo trecho inicial é de cerca de 200 km de selva amazônica, desde o ponto A ao ponto B. Em razão de restrições ambientais todo esse trecho da LT foi alteado, passando por cima da copa das árvores, bem como, 98% das torres serão autoportantes; há uma sequência de mais de 100 torres acima de 100 metros de altura, as mais altas com 110 metros e peso médio de 41 ton por torre, nessa sequência. O projeto da LT e das torres não foi originalmente concebido para a construção com guindastes aéreos, o que demandou algumas adaptações.

Na montagem dessas torres pelo método convencional, a parte superior (a partir da elevação 50 m) teria que ser manual, com pau de carga (falcão). Os rendimentos seriam inferiores à metade dos habituais, elevando o seu custo por tonelada em duas e meia vezes o custo normal de montagem. O efetivo de montagem duplicaria.

TABELA 3 – EXEMPLO DE PARTIÇÃO DAS TORRES / DEFINIÇÃO ECONÔMICA DOS LIFTS

ESTUDO DE CASO – IT – SEM FINS COMERCIAIS				
PARTIÇÃO DE TORRES PARA MONTAGEM AÉREA (estudo preliminar de seccionamento e emendas)				
TORRES AUTOPORTANTES TIPO AMSL & AMSM				
TORRE	AMSL		AMSM	
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
PARTE I – TRONCO DA TORRE BÁSICA + 1 EXTENSÃO				
ALTURA	23,15	33,65	23,15	33,65
PÊSO	4,21	8,25	4,67	9,14
PARTE II – CABEÇA DA TORRE BÁSICA				
ALTURA	32,11	32,11	32,11	32,11
PÊSO	8,19	8,19	9,10	9,10

Altura da seção: em metros; Pêso: em toneladas.

NOTA: MONTAGEM PELO MÉTODO CONVENCIONAL ATÉ O QUADRO DA BASE OU NA 1ª EXTENSÃO ≤ 33 METROS

TABELA 4 – EXEMPLO DE PARTIÇÃO EM LIFTS: CABEÇA, TRONCO E EXTENSÕES.

torre	Altura média	Quant torres	Peso total	CABEÇA		LIFT 1		LIFT 2		TRONCO		LIFT 1		LIFT 2		EXTENSÃO		LIFT 1		LIFT 2		Montag Convenc.
				Peso total	Q	Peso lifts	Q	Peso total	Q	Peso lifts	Q	Peso lifts	Peso total	Q	Peso lifts	Q	Peso lifts	Q	Peso lifts	Q	Peso lifts	
AMA30	64,2	12	359,7	158,27	12	79,1	12	79,1	62,8	10	52,4	0	0,00	100,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	149,08	
AMA30M	83,9	17	887,2	268,72	17	134,4	17	134,4	106,7	17	104,3	0	0,00	436,3	17	119,7	11	91,1	303,48			
AMEL	69,5	3	40,7	23,38	3	10,8	0	0,0	11,0	3	23,6	0	0,00	3,4	0	0,0	0	0,0	6,31			
AMEM	76,1	5	79,5	42,28	5	19,5	0	0,0	19,1	5	41,8			12,3	0	0,0	0	0,0	18,11			
AMF60M	77,0	7	444,3	141,30	7	52,4	7	52,4	68,3	7	52,4	7	52,4	194,1	7	50,1	2	16,7	167,85			
AMSLA	72,5	45	866,8	242,54	45	242,5	0	0,0	290,6	45	290,6			245,0	0	0,0	0	0,0	333,71			
AMSL	91,9	136	4623,9	806,33	136	806,3			1048,0	136	1048,0			2324,6	112	929,6	61	375,2	1464,84			
AMSMA	47,8	6	129,0	36,01	6	36,0	0	0,0	43,0	6	43,0			35,6	0	0,0	0	0,0	50,03			
AMSM	99,1	139	5733,3	858,33	139	858,3	0	0,0	1115,6	139	1115,6			3255,6	132	1135,2	101	641,4	1982,9			
AMSP	78,6	8	215,4	52,82	8	52,8	0	0,0	63,0	8	63,0			77,3	4	24,0	0	0,0	75,59			
AMST	71,0	3	71,8	21,86	3	21,9	0	0,0	26,1	3	26,1			14,9	0	0,0	0	0,0	23,88			
Totais		381	13.451,7	2651,8	381	2314,1	36	265,9	2854,1	379	2860,7	7	52,4	6700,0	272	2258,6	175	1124,3	4575,7			
RESUMO GERAL DO TRECHO A-B																						
NUMERO DE LIFTS x TONS			1250	8876,0	66%																	
PESO MÉDIO POR LIFT (TON)				7,1																		
QUANTIDADE DE LIFTS POR HORA				6,5																		
PESO MÉDIO POR HORA (TON/H)				46,2																		
MONTAGEM CONVENCIONAL*				4575,7	34%																	
(* seções inferiores até 33 m)																						

4.2 Conclusão dos estudos de partição das torres para montagem aérea (lifts) e montagem convencional.

Após as análises de partição econômica das torres conforme a Tabela 3, chegou-se aos resultados da Tabela 4. Do total de 13.451,7 ton do trecho A-B, seriam 8.876,0 ton (66%) montadas por guindaste aéreo S64F, resultando em 1.250 lifts com peso médio de 7,1 ton, média de 6,5 lifts por hora e 46,2 toneladas por hora; por seu turno, 4.575,7 ton (34%) seriam montadas pelo método convencional, com guindaste terrestre, correspondente à base das torres, desde as pernas até o quadro da base ou até a primeira extensão, limitado à elevação de 33 metros.

A explicação para este mix econômico de 66% aéreo e 34% convencional é a seguinte: (i) nas torres autoportantes, há uma grande concentração do peso nas partes mais baixas; (ii) até a elevação de 33 metros acima do solo, a montagem convencional com um guindaste ligeiro de 30 ton é rápida e competitiva; (iii) entretanto, a partir da elevação de 33 metros, o peso das seções de torre vai reduzindo rapidamente enquanto a dificuldade de montagem aumenta muito em função da altura, requerendo cada vez mais quantidade de HH; portanto, a cada metro de elevação a montagem convencional vai ficando cada vez mais onerosa e menos competitiva em termos de R\$/kg; (iv) no caso da montagem aérea, todas as seções são pré-montadas no solo e o grau de dificuldade é praticamente o mesmo, mas quanto mais leve mais rápido; (v) apesar do elevado custo da hora de voo do guindaste aéreo, a sua velocidade de montagem é incomparável e o fator altura é irrelevante, resultando em um bom aproveitamento da capacidade do equipamento, a custo competitivo.

Com esta solução híbrida conseguimos extrair a maior economia possível utilizando duas metodologias de construção diferentes, perfeitamente combinadas e entrosadas. Concluídas todas as análises, conseguimos demonstrar ao cliente que o uso do guindaste aéreo para este caso era viável e muito competitivo.

5. DIFICULDADES OU BARREIRAS A SUPERAR PARA O USO INTENSIVO DE GUINDASTES AÉREOS NO MERCADO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO DE LTs.

Consideramos que todos os benefícios e vantagens do uso dos guindastes aéreos já vistos acima são de caráter universal, portanto, em maior ou menor grau, são aplicáveis à realidade brasileira. Então, onde está o problema? Resta-nos entender de que forma as desvantagens dessa tecnologia vêm se constituindo em dificuldades ou barreiras intransponíveis, talvez amplificadas pela nossa realidade econômica em função dos custos relativos dos insumos, por exemplo, o baixo custo da mão de obra, ou por questões culturais do nosso ambiente empresarial e institucional. Vejamos então pela ordem:

- a) Elevado custo de mobilização e operação do guindaste aéreo S64: É de fato muito elevado, particularmente considerando-se que o custo de mobilização e retorno considera a distância de deslocamento. Mesmo assim, é uma solução competitiva se considerado o seu extraordinário desempenho e bem aproveitado cada voo;
- b) Custos em dólares americanos: Este sim pode ser um fator desestabilizador, em virtude do grau de incerteza e risco associados à taxa de câmbio R\$/US\$; o recurso é utilizar mecanismo de fixação de câmbio (“*hedge*”).
- c) Restrições quanto à acessibilidade e disponibilidade do guindaste aéreo S64: Os guindastes aéreos são acessíveis e disponíveis, desde que contratados com antecedência, com depósito de garantias. Em geral, o construtor brasileiro é avesso a tomar esse risco, em razão da incerteza quanto ao início e continuidade das obras e dos inúmeros percalços a que está sujeito. Todavia, se o construtor tiver uma carteira de obras com diferentes prazos de início e término, poderá ter uma produção nivelada, atuando em diferentes projetos e diluir o risco;
- d) Precisão e rigidez no planejamento: Reputamos que este é um ponto vital da tecnologia do uso dos guindastes aéreos que se choca frontalmente contra os padrões culturais dominantes no ambiente empresarial e institucional do nosso país. Planejamos durante 10% do tempo e depois gastamos 90% do tempo para executar o planejado, sujeitos a sucessivos replanejamentos e outros tantos improvisos, quando na realidade deveria ser o contrário, como é usual nos países desenvolvidos.
- e) Eventual reforço e novas emendas nas estruturas: Entendemos que este aspecto é de pouca relevância, desde que tomadas as providências de ajuste do projeto ou de fabricação com antecedência, que usualmente não implica em aumentos de custos nem para o projetista e nem para o fabricante.
- f) Necessidade de áreas para Fly-yards e umidificação: Este aspecto é de pouca relevância, desde que tomadas providências de planejamento e logística apropriada, com antecedência. Além disso, o enorme benefício advindo da produção seriada nos Fly Yards supera a qualquer desvantagem.
- g) Infraestrutura de abastecimento de QAv: Em nosso país, especialmente em regiões remotas, o suprimento de querosene de aviação pode ser tornar um problema, pelo alto consumo dos guindastes aéreos, que em função das horas voadas podem consumir até um caminhão-tanque por dia.
- h) Restrições regulatórias da ANAC: Os guindastes aéreos S64E e F já são homologados para operar no Brasil. Existe ainda restrição quanto à versão militar CH54B que é uma alternativa mais barata e de maior capacidade de carga. As normas da ANAC são restritivas quanto à permanência e ao trabalho temporário de tripulações estrangeiras em nosso território, com exigências corporativas ditadas pelos sindicatos nacionais de pilotos.

6. CONCLUSÃO

Acreditamos que a maior dificuldade imediata a ser vencida, em relação ao uso dos guindastes aéreos no Brasil, é a falta de informação e o desconhecimento dessa tecnologia. Este Informe Técnico tratou de divulgar, informar e esclarecer o mérito técnico e econômico do uso intensivo dos guindastes aéreos na construção de LTs, com base na experiência americana e canadense, onde são largamente utilizados. É de se destacar que o uso intensivo é o oposto do uso esporádico e emergencial.

Construiu-se em torno deste extraordinário equipamento, pela sua versatilidade, precisão e velocidade, uma nova tecnologia de construção de linhas de transmissão, de forma integral, estruturada e sistêmica. O objetivo é criar e operar um sistema capaz de extrair o máximo da agilidade e capacidade deste equipamento, com o mínimo tempo de voo.

Nos EUA e Canadá o custo médio de referência pelo uso dessa tecnologia é de US\$ 1.50 a US\$ 1.80 por quilo de torre montado, correspondendo a cerca de 30% a 50% acima dos custos médios de R\$/kg de torre montada no Brasil, pelos métodos convencionais. Pelas inúmeras vantagens que os guindastes aéreos apresentam em relação aos métodos convencionais, não dá para comparar apenas o custo unitário de R\$/kg de torre montada entre eles. Temos que colocar na balança também o potencial de redução do prazo total da obra com redução do custo fixo do projeto, a operação comercial antecipada, além das outras inúmeras oportunidades de ganhos.

Já dizia a parábola da insanidade quântica de Albert Einstein (2): “*Insanidade é fazer sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.*” A inovação e a mudança são necessárias e seria muito acanhado focá-las apenas numa pequena parte do processo, no caso a montagem de torres. Temos que enxergar o todo e envolver a todos os atores, pois as oportunidades que se apresentam são imensas para todas as etapas do processo de expansão da rede de transmissão, passando pelo planejador do sistema, pelo poder licitante e concedente, pelos investidores e financiadores, licenciadores, projetistas, fabricantes e, finalmente, os construtores.

7. BIBLIOGRAFIA

- (1) CIGRÈ Green Book on Overhead Lines, Paris, 2014.
- (2) Scientific American – Sept 23rd, 2015 by Frank Wilczek
(<https://www.scientificamerican.com/article/einstein-s-parable-of-quantum-insanity/>)

8. DADOS BIOGRÁFICOS:



MAURO GOMES BALEEIRO. Nascido em Frutal-MG, 1952.
Engenheiro Civil UFMG, 1976. MBA Finanças IBMEC 2017.
Pós-graduação: Engenharia Econômica –FCO, 1979; Engenharia de Segurança, FUMEC, 1979.
Educação gerencial e executiva: Japão (Toyota Production System, 1986); EUA (Columbia Univ., NY 1992); IBM Brasil (Tecnologia Gerencial, 1987); IMD-Suíça (International Management, 1993); IAE-Sorbonne (BU Program, 1995); F.D. Cabral-INSEAD (Skills & Competence, 2000); Amana (APG, 2009).

Consultor e Perito de Engenharia; Assistente da Diretoria da TABOCAS S.A.; Fundador da ALTIVA HELIMONT Construção Civil e Montagens Aéreas Ltda., (2014); Diretor Presidente da ALTA ENERGIA S.A. (2010-13); Fundador e Superintendente da DAMP (atual TECTOR), Grupo BMG (2004-09); Diretor da ABB - Power Lines (1991-2001); Diretor e Gerente na SBE-Soc. Bras. de Eletrificação S.A. (1978-1991); Co-autor do Capítulo 15 do CIGRÈ Green Book on Overhead Lines, Paris, 2014; Prêmio TOP Engenharias 2012/2013 - Centro da Memória da Engenharia, AEAEEUFMG. (detalhes em www.baleeiro.com)