

Análise Conceitual da Utilização de Dirigíveis como Alternativa Logística e Construtiva para Parques Eólicos

Roberto de Miranda Musser¹

Resumo

Este artigo trata as dificuldades logísticas na construção de parques eólicos. Verifica-se a eminente dificuldade em face da ampliação exponencial dos parques eólicos de uma infraestrutura que permita desenvolver de forma eficiente e eficaz todas as etapas que envolvem a construção de um parque eólico. Neste sentido o pensar de forma inovadora é um desafio para todos os envolvidos nessa indústria relativamente nova e em expansão contínua. A solução de dirigíveis demonstra sua viabilidade devido a distribuição espacial das usinas eólicas e apresenta-se como um fator diferencial tanto na solução logística quanto de novas formas construtivas. A viabilidade econômico-financeira apresenta-se bastante favorável, contudo são ainda necessários alguns pontos de observação no que se refere à engenharia de produto e as características construtivas dos dirigíveis, nada que impeça um desenvolvimento de um novo segmento industrial. Para a abordagem metodológica adotou-se um percurso híbrido, tratando o fenômeno estudado através de métodos quantitativos e qualitativos com o objetivo de tornar aparente alguns pontos que merecem atenção em estudos futuros sem contudo interferir na viabilidade conceitual da ideia.

Palavras-Chave: Infraestrutura, Transporte, Dirigível, Logística, Parque eólico.

1 Introdução

O Brasil apresenta um potencial significativo para a geração de energia renovável onde os principais campos de desenvolvimento são as novas fronteiras da geração eólica e solar. Em ambos os casos existem duas possibilidades de desenvolvimento tecnológico em curso. A geração de grandes blocos de energia em usinas centralizadas; e a geração distribuída em pequena escala através dos conceitos de *smart grid*².

De qualquer forma, a geração renovável de energia, é uma atividade industrial em maturação, apresentando uma série de oportunidades de melhoria em diversos processos e envolvendo a estruturação empresarial do negócio em segmentos ligados ao projeto, construção, operação e manutenção.

Especificamente para a geração de grandes blocos de energia e fazendo um recorte para o segmento eólico, a infraestrutura requerida dispense uma operação logística na movimentação de materiais e equipamentos que exige recursos bastante significativos tanto de infraestrutura quanto de qualificação profissional.

Um novo parque eólico atende a uma sequência lógica de implantação: iniciando com a viabilidade econômica e financeira, definida pela velocidade e constância do vento, ou seja, no potencial energético do local; necessidade requerida para a implantação das torres e dos aerogeradores; e finalmente, a operação e manutenção.

¹ Doutor em Energia e Ambiente

² *Smart Grid*, ou rede elétrica inteligente, uma nova tecnologia de gerenciamento de sistemas de distribuição que apresenta diversas melhorias para o uso, eficiência, cogeração da energia elétrica, dentre outras. Trata-se de uma área em franco desenvolvimento pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica. Em países desenvolvidos a tecnologia de integração das redes está bastante evoluída, no caso brasileiro ainda existem ações pontuais demonstrando um campo bastante promissor para pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Em alguns casos o potencial de geração é viável, entretanto, a logística de implantação e posteriormente de manutenção nos modelos atuais de execução podem tornar o projeto inviável economicamente.

Observa-se que grande parte dos problemas logísticos associado aos projetos, relaciona-se com as dificuldades no transporte rodoviário e marítimo, simplesmente pela inadequação ou até mesmo uma improvisação no deslocamento de cargas que excedem largura, peso e altura “padronizados”.

Trata-se de uma verdadeira “operação de guerra” com roteiros específicos e alternativos, sobrecarga e interferência no fluxo normal das rodovias, combinado com a emissão de poluentes, principalmente gases de efeito estufa.

Neste sentido, tornar a logística um processo eficiente apresenta-se como um desafio de inovação tecnológica, exigindo que sejam propostas soluções, não necessariamente convencionais, mas que apresentem uma possibilidade de ganhos de escala no desenvolvimento da tecnologia primária, ou seja, do objeto de estudo da mudança e como influenciar no modo de execução do próprio projeto.

O objetivo é avaliar a utilização de dirigíveis como uma alternativa de transporte para cargas “não convencionais” de superfície entre o local de produção e o seu destino final, bem como analisar a possibilidade técnica de participar na montagem estrutural das torres e dos aerogeradores em parques eólicos em consonância estratégica com aspectos sócio-econômicos.

A ideia de utilizar o dirigível merece uma atenção especial devido às características territoriais do Brasil, principalmente na Região Nordeste, requerendo uma série de avaliações e análises, contudo, justifica-se como uma alternativa de se dispor de um veículo com capacidade de içar e movimentar cargas sem a necessidade de transbordos conectando diretamente o local de produção com o de uso (ponto a ponto).

Este desafio pode ser apresentado através de uma questão chave, na qual: A utilização de dirigíveis como um modal logístico no sistemas de transporte cargas especiais e “não convencionais” para a construção e montagem de parques eólicos gera benefícios estratégicos econômicos e sociais?

Neste debate é importante que a exploração de novas tecnologias ocorra como um fenômeno natural, proporcionando inicialmente uma evolução através de inovação incremental e consequentemente criando as bases futuras para novas quebras de paradigmas.

É fundamental estabelecer um método de pesquisa que permita transmitir, mesmo que de forma inicial, os desafios pelo desenvolvimento de um segmento industrial importante para a garantia de energia das futuras gerações.

A abordagem metodológica adota um percurso híbrido em que se trata tanto o fenômeno estudado, qualitativamente, associado ao estado da arte e ao desenvolvimento da tecnologia dos dirigíveis; quanto a abordagem quantitativa relacionado às questões de logística e demanda, em volume e variedade, associados com a avaliação de valor mesmo que inicialmente de forma incipiente.

Assim, verifica-se não de forma pragmática uma solução, mas possíveis alternativas que não podem ser desconsideradas em um segmento em pleno desenvolvimento tecnológico.

2 Dirigíveis, Uma Alternativa Logística para a Infraestrutura

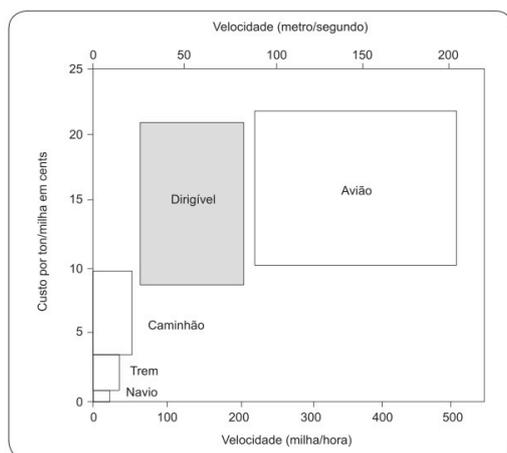
Adotar o dirigível como uma opção para o transporte de cargas de superfície foca na eliminação de transtornos causados principalmente em rodovias, onde as cargas excedentes requerem carretas em proporções incompatíveis com a definição de projeto do peso suportado, além de tornar pontes, viadutos, passarelas, faixas de servidão, etc., obstáculos a serem transpostos.

Estas ações de exceção podem causar em longo prazo danos severos para a rodovia devido a desgastes e fadiga precoce de materiais, ou por reparos realizados sem a devida observância as normas técnicas.

Também são relevantes os impactos na cabotagem; eliminando transferências de carga, estoque e armazenamento; e na tecnologia de construção de alguns equipamentos, ou partes, quando os obstáculos logísticos são eliminados.

Em relação ao custo por tonelada x milha (Figura 1) demonstra que os dirigíveis se situam entre o rodoviário e o da aviação convencional (GOMES; MIGON, 2012).

Figura 1 – Custos relativos para diferentes modais (ton x milha).



Fonte – Gomes; Migon, 2012 apud MIT, 1970.

Vale destacar que especificamente na construção de parques eólicos as cargas são incompatíveis com as rodovias, o que proporciona para os dirigíveis vantagens competitivas, mesmo na Figura 1 (ton x milha) apresentar uma vantagem relativa em custos para os caminhões.

Outros aspectos logísticos de infraestrutura e operação também devem ser considerados como vantagem para os dirigíveis em relação ao transporte de superfície, tanto no uso como no solo, por exemplo, o baixo custo de atracação; reduzida necessidade de mão de obra especializada; baixo consumo de combustível; menor impacto ambiental; e reduzida poluição sonora e atmosférica (JANZ, 2015).

Considerando a evolução tecnológica, o transporte por dirigíveis tornou-se mais confiável e seguro com o desenvolvimento de novos materiais, equipamentos e previsibilidade meteorológica, propiciando uma antecipação das condições de voo.

2.1 O Estado da Arte dos Dirigíveis

O icônico acidente com o Hindenburg no final dos anos 30 praticamente fez desaparecer o transporte de cargas e principalmente de passageiros por dirigíveis. Nas décadas seguintes o ressurgimento dos aparelhos “mais-leves-que-o-ar”³ foram basicamente para publicidade.

Contudo, algumas empresas⁴ têm apresentado projetos de dirigíveis seguros e eficientes com os mais diversos propósitos, e dentre estes, o transporte de cargas especiais,

³O que define uma aeronave “mais-leve-do-que-o-ar” como um dirigível é a flutuabilidade. Um efeito que eleva algo em relação a uma substância mais pesada que o circunda. Este efeito difere para os casos dos equipamentos “mais-pesados-que-o-ar” que necessitam de sustentação, obtido, por exemplo, quando o avião se move pelo ar com velocidade suficiente, a deflexão do ar atuando sobre a asa imersa em um fluido em movimento (o ar) atua perpendicularmente ao fluxo do fluido e cria a sustentação.

⁴Alguns exemplos: Zeppelin Company, fabricante do Hindenburg, e a WorldwideAerosCorp., desenvolvedora do Aeroscraft, dentre outras.

indivisíveis e excedentes, em aeronaves com capacidade de transporte de cargas variando entre 20 a 500 toneladas.

Alguns paradigmas precisam ser quebrados, principalmente em relação ao estigma do Hindenburg (o gás usado era o hidrogênio, altamente inflamável) e a vulnerabilidade com as variações climáticas, que só desaparecerão com demonstrações dos resultados de estudos, pesquisas e compartilhamento do conhecimento, divulgando para a sociedade seus aspectos positivos (GOMES; MIGON, 2012).

Vale ressaltar como aspecto positivo, o impacto ambiental, apresentando os dirigíveis como um modal de transporte menos prejudicial tanto no uso do solo, como na poluição sonora e atmosférica.

O projeto e desenvolvimento de um equipamento que possa atender a requisitos tão desafiadores requer um nível de pesquisa e recursos significativos, porém os benefícios econômicos, sociais e estratégicos são latentes e de magnitude proporcional.

Diversas ações estão em desenvolvimento em várias partes do mundo, com níveis de maior ou menor avanço, que quando associados ao desenvolvimento das tecnologias aeroespaciais apontam para perspectivas de êxito capazes de promover uma revolução no transporte de cargas “não convencionais” gerando vantagens competitivas bastante atraentes.

O desenvolvimento de materiais, tecnologia e maquinário transformaram a concepção do dirigível para um sistema de transporte de alta tecnologia agregada. A Alemanha, Inglaterra, Estados Unidos e Rússia nunca abandonaram de forma definitiva o dirigível como um modal logístico.

Alemanha

O pioneirismo do estado da arte alemão no que diz respeito aos dirigíveis, desenvolve-se desde que o visionário Conde Ferdinand von Zeppelin percebeu o potencial dos veículos “mais leves que o ar” para o transporte aéreo.

Descendente da empresa do Conde von Zeppelin, a Zeppelin Luftschifftechnik GmbH, criada em setembro de 1993, implantou o *NT Programme* cujo o objetivo foi projetar, construir e operar um dirigível semirrígido com as tecnologias disponíveis.

O *Zeppelin NT 07* é uma aeronave que possui tecnologia embarcada com disponibilidade de radar meteorológico, *fly-by-wire*, LCD *flight deck avionics*, rádios de navegação e comunicação, GPS, dentre outros. Sua principal finalidade é na utilização em voos panorâmicos com até 12 passageiros e uma tripulação composta por 2 pessoas que pilotam a aeronave (NAYLER, 2003).

Em 1996 surge a CargoLifter AG que desenvolve o *CargoLifter CL-160* patrocinado pelo governo de Brandenburg. O objetivo desse projeto foi oferecer um modal para transportar cargas ponto a ponto de peso elevado e volumes excedentes com custo operacional inferior ao modal aéreo, velocidade superior ao modal de superfície e infraestrutura mínima (Cargolifter, 2015).

O *CargoLifter CL-160* possui uma estrutura semirrígida e está equipado com um sistema integrado de guindastes para carga e descarga. Não é necessário que a aeronave pouse, mas que mantenha o equilíbrio estático e aerodinâmico através do lastreamento vertical pairando sobre o local da operação onde a carga poderá ser içada ou baixada por meio de cabos e ganchos.

Trata-se de uma característica operacional interessante, um fator competitivo e comparativo que proporciona aos serviços a superação de obstáculos em qualquer superfície, terrestre ou aquática, inclusive em operações *off shore*.

Outras características também podem ser associadas como a redução de emissões de gases de efeito estufa; dispensa de infraestrutura logística complexa e onerosa; redução do tempo de operação e manipulação de carga; além da eliminação de efeitos colaterais para *cargas sensíveis* causados por vibrações durante o transporte; dentre outras

vantagens (Cargolifter, 2015).

Inglaterra

Em 1976 o projeto de dirigíveis ressurgiu com o *Skyship 500* da Airship Industries (Figura 2). Um dirigível não rígido para transporte de até 9 passageiros e 3 tripulantes.

Estes equipamentos operam regularmente em vários países do mundo com diversas finalidades, tais como: publicidade; patrulhamento, cobertura de eventos para a TV e voos panorâmicos. Na sequência a Airships Industries lançou *Skyship 600*, incorporando inovações como, por exemplo, motores com empuxo direcionado (DONE, 2001).

Figura 2: Skyship 500



Fonte: Owen (1999)

Dez anos após, em 1996, foi criada a Advanced Technologies Group e em seguida a subsidiária World SkyCat Ltda que comercializa e provê suporte técnico e apoio logístico aos projetos SkyCat-20, 220 e 1000 para o transporte de cargas de 20, 220 e 1000 toneladas respectivamente (Abbey, 2015)

O projeto do *SkyCat* combina as características aerodinâmicas de um dirigível aliado a um sistema de pouso e decolagem semelhante aos *hovercrafts*⁵ (*hover-cushionlanding system*) construído em uma estrutura elipsoidal dupla. Esta inovação possibilita a flexibilidade de pousos e decolagens em qualquer superfície plana (solo, pântano, neve, rio, lagos, mar⁶).

O *SkyCat-20* apresenta a capacidade de carga, flexibilidade e penetração operacional semelhante ao helicóptero, entretanto possui uma vantagem competitiva significativa quando compara-se a capacidade de carga útil.

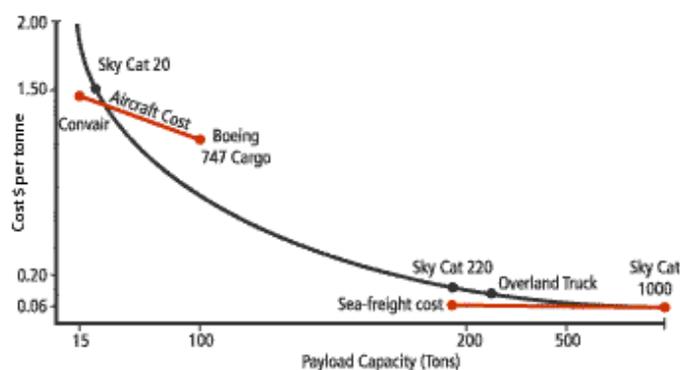
Por sua vez, o *SkyCat-220* apresenta vantagens e alternativas para cargas *fora de escala* que não tem parâmetros comparativos diretos com os modais aéreos comerciais convencionais.

O *SkyCat* atende a um segmento de mercado entre o transporte rápido - aéreo de alto custo; e a alternativa de baixo custo - marítima e lenta. A vantagem comparativa em custos, com ambas as alternativas, apresenta-se favorável e torna-se mais evidente quando inclui-se a velocidade relativa (Figura 3).

⁵ Esse sistema proporciona pousos suaves mantendo a aeronave firmemente fixada na superfície, através da reversão do empuxo dos motores. Após a operação de carga e descarga o empuxo é revertido auxiliando a quebra da inércia na decolagem.

⁶ No caso de mar aberto deve ser observado que as condições meteorológicas sejam favoráveis.

Figura 3: Vantagem comparativa custos Aircraft



Fonte: Abbey, 2015.

Os dirigíveis SkyCat possuem uma elevada eficiência energética devido ao suporte ascensional do gás hélio e dois motores de impulsão na parte traseira (que correm pela esteira do casco) proporcionando um baixo arrasto do veículo.

Para o SkyCat-20 o consumo de combustível em ton/km é inferior a 50 % quando comparado a um avião C-130J e 25 % a um caminhão de 40 toneladas. A autonomia na velocidade de cruzeiro e carga máxima, para o SkyCat-20 é de 10 dias de voo e para o SkyCat-220 a possibilidade é de viagens intercontinentais (Abbey, 2015).

A operação não requer uma infraestrutura sofisticada de solo, podendo o pouso e decolagem ocorrer em superfícies sólidas ou líquidas, ligeiramente planas. A flutuação natural e a aerodinâmica do design oferecem um alto nível de segurança com taxas de falha próximas a zero. Essa característica permite alcançar regiões remotas ou sem a presença de acessos convencionais. Os custos operacionais diretos são menores que €\$⁷ 900/hora (R\$ 3.150,0/hora) para o SkyCat-20 e €\$ 1.200/hora (R\$ 4.200,0/hora) para o SkyCat-220 (Abbey, 2015).

O SkyCat-220 apresenta uma gama de aplicações alternativas e de baixo custo, como por exemplo, o transporte de cargas de produtos frescos perecíveis permitindo que esses produtos sejam entregues diretamente da fonte para o mercado. O custo de €\$ 1,81 ton/Km (R\$ 6,34ton/km) com uma velocidade média de 155 km/h torna-o diretamente competitivo com caminhões e outras formas de transporte de mercadorias por via terrestre.

A experiência da ONU com a utilização do SkyCat-220 no Programa Mundial de Alimentos apresentou expressivas economias, como por exemplo, a eliminação dos centros de armazenagem e distribuição intermediários⁸.

Para atuações em regiões remotas e que exigem operações autônomas a SkyLine apresenta a alternativa do SkyCat-1000 com um módulo de carga de 123 m de comprimento. Um mega dirigível que se propõe a transportar cargas *não convencionais* de forma excepcionalmente rentável e flexível, como por exemplo, para a indústria de petróleo e gás, e especificamente para a entrega de dutos diretamente na *trincheira* do site, por meio de um sistema de rolos de rampa oferecendo uma economia de escala significativa além de redução de problemas com o manuseamento e danos colaterais⁹.

⁷Valor considerado: 1 €\$ equivale R\$ 3,50 e 1 US\$ equivale R\$ 3,24 - cotação 15/07/2015.

⁸ Não apenas em instalações, mas também devem ser considerados os custos e perdas associados ao manuseio e custos ocultos de infraestrutura de sistemas de transporte convencionais. O desenvolvimento tecnológico foca numa atmosfera controlada no módulo de carga útil com o objetivo de manter os produtos frescos, competindo com outras alternativas de frete e armazenagem.

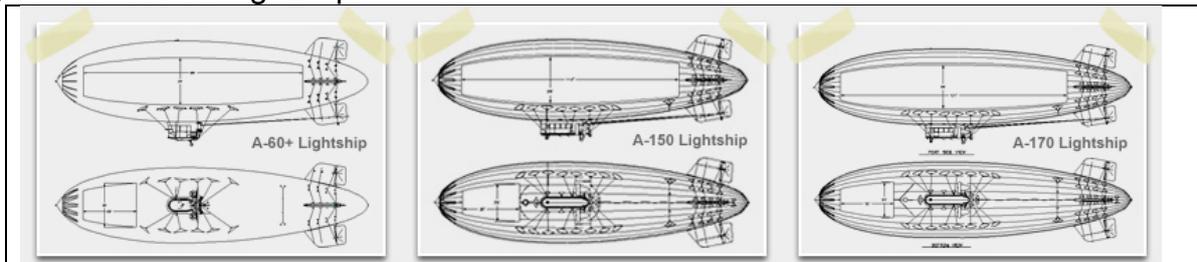
⁹O comprimento da tubulação de 48,77 m (160 ft) não necessita ser cortada para o transporte e soldada no local, pelo contrário, dois tubos podem ser soldados e transportados como uma única seção 97,54 m (320 ft). Associando a capacidade de transporte de 12 dutos, em uma única viagem, pode ser transportado 1,2 km de gasoduto.

Uma avaliação inicial de custos estimada pela SkyLine na rota: Lago Baikal, na Rússia, e Beijing, na China; utilizando uma frota de 3 SkyCat-1000 transportaria 4 km de gasoduto/dia ao custo de €\$ 104.000/km (R\$ 364.000/km) e finalizando a obra em 2 anos, antecipando o fluxos de receita em comparação aos sistemas construtivos convencionais.

Estados Unidos

Os Estados Unidos possuem tradição na construção e operação de dirigíveis não-rígidos, ou *blimps*, mantido pela American Blimp Corporation com a produção das séries Lightship A-60, A-150 e A-170 (Figura 4).

Figura 4: Modelos Lightship



Fonte: Airship Group, 2015 .

Estes dirigíveis se encontram em operação, além dos EUA, Brasil, Argentina, Austrália, Canadá, Alemanha, Itália, China, Japão e Turquia (3 equipamentos já ultrapassaram 10 mil horas de voo), cuja a principal finalidade é propaganda e publicidade com utilização de painéis luminosos.

Em 1999 nos EUA foi criada a Aeros Airship Company atuando em projetos, construção, pesquisa, desenvolvimento e comercialização de dirigíveis. O principal desafio é o desenvolvimento de dirigíveis de grande porte com foco no setor de logística de carga aérea.

A Aeros desenvolveu um novo paradigma com o Aeroscraft abordando tendências macroeconômicas em processos eficientes com características de produção em *Just-in-time*, redução de *lead-time* e permitindo que o sistema de transporte de um ponto a outro com roteamento flexível não seja limitado pela infraestrutura logística. Trata-se de uma tecnologia em desenvolvimento que alia benefícios e características de voo de asa fixa, rotativa e veículos tradicionais LTA¹⁰ (Aerosml, 2015).

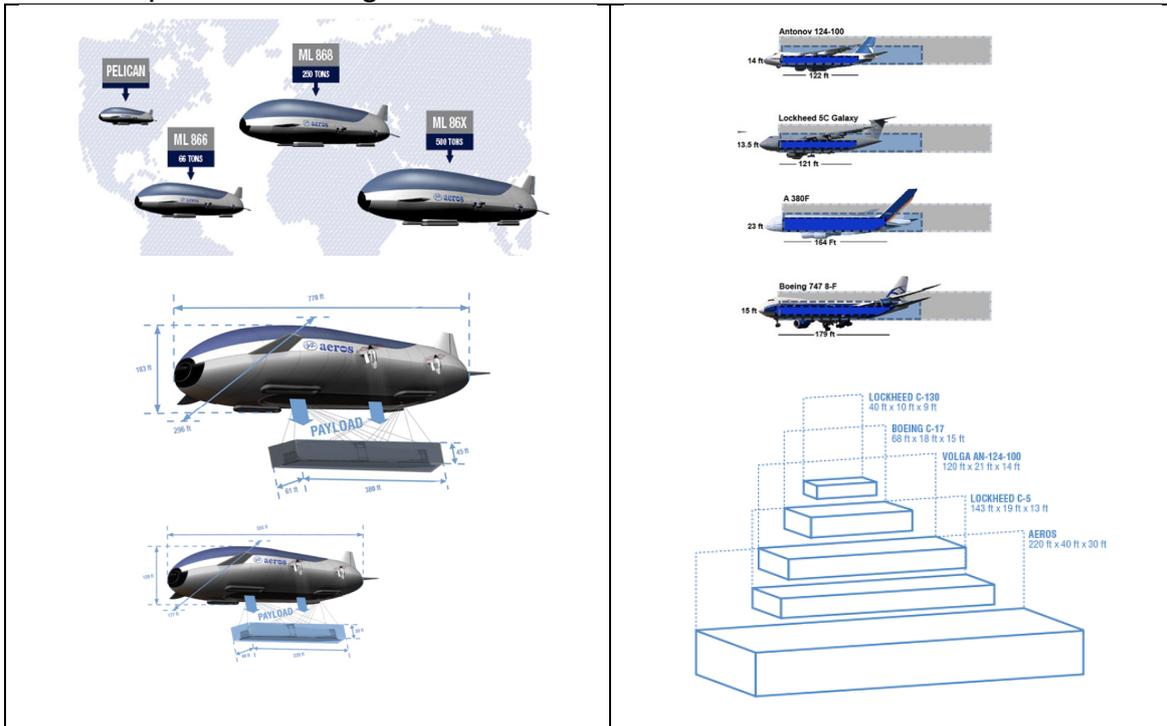
Mesmo tratando-se de uma solução, *a priori*, unimodal, o Aeroscraft eleva a eficácia da logística intermodal, provendo o *ship-to-shore* e *uma nova capacidade pairar-implantar* que pode superar dificuldades envolvidas em grandes projetos de engenharia, - inclusive *off shore*.

O compartimento de carga paga acomoda desde componentes aeroespaciais a equipamentos para parques eólicos, mas também ajuda a construção modular, permitindo reduzir significativamente os custos de montagem, desmontagem e remontagem.

O compartimento de carga situado na parte inferior da aeronave é carregado por um sistema de roldanas a partir do solo e maior que qualquer transportadora comercial de aviões (Figura 5).

¹⁰ LTA – Ligtherthenair, mais leve que o ar.

Figura 5: Comparativo de carga Aircraft



Fonte: Aerostcraft, 2015

Rússia

Em outubro de 1997, o consórcio formado pela Avgur, Moscow Aviation Institute e a Russian Aeronautical Society fundou a RosAeroSystems para combinar esforços e parcerias em projetos de construção e operação de aeronaves LTA, - “mais leves que o ar”.

O modelo *Au-12* é não rígido, conduzido por apenas 1 tripulante e utilizado em publicidade, patrulha e comunicações. O *PD-300*, para 2 tripulantes, e o *MD-900* são dirigíveis semelhantes com estrutura semirrígida e planejados para atividades civis e militares. A diferença está na maior envergadura do *MD-900*, e conseqüentemente com maior capacidade de carga, cerca de 3 toneladas. O *DPD-5000* para 14 tripulantes e com estrutura semirrígida foi projetado para vigilância de longo alcance. Para o transporte de carga o *DTs-N* com estrutura semirrígida tem capacidade projetada de carga de 180 toneladas.

Brasil

No Brasil existem vários problemas logísticos, não só pelos sistemas modais precários (rodovias, ferrovias, portos, aeroportos, etc.), mas principalmente, pela extensão continental de seu território apresenta-se o desafio dos “vazios logísticos” essencialmente nas regiões norte e nordeste.

As crises de petróleo de 1973 e 1979 demonstraram à necessidade de uma alternativa a economia suportada em combustíveis fósseis como base do processo logístico. Esse impacto trouxe uma oportunidade de “repensar” os estudos de dirigíveis cujo foco principal pautou-se no custo de implantação e manutenção de sistemas de dirigíveis para os vazios logísticos.

Entretanto, observa-se uma gama bastante ampla de cenários para a utilização de dirigíveis no país como um modal logístico estratégico, que apesar dos riscos inerentes aos projetos desta complexidade e de requerimentos de novos patamares de inovação em materiais, tecnologias e modos, apresentam vantagens competitivas e comparativas em capacidade de transporte de cargas volumosas e “não convencionais”; menor custo

que o do transporte aéreo convencional e maior rapidez que o transporte rodoviário; alcance em locais de difícil acesso; dispensa a utilização de infraestrutura específica; e baixo impacto ambiental.

Esse tema é estratégico, focando em estudos cujafundamentação teórica suportada em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P, D & I) propondo alternativas na utilização de dirigíveis como um modal logístico. Estes estudos imapctam tanto no âmbito local com ação em relação ao desafio do desenvolvimento, requerendo a proposição de soluções dedicadas/específicas; quanto na consolidação de projetos em fase experimental de uso. (GOMES; MIGON, 2012).

Panorama Global

No contexto do estado da arte foram analisados projetos significativos de aeronaves mais leves que o ar (LTA) desenvolvido em alguns países. Existem desafios em relação à flutuação dinâmica, controles e ajustes a flutuação estática durante as operações, lastros, dentre outros.

Os fatores mais evidentes de viabilidade dos dirigíveis são o baixo investimento em infraestrutura, a flexibilidade de funcionalidades que podem ser desde transmissão de TV até transporte de cargas especiais, “não convencionais”.

A Tabela 1 resume os principais aspectos identificados no estado da arte para os dirigíveis pesquisados.

Tabela 1: Síntese do estado da arte dos dirigíveis pesquisados

Dirigível	Alemanha		Inglaterra		EUA							Rússia				
	Zeppelin		SkyCat		Blimp			Aeros				RosAeroSystems				
	NT 07	CL 160	20	220	A 60	A 150	A 170	Pelican	ML 866	ML 868	ML 86x	Au 12	PD 300	MD 900	DPD 5000	DTs N1
Comprimento- m	75	260	81	185	39,0	50,2	54,2	79,8	166,5	231	276	31,4	45,4	60	126,8	268
Diâmetro - m	14	65	41	77,3	10,0	13,1	14,0	28,8	53,1	88,8	106,5	7,8	11,3	17	28,2	54
Altura - m	17	82	24,1	47	12,9	16,7	16,7	15,3	36	54,9	64,5	11,3	14	22	32	59
Volume - 10 ³ m ³	8,2	550	80	672	1,9	4,8	5,2	35	318	1.126	1.895	0,9	3,1	9,1	50,1	500
Carga -ton	1,9	120 160	20	220	1,3	2,9	3,5	0	66	250	500	0,05	1,2	3,2	15,2	180
Velocidade máxima- kt	67	72	85	72	46	52	45	66	120	120	120	54	59	70	81	91
Velocidade de cruzeiro- kt	62	49	75	49	35	33	38	40	100	100	100	32	49	54	59	65
Altitude de cruzeiro - 10 ³ m	3	3 6,5	3	3 6,5	3	3	3	2,9	3,6	3,6	3,6	0,9	0,9	0,9	1,5	1,5
Máximo alcance - 10 ³ nm	0,5	5,4	2,4	3,2	0,6	0,6	0,6	n/a	3,1	5,1	5,1	0,3	0,5	1,6	4,6	8,1
Custo - ME\$	7	N/D	25 30	79 81	N/D			N/D				N/D				

Fonte: Adaptado de Abbey, AirshipGroup, Aeroscraft e Ros Aero Systems 2015

3 Etapas Construtivas de um Parque Eólico

O objetivo de um parque eólico consiste no aproveitamento da velocidade do vento para a produção de energia elétrica. Cada aerogerador apresenta altos investimentos na construção (na ordem de milhões de reais), custos de manutenção baixos e custo zero com combustível. É uma tecnologia em maturação e nos últimos anos ocorreram avanços tecnológicos significativos impactando em investimentos menores para a implantação.

Os avanços significativos concentram-se na adaptação das características requeridas deste tipo de tecnologia, principalmente em relação às rotações das turbinas, menores que o da geração tradicional (hidráulica, por exemplo), com a velocidade do vento variando na faixa de 5 a 25 m/s, altura variando de 50 a 100 m, raio das pás de até 100 m e potência nominal instalada entre 2 MW e 5 MW.

A Figura 6 ilustra as diversas etapas da produção de eletricidade desde a rotação das pás a partir do vento até a distribuição aos clientes conectados na rede elétrica.

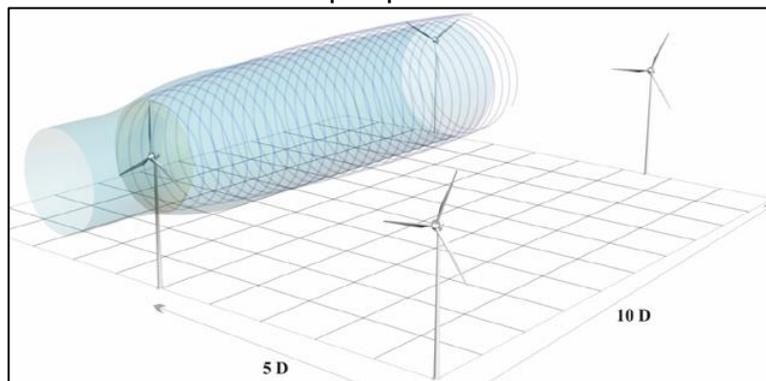
Na sequência, o *projeto executivo* prevê as etapas de logística e execução que subsidiam o planejamento e controle. É uma etapa que merece atenção especial porque envolve atividades paralelas e complementares associada a uma preocupação constante com o suprimento de materiais e a movimentação das equipes de trabalho.

O cronograma é rígido, uma verdadeira conjugação entre sistemas, procedimentos e decisões modelados como um planejamento e controle que conecta e concilia o suprimento e demanda aos seus respectivos e diferentes aspectos tanto dentro quanto fora da obra. São primordiais a identificação do caminho crítico, as atividades críticas e as datas chave do projeto (Slack, *et al.*, 2009).

A logística no canteiro de obras envolve grandes volumes de movimentação de terra, nivelamento do terreno e a pavimentação das vias de acesso para os equipamentos de grande porte como guindastes e as carretas para transportar os aerogeradores e as pás eólicas.

Os parques eólicos são construídos geralmente em regiões serranas ou sobre dunas litorâneas e a distância entre as torres está diretamente ligada à eficiência dos aerogeradores, cuja alocação é realizada através de um estudo no qual se estabelece a melhor localização considerando a situação dos ventos e a menor interferência aerodinâmica, turbulências, entre os equipamentos (Figura 7).

Figura 7: Interferência aerodinâmica em parques eólicos



Fonte: Atlas Eólico, 2001.

Na distribuição especial do parque eólico devem ser eliminadas rampas com inclinação acima de 10 %, pistas estreitas com curvas sem espaço suficiente para que as carretas que transportam as pás eólicas manobrem (em geral com mais de 40 m de comprimento), dentre outros aspectos característicos que variam localmente de acordo com o layout da obra e que podem interferir significativamente nos custos e no prazo de execução.

A localização e o acesso acrescentam mais dificuldades na obtenção e mobilização de equipamentos *off road* (supercaminhões) em quantidade suficiente para atender ao empreendimento e no planejamento sincronizado dos serviços em função do prazo de entrega contratado. Isso implica na alocação de equipamentos em *stand by* para mitigar os efeitos da possível falta de máquinas e/ou equipamentos.

Na etapa de fundação a solução é obtida através das sondagens dos terrenos e em função das características dos aerogeradores que serão instalados podendo ser utilizada a cravação de estacas sobreposta por um bloco de concreto (método mais utilizado no nordeste brasileiro), solo, cimento (robusta em função do peso do conjunto torre-nacelle-pás), estaca-raiz, dentre outras. A quantidade de concreto usada no bloco base de fundações pode variar dependendo do método utilizado na fundação.

A concretagem sempre deve ser realizada de uma só vez¹², com fornecimento de

¹²Em locais com temperatura ambiente alta, é aconselhável que o concreto seja dosado, prevendo o uso de gelo ou de um cimento de baixo calor de hidratação inicial, evitando as fissuras e a desidratação.

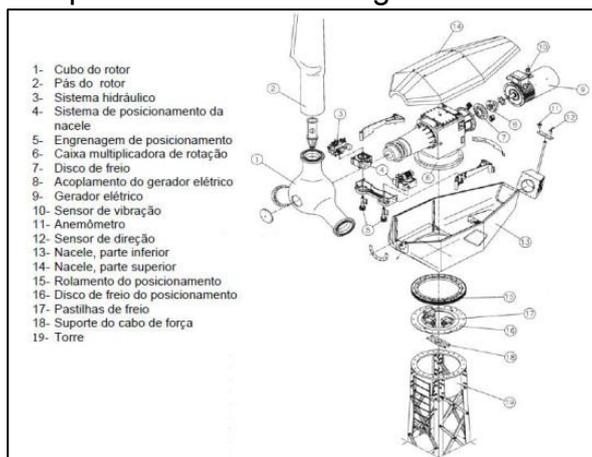
concreto contínuo, para evitar fissuras de retração e precedidas da montagem das ferragens e das conexões civis e elétricas necessárias para a transmissão de energia e dados. É preciso seguir os parâmetros dos projetos estruturais requerendo precisão extrema com o posicionamento dos *anchorbolts*, que conectam fisicamente a fundação e a torre eólica.

Após a cura do concreto é realizada a montagem da torre, subdividida em blocos sobrepostos. É o elemento de sustentação dos demais componentes do conjunto do aerogerador e essencial para suporte e posicionamento do rotor na altura correta de funcionamento. Está sujeito a ação dinâmica do vento e do aerogerador; e aos esforços, peso, forças horizontais, resistência do rotor (AMORIM, 2008).

Basicamente dois tipos de torres são comumente utilizados, as tubulares e treliçadas. As torres tubulares são consideradas mais seguras para as equipes de manutenção, porque o acesso a nacelle é realizado pelo interior da torre. Por outro lado, às torres treliçadas, são mais econômicas, com fundações simples e menor efeito de “sombra”. Contudo, o crescente aumento de altura dos centros dos rotores induz a opção pelas torres tubulares (CASTRO, 2009).

Em seguida apoiada na torre instala-se a nacelle onde ficam os sistemas mecânicos, rotor, gerador e o sistema primário de transmissão de energia do aerogerador. Essa é a fase mais complexa do processo, exigindo condições atmosféricas ideais, - com ventos fortes não é possível realizar a instalação (Figura 8).

Figura 8: Equipamentos componentes de um aerogerador



Fonte: Wordpress, 2015

Complementa-se a montagem com a instalação da rede elétrica dentro do parque eólico, fiações aéreas ou subterrâneas, e a interligação do parque eólico ao SIN através das subestações e linhas de transmissão.

3.2 Restrições de Infraestrutura e Logística

A restrição de infraestrutura principalmente nas rodovias é um fator fundamental na composição do custo de montagem de um parque eólico o que permite a busca de alternativas para a minimização destes efeitos como uma oportunidade real.

Na logística de transporte das máquinas e equipamentos, existem diversos tipos de restrições como a altura da carga, ângulo de manobra em curvas, limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres especificadas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), etc. Estas restrições requerem uma roteirização¹³ difícil

¹³A roteirização de percurso é um estudo de viabilidade com base no mapeamento das diversas alternativas de rotas possíveis com base no levantamento das condições, limitações físicas e operacionais, dos órgãos

complexa e que demandam um tempo excessivamente longo, apenas com o transporte do que será preciso para montar um parque eólico.

Nem sempre o trajeto mais curto é o mais viável, as restrições quanto às dimensões de cargas especiais (largura, peso e especialmente altura) associadas com a infraestrutura viária deficiente e insuficiente até para o transporte de cargas regulares é ampliada significativamente para o transporte de cargas especiais excedentes tornando-se dependentes de um conhecimento profundo da infraestrutura viária, frota adequada, profissionais com treinamento adequado, dentre outros requisitos especializados na área de legislação e segurança de transporte¹⁴.

Na montagem de engenharia civil para a turbina eólica é fundamental a existência de plataformas, cuja função é auxiliar no apoio correto das guas¹⁵. São compostas por uma superfície bem compactada¹⁶ e com uma sub-base resistente com dimensões específicas de acordo como o tipo grua, da turbina eólica que será montada e do peso dos demais componentes (Diaz, 2008).

A sequência seguinte envolve a montagem da torre (pré-fabricada), transportada para o local em partes através de caminhões especiais; e a nacelle (em alguns casos com 90 ton), que poderá ser montada em etapas (com ou sem os equipamentos) que facilita a elevação e instalação. O tempo estimado são de dois aerogeradores montados por semana (PINHO, 2008).

Na última etapa da montagem são colocadas as pás, com tamanhos que podem ultrapassar 50 m e pesar entre 60 kN e 100 kN, e por razões de segurança não podem ser elevadas e instaladas com velocidade do vento superior a 10 m/s (PINHO, 2008).

Após concluir a construção civil e a montagem dos aerogeradores, é necessário proceder a recuperação das áreas, mitigando o impacto ambiental, e resguardando-se possíveis ações erosivas. Também são realizados os testes, com duração mínima de 240 h, realizada a primeira manutenção preventiva, corrigidas as pequenas inconformidades, realizados *as built* do projeto e finalizada toda a documentação técnica.

Todas estas etapas devem estar contempladas no orçamento executivo do parque eólico.

4 Alternativa dos Dirigíveis para Infraestrutura de Parques Eólicos

Existem possibilidades amplas sem aplicações dos dirigíveis como um modal logístico de carga, principalmente face aos imensos desafios apontados pelo planejamento energético nacional (BEN, 2015).

Contudo, as especificidades devem ser consideradas e ponderadas em função de características específicas do modo de uso. No caso de parques eólicos existem oportunidades convergentes em tecnologia e inovação que podem ser alavacadores tanto no desenvolvimento do modal logístico dos LTA como na própria tecnologia da indústria de energia (GOMES; MIGON, 2012).

Os riscos são proporcionais aos desafios de padrões tecnológicos e inerentes aos projetos inovadores. Os dirigíveis criam possibilidades e novas perspectivas na utilização como modal de transporte de cargas volumosas comparativamente ao maior custo do transporte aéreo convencional e menor rapidez do rodoviário, além de alcançar locais de difícil acesso, sem necessidade de infraestrutura específica, e com impacto ambiental

responsáveis, da legislação e dos requisitos para trânsito de cargas excedentes.

¹⁴ Envolve: Leis, Decretos, Resoluções, Normas Regulamentadoras, boas práticas, responsável técnico habilitado pela ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (cível e criminal inerentes da atividade exercida), etc.

¹⁵ É fundamental que a cota da plataforma seja igual à cota do anel de fundação, caso contrário a grua poderá não ter força suficiente para a montagem da turbina eólica.

¹⁶ Pode ser necessário um certo grau de compactação do perímetro ao redor das plataformas porque pode ser necessário para a utilização de outras guas no auxílio dos trabalhos de montagem, ou para manuseamento dos componentes do aerogerador.

baixo.

Na viabilização de um modelo de sistemas de transporte ponto a ponto para cargas especiais e “não convencionais” as vantagens competitivas baseadas na logística para a construção de parques eólicos não se apresentam de forma explícita, requisitando para a demonstração empírica uma parametrização de dados coletados, nem sempre facilmente disponíveis, que permitam ao menos sinalizar uma oportunidade de negócios que não deve ser desconsiderada.

Partindo de um orçamento unitário para 1 aerogerador, de forma sucinta os parâmetros principais orçados representam um custo unitário médio de construção por aerogerador de MR\$ 5,3 (M€ 1,5), distribuídos conforme Tabela2 (GOUVEIA, 2013):

Tabela 2 - Orçamento Unitário do Parque Eólico.

Componentes	€\$	R\$=(€\$ * 3,5 R\$)	%
Acessos	68.075,89	238.265,6	4,5%
Plataformas e fundações	13.117,31	45.910,6	0,9%
Torre	1.100.000,00	3.850.000,0	73,1%
Torre meteorológica	16.552,71	57.934,5	1,1%
Edificação - comando e subestação	289.823,20	1.014.381,2	19,3%
Fornecimentos de equipamentos	6.759,23	23.657,3	0,4%
Recuperação ambiental	9.898,37	34.644,3	0,7%
Total (1 aerogerador)	1.504.226,71	5.264.793,5	100,0%
Cotação €\$ 17/05/15 R\$ 3,5			

Fonte: GOUVEIA, 2013

A Tabela 3 apresenta o peso e a altura dos 4 segmentos que compõem a torre metálica para o suporte do aerogerador com 89 m de comprimento (altura) e 250 ton de peso. Observa-se que o maior segmento da torre é o T4 com uma altura de 31 m e peso de 52 ton. O segmento com maior peso é o T3 com 72 ton e o comprimento (altura) de 27 m. A montagem dos segmentos ocorre encaixando-as sequencialmente de baixo para cima, um em cima do outro, exigindo uma grande precisão e a utilização de 2 tipos diferentes de guindastes, com capacidade de içar 500 ton e 600 ton respectivamente.

Tabela 3 – Peso e altura - unitário componentes aerogerador.

Peso/ton	Segmento	Peso/ton	Comprimento/m
Torre 249	T1	58	11
	T2	67	20
	T3	72	27
	T4	52	31
	Um	249	89
Nacelle 84	Um		15
Hub 56			2
Pás 24	Um	8	60
Total 413			

Fonte: Queiroz Galvão Energia (2015)

A Nacelle¹⁷ pesa 84 ton com um comprimento horizontal de 15 m e o Hub de encaixe das pás com o gerador, 56 ton e 2 m de comprimento horizontal. As pás das hélices tem comprimento de 60 m e o peso de 8 ton cada, e a lâmina de uma turbina eólica, em média, 60 m (200 pés) de comprimento.

Para o Aerogerador Vestas V105-3,3/3,45 MW as características construtivas e dados de operações são apresentados na tabela 4.

¹⁷ Estes valores podem variar de acordo com o tipo e potência do aerogerador. Foram considerados valor médio para utilização na simulação dos sistemas de logística.

Tabela 4 – Aerogerador Vestas.

SÍNTESE AEROGERAODOR VESTAS - V105-3.3/3.45 MW™

Classe: IEC IA/IEC S

DIMENSÕES				DADOS DE OPERAÇÃO		
TORRE - ESPECÍFICA POR SITE				ENERGIA		
ROTOR	Um			<i>Potencia Nominal</i>	kW	3.300
	<i>Diametro</i>	M	105	<i>Cut-in Velocidade vento</i>	m/s	3,0
	<i>Varredura</i>	m ²	8.625	<i>Cut-out velocidade vento</i>	m/s	25,0
NACELLE	Um			<i>Re cut-in velocidade vento</i>	m/s	23,0
	<i>Altura para transporte</i>	M	3,4	<i>Frequência</i>	Hz	50/60
	<i>Altura instalada</i>	M	6,8	<i>Conversor</i>	fullscale	
	<i>Comprimento</i>	M	12,8	GEARBOX- Type two planetary stages and one helical stage.		
	<i>Largura</i>	M	4,0			
HUB	Um					
	<i>Altura transporte</i>	M	3,7			
	<i>Largura transporte</i>	M	3,8			
	<i>Comprimento Transporte</i>	M	5,4			
PÁS	Um					
	<i>Comprimento</i>	M	51,2			
	<i>Envergadura</i>	M	4,0			
	<i>Peso transporte por unidade</i>	Ton	70			

Fonte: Adaptado de Vestas (2015)

Observa-se que as medidas apresentadas nas tabelas 3 e 4 demonstram uma diferença pouco significativa em termos de comprimento, altura, largura e envergadura para os equipamentos dos aerogeradores.

Considerando a tabela 2, o gasto mais representativo para a construção de uma aerogerador é a montagem da torre com 73,1 % (MR\$ 3,85) seguido da construção das edificações de comando e subestação com 19,3 % (MR\$ 1,01).

Para efeito comparativo e tomando por base o SkyCat 220 (tabela 5), com capacidade de carga de 220 ton seria possível transportar todos os equipamentos de uma torre eólica em 2 viagens diretamente do fabricante ao ponto de uso.

Tabela 5 – Características SkyCat 220

<i>Dirigível</i>	Inglaterra SkyCat 220
Comprimento – m	185,0
Diâmetro – m	77,3
Altura – m	47,0
Volume – m ³	672.123,0
Módulo de carga	
Carga total / Paga – kg	220.000
Volume – m ³	2.400
Dimensões da gondola / Carga – m ³	64 x 4,8 x 7,8
Performance	
Velocidade máxima (95 ktd)- kph	176
Velocidade de cruzeiro (80 kts) –kph	148
Altitude de cruzeiro (ft 3.000 - 6.500) – m	1.981
Máximo alcance (3.225 n.m) – km	5.973
Preço Base -Máximo- (Us\$ 80-92) - MR\$	298,1
Custos Operacionais R\$ - base 4.500 horas de voo	
ano (Us\$ 6.2000.000,0)	20.088.000,0
voo hora (Us\$ 1.380,0)	4.471,2
ton/km (Us\$ 0,04)	0,13
Custos Leasing R\$ - base 4.500 horas de voo	
ano (MUs\$ 22,4 - 25,7)	83.268.000,0
mês (MUs\$ 0,8 - 0,9)	2.916.000,0
Custos Totais R\$ - base 4.500 horas de voo	
ano (MUs\$ 28,6 - 31,9)	103.356.000,0
voo hora (Us\$ 6.350 - 7.090)	22.971,6
ton/km (Us\$ 0,19 - 0,21)	3,0

Fonte: Adaptado Abbey, 2015.

Simulando o transporte entre o “chão da fábrica” e um parque eólico num percurso direto de 1.000 km e considerando os equipamentos necessários para a montagem de um aerogerador como referência, observa-se que serão necessárias 2 viagens como um custo de transporte de MR\$ 1,6 uma redução de 42,2 %, tabela 5.

Tabela 6 – Simulação comparativa - Convencional x Dirigível

Simulação	Convencional	Dirigível
Montagem (a)	3.850.000,0	
Percurso - km (ponto a ponto)		1.000
Qtde viagens		2
Tempo - Hora (148 kph)		6,7
Custo Hora Voo R\$		155.045,9
Custo ton/km R\$		656.488,8
Subtotal transporte R\$		811.534,7
Total R\$ - 2 viagens (b)		1.623.069,4
% diferença (b)/(a)	42,2%	

Fonte: Adaptado de Aeroscraft, 2015.

As características VTOL e STOL¹⁸ de decolagem e pouso realizada de forma planejada pode permitir a que os ganhos com a logística de transporte sejam associados com novas funções de ancoragem e estabilização permitindo a montagem diretamente do dirigível. O procedimento de ancoragem para carregamento e descarregamento pode ser considerado equivalente as plataformas e fundações no valor de R\$ 45.910,6 - tabela 2. Na tabela 6 apresenta-se uma síntese comparativa entre os sistemas de montagem convencional e com a utilização do dirigível alcançando uma redução da ordem de 46,8 % reduzindo o valor de montagem de 1 aerogerador para MR\$ 2,7.

Tabela 6 – Síntese comparativa entre sistemas de montagem.

Componentes (R\$)	Convencional	Dirigível
Acessos	238.265,6	-
Plataformas e fundações	45.910,6	45.910,6
Torre	3.850.000,0	1.623.069,4
Torre meteorológica	57.934,5	57.934,5
Edificação - comando e subestação	1.014.381,2	1.014.381,2
Fornecimentos de equipamentos	23.657,3	23.657,3
Recuperação ambiental	34.644,3	34.644,3
Total (1 aerogerador)	5.264.793,5	2.799.597,3
% diferença (b)/(a)		-46,8%

Fonte: Adaptado de Aeroscraft, 2015.

A figura 9 ilustra o transporte de pás com o Aeroscraft (2015) em desenvolvimento.

Figura 9 – Aeros - ALTERNATIVE ENERGY



Fonte: Aeroscraft, 2015

¹⁸VTOL (land and take off vertically) - decolar e pousar verticalmente e STOL mode (short take-off and landing) decolagem e aterrissagem curto.

5 Conclusão

A alternativa pelo dirigível especificamente neste segmento industrial não é exaustiva, mas é inovadora, podendo criar estrategicamente um novo modal de transporte e uma nova metodologia de montagem das torres eólicas. Uma reconquista com as tecnologias disponíveis no sentido da eficiência, eficácia e efetividade, podendo transportar praticamente qualquer carga, substituindo caminhões, navios e aeronaves.

Em uma análise conceitual, os LTA's indicam o desenvolvimento de um equipamento multifuncional que pode entregar a carga diretamente, ponto-a-ponto, da origem ao destino independente de uma infraestrutura específica, mesmo em plena carga.

Uma aeronave como solução inovadora para problemas com o transporte de cargas volumosas, introduzindo um sistema de transporte global de elevação vertical impactando praticamente qualquer local, viabilizando projetos anteriormente inacessíveis e proporcionando oportunidades de negócios que podem ter sido previamente consideradas não rentáveis.

Especificamente para a construção de parques eólicos esta solução é particularmente favorável na medida em que viabiliza um modelo de sistemas de transporte ponto a ponto para cargas especiais e "não convencionais" solucionando economicamente o principal problema de logística, que exigem verdadeiras "operações de guerra" para o transporte de equipamentos, e reduz significativamente o tempo de disponibilização dos benefícios finais dos parques eólicos para a sociedade.

É uma vantagem competitiva bastante significativa para a construção de parques eólicos com reduções preliminares da ordem metade do valor de uma montagem convencional.

Contudo, são necessários estudos de aviônica, estabilização dinâmica e estática e ancoragem para que possam ser desenvolvidos e consolidados os conceitos de inovação apresentados no análise conceitual.

Outro ponto que merece atenção e pode ser também foco de estudos é a manutenção, preventiva, preditiva e corretiva dos parques eólicos através de dirigíveis de menor porte como a utilização de blimps.

REFERÊNCIAS

GOMES, Sérgio Bittencourt Varella; MIGON, Márcio Nobre. "Os dirigíveis e o Brasil: eterna promessa ou caso concreto?." *BNDES Setorial*, n. 35, mar. 2012, p. 303-332 (2012).

AMARANTE, O.A.C., ZACK, M.B.E.J, SÁ, A.L., *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília, 2001. 45p. Disponível em

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf> 26.11.2015

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da produção*. Atlas, 2009.

GOUVEIA, Yesmary Carolina da Silva. *Construção de um parque eólico industrial*. Diss. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2013.

AEROSCRAFT. Disponível em <<http://aerocraft.com/fleet-copy/4580475518>>, acesso em 11.09.15.

AUGUR ROSAEROSYSTEMS HTTP. Disponível em <<http://rosaerosystems.com/airships/>>, acesso em 26.09.15.

AIRSHIP GROUP. Disponível em <<http://www.airships.com/tlga170.php>>, acesso em 27.09.15.

VESTAS. Disponível em <www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v105-3_3_mw#!technical-specifications>, acesso em 03.10.15.

DONE, Kevin. Stratospheric deal may relaunch era of airship. National News, Nov. 13, 2001.

NAYLER, Arnold W.L. Airship in World. Airship – The Journal of the Airship Association, London, Dec., 2003.

OWEN, David. Lighter than air: an illustrated history of the development of the hot-air balloons and airships. London: Quintet Publishing Limited, 1999.

DIAZ, José; Formação de Promotores Renováveis; Neo Energia, Marzo, 2008.

AMORIM, Pedro Miguel C. P.; Análise e Melhoria dos Rendimentos das Máquinas num Parque Eólico; FEUP; Julho; 2008.

CASTRO, Rui M. G.; Energias Renováveis e Produções Descentralizada – Introdução à Energia Eólica; 4ª ed., IST, Março de 2009.

PINHO, Antônio Monteiro; Gestão de Projectos de Parques Eólicos; FEUP; Junho; 2008.

JANZ, Michele Cristiane L. F. Disponível em <<http://www.logisc.com.br/blog/artigos-academicos/tcc-transporte/>>, acesso em 10.10.15.

MARCH, Telmo Roberto; Dirigíveis: Uma Alternativa para o Transporte de Cargas Especiais; Rio de Janeiro RJ; 2005.

CARGOLIFTER, 2015. Disponível em <<http://www.cargolifter.com>>, acesso em 29.10.15

ABBEY, Wythan; World Skycat. Disponível em <http://www.worldskycat.com/images/SkyCat.pdf>, acesso: 27.09.15.

WORDPRESS, 2015. Disponível em <<https://evolucaoalp.wordpress.com/2012/06/19/componentes-de-um-sistema-eolico/>>, acesso em 04.10.15.

BEN, 2015. Ministério de Minas e Energia; Balanço Energético Nacional. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>, acesso em 02.11.15.