

## **APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NOS PARÂMETROS DE PROJETOS DAS EMBARCAÇÕES MISTAS DA AMAZÔNIA UTILIZANDO PLANILHAS ELETRÔNICAS**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é aplicar uma ferramenta para análise de projetos em diversas embarcações mistas da Amazônia, destinadas ao transporte simultâneo de cargas e pessoas, na busca pelos melhores índices de eficiência de projeto, envolvendo parâmetros como potência efetiva, potência requerida pelo motor, peso leve, custo preliminar de construção e capacidade de carga. Foi apresentado um conjunto de embarcações mistas existentes na Amazônia, fornecido pela empresa Netuno Engenharia Naval – LTDA. Com isso utilizou-se um método de tomada de decisão conhecido como Análise Envoltória de Dados – DEA, com Retorno Constante de Escala – RCE orientado a insumo, por intermédio de planilhas eletrônicas. Além de selecionar as embarcações mais eficientes, é possível incluir um novo projeto para que este possa ser avaliado e comparado com os demais, na busca pelo benchmarking.

**Palavras-chave:** Eficiência. DEA. RCE. Embarcações Mistas.

### **1 INTRODUÇÃO**

O transporte na Região Amazônica entre cidades é realizado basicamente, pelo modal fluvial, devido sua vasta malha hidroviária. Com o crescimento da demanda de passageiros e cargas nos últimos anos, existe a necessidade de se construir embarcações mais rápidas, seguras, que transportem a maior quantidade de carga e pessoas possível, atendendo as restrições de ordem prática.

Conforme dados da ANTAQ (2013), a estimativa para o ano de 2022 é que a movimentação de passageiros na Amazônia possa atingir 9,9 milhões de usuários/ano. A crescente demanda de passageiros e carga na Amazônia requer um meio de condução mais eficiente e que garanta a competitividade com o mercado. Ainda de acordo com a pesquisa, o serviço oferecido hoje para a população é pouco satisfatório, entretanto as empresas de transporte defendem que o nível de serviço está associado ao baixo custo ofertado, caracterizado pela baixa condição de renda da população, dificultando os investimentos e melhorias neste serviço.

Diante deste quadro, o presente trabalho se enquadra na busca por uma avaliação comparativa entre diversas embarcações destinadas ao transporte simultâneo de cargas e pessoas empregadas na Amazônia, com o objetivo de encontrar quais destas apresentam maior índice de eficiência padrão, de formar a auxiliar na tomada de decisão sobre os parâmetros de projeto.

#### **1.1 Definição do Problema**

Tendo em vista a complexidade na elaboração de um projeto naval, foram desenvolvidos nos últimos anos metodologias para auxiliar o projetista na fase preliminar de projeto, entre elas destaca-se a metodologia sistemática através de regressões que descrevem as geometrias dos cascos dos navios, proposta na metodologia clássica de Watson (1998),

entretanto esta não é capaz de afirmar se as variáveis obtidas são as melhores para o projeto, logo não há como afirmar se o projeto desenvolvido é o melhor a ser empregado.

O projeto preliminar de uma embarcação é constituído por diversos parâmetros que possuem conflitos entre si, tornando os processos de tomadas de decisão mais dificultosos e dependentes da experiência do projetista. As embarcações mistas da Amazônia em geral possuem poucos investimentos que visem melhorias nos projetos, de acordo com Santos et. al. (2015), estas ainda possuem uma baixa competitividade no mercado regional, fruto da insegurança e da falta de confiabilidade neste tipo de transporte.

De acordo com Duarte et. al. (2009) o transporte fluvial por embarcações mistas na Amazônia possui alguns problemas quanto a adequação das embarcações existentes, visto que geralmente estas são construídas sem o auxílio de uma equipe de engenharia e encontram-se irregulares perante as normas vigentes, oferecendo operações ineficientes e perigos aos passageiros e tripulantes.

O baixo custo e a mão de obra barata induzem o Armador a perder o interesse em buscar novas tecnologias e investir em projetos, porém, se não houver um estudo prévio para a seleção de um casco com uma minimização na resistência ao avanço, maximização na eficiência propulsiva, estrutural, de velocidade, entre outros, acarretará em baixa eficiência de projeto, afetando nos custos operacionais desta embarcação além de maiores custos na construção.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Transporte de Embarcações Mistas na Amazônia**

O transporte em sua essência pode ser considerado uma atividade primária, devido seu peso nos objetivos logísticos e nos custos que este sistema oferece nas atividades econômicas, (SANTOS, 2015). Entre os modais existentes, o fluvial destaca-se pela baixa emissão de poluentes e pela ótima eficiência energética quando comparado ao rodoviário, ferroviário e aeroviário, conforme (MAIA, 2015).

O principal meio de transporte fluvial que opera na Amazônia é feito por embarcações do tipo mistas. A definição “mista” está relacionada ao tráfego simultâneo de pessoas e de carga geral, este tipo de transporte é o principal meio de ligação dos municípios com as capitais, FERREIRA (2016). Estas carregam um conceito de construção artesanal transmitido ao longo dos anos e que apesar da introdução da indústria do aço na construção naval, os cascos de madeira continuam com predominância na região Amazônica.

Figura 1: Representação de uma Embarcação Mista



Fonte: Netuno Engenharia Naval (2017).

Para que uma embarcação navegue de forma segura, um conjunto de subsistemas deve comunicar-se com precisão de forma a garantir o bom funcionamento desta. Para tanto é

necessário conhecer as principais características de cada subsistema desde o projeto conceitual até a etapa construtiva.

Essas divisões existem devido ao alto custo envolvido e a quantidade elevada de processos que devem ser feitos até se chegar à etapa da construção, garantindo que todos os sistemas da embarcação possam interagir de maneira eficiente. Com isso, busca-se ferramentas adequadas para a análise e otimização destes processos.

## 2.2 Análise Envoltória de Dados - DEA

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma técnica de otimização por programação linear utilizada para a elaboração de fronteiras de eficiência. A DEA possui grande visibilidade no campo da pesquisa operacional, principalmente quando não é possível agrupar os recursos disponíveis e produtos gerados em apenas uma unidade, (MOITA, 2002).

A DEA visa avaliar a eficiência de determinadas unidades tomadoras de decisão (Decision Making Unit – DMU), na busca pela fronteira ótima de produção onde cada ponto formado pela curva significa a eficiência a uma dada entrada/*input* e uma saída/*output*. A DEA, uma unidade produtiva é analisada individualmente e batizada de *Decision Making Units* – DMU's, (Unidade Tomadora de Decisão). A eficiência de cada DMU é feita a partir da distância em que essa se encontra em relação a fronteira ótima, garantindo que todas as DMU's ineficientes possam ser corrigidas. Uma vantagem da DEA é a garantia de análise em modelos que possuam características particulares, por meio de pesos que reflitam a sua realidade.

Para calcular a eficiência de uma dada unidade produtiva, basta comparar os resultados obtidos com os valores considerados ótimos entre os insumos/produtos desta produção. Para comparar a eficiência produtiva, faz-se a razão entre o produto obtido observado com o produto máximo que pode ser alcançado, obedecendo a disponibilidade dos recursos, ou o valor da razão da quantidade mínima de insumos que pode ser empregada e a quantidade utilizada no processo, conforme a quantidade de produtos obtidos. De maneira geral, para considerar uma DMU com várias entrada e saídas, faz-se uma combinação entre estas, desta forma Farrel (1957) define que:

$$Eficiência = \frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}} \quad (1)$$

Onde o valor de Y são os valores dos produtos (*outputs*), X são os valores de insumos (*inputs*), enquanto u e v representam os pesos correspondentes aos produtos e insumos e o valor de k representa a DMU em análise.

## 2.3 Modelo CCR

Inicialmente, a DEA foi criada por Charnes, Rhodes e Cooper (1978), conhecido como modelo CCR. A ideia, que inicialmente foi uma extensão do trabalho de Farrel (1957), consiste na utilização da programação linear para mensurar o valor de eficiência de determinadas organizações, considerando múltiplas entradas (insumos) e saídas (produtos), para cada unidade (DMU). No trabalho dos autores, cada organização obteve uma eficiência e para efeitos comparativos utilizou-se a eficiência relativa.

O modelo CCR utiliza o Retorno Constante de Escala (RCE), orientado ao insumo ou produto, neste trabalho foi empregado orientação a insumo, onde a variação deste provoca também uma variação no produto, isto significa que ambos possuem crescimentos a uma taxa constante, criando-se então uma fronteira linear, este modelo é conhecido como modelo dos



multiplicadores. O valor resultado de cada DMU dependerá do peso adicionado em cada variável, em outras palavras, significa a influência de cada variável no sistema. Desta forma, o modelo CCR foi descrito pela equação a seguir:

$$\text{Maximizar } Eff_0 = \left( \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \right) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, k = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i \quad (4)$$

No modelo CCR, o valor de  $k$  representa cada DMU do sistema, onde  $k = 1, \dots, n$ , cada DMU possui  $r$  insumos  $x_{ik}$  tal que  $i = 1, \dots, r$ , e  $s$  produtos  $y_{jk}$  tal que  $j = 1, \dots, s$ . O objetivo desta equação é a busca pela maximização entre os insumos e produtos através de combinação linear em cada um, de forma que a razão entre produtos/insumos deve ser menor ou igual a 1, e a combinação linear dos insumos maior ou igual a 0. Por fim, dada uma DMU<sub>0</sub>, tem-se que  $Eff_0$  é a eficiência, com  $x_{i0}$  e  $y_{j0}$  são respectivamente os produtos e insumos e  $v_i$  e  $u_j$  representam os pesos destes.

Para transformar em um Problema de Programação Linear (PPL), foi necessário linearizar o problema CCR tornando o denominador da função em uma constante, desta forma tem-se:

$$\text{Maximizar } Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0 \quad \forall j, i \quad (8)$$

### 3 METODOLOGIA

Foram catalogadas 111 embarcações mistas da Amazônia e classificadas em embarcações de Médio Porte (de comprimento total em até 24 metros), com o total de 73 embarcações, e Grande porte (superior a 24 metros), com o total de 38 embarcações, com o objetivo de formar um banco de dados robusto e capaz de retratar todas as características deste tipo de embarcação, de forma que todas estas possam ser avaliadas na busca das mais eficientes, visando o projeto de novas embarcações.

Durante o projeto conceitual de uma embarcação, deve ser inserida a maior quantidade de parâmetros possíveis. Com base nas dimensões principais e nos coeficientes de forma, optou-se pelo emprego da Capacidade de Carga (TPB) como *output*, Potência Efetiva (EHP), Potência Requerida pelo Motor (BHP), Peso Leve ( $\Delta$ leve) e Custo Preliminar da Embarcação (Vtot) como *inputs*. Todas estas farão parte do modelo e empregadas em cada DMU.

O emprego dos *inputs* e *outputs* retornará um índice de eficiência em cada DMU. Em seguida será feito um ranking para que sejam selecionados os *benchmarks*. Para o emprego da DEA, utilizou-se a ferramenta Microsoft Excel®, pois conta com um Solver de programação

linear e por ser uma ferramenta de fácil execução e interpretação de dados, por contar com ferramentas gráficas, além de ser fundamental no ambiente institucional e empresarial, minimizando os erros de cálculo e auxiliando nas tomadas de decisão.

O usuário poderá ou não incluir um novo projeto para integrar as DMUs existentes. Caso incluída, a nova DMU será alocada no grupo de embarcações de classe M ou G. Serão atribuídos pesos para os insumos e produto de cada DMU, em seguida será aplicada a DEA relacionando a capacidade de carga, potência efetiva, requerida pelo motor, peso leve e do custo preliminar de construção, para enfim gerar DMU's eficientes e ineficientes.

#### **4 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS**

A busca pela eficiência das embarcações mistas na fase inicial de projeto requer variáveis que descrevam os *inputs* e *outputs*, relacionando os principais requisitos de projeto. Para empregar a DEA no projeto de embarcações mistas, faz-se necessário o emprego de equações para a obtenção destes parâmetros. Desta forma, são apresentadas as variáveis que serão utilizadas no modelo, baseados em referências bibliográficas existentes.

##### **4.1 Resistência ao Avanço**

Os cálculos e análises em resistência ao avanço não são tão simples de serem resolvidos, pois lidam com a geometria do casco e com forças que se opõem ao movimento da embarcação. A melhor maneira de realizar este estudo é utilizando softwares que fazem análises em CFD, porém existem metodologias de cálculo com equações empíricas e aproximadas que apresentam resultados satisfatórios e podem ser utilizado para este estudo. Optou-se pelo método de Van Oortmerssen (1971) para pequenas embarcações, método este foi validado por Moraes & Moraes (2014) para embarcações típicas da Amazônia através de modelos em tanque de provas.

##### **4.2 Custo de Construção**

Durante a fase preliminar de projeto, alguns requisitos devem ser atendidos para que haja um retorno breve ao armador, entre eles o custo de construção no que tange o investimento que deverá ser feito durante a etapa construtiva. As formulações para a estimativa preliminar de custos estão fundamentadas no trabalho apresentado por Moraes e Moraes (2008).

##### **4.3 Deslocamento Leve, Total e TPB**

Apesar do deslocamento total e leve serem conhecidos em todas as embarcações catalogadas, é importante ter conhecimento das variáveis que compõem o deslocamento. De acordo com Watson (1998), o deslocamento de um corpo em qualquer condição, pode ser definido através da formulação a seguir:

$$\Delta = \gamma \nabla \quad (9)$$

Onde  $\Delta$  representa o deslocamento em (t),  $\gamma$  é o peso específico do fluido ( $t/m^3$ ) e  $\nabla$  simboliza o volume de deslocamento ( $m^3$ ), onde este volume está relacionado com o calado  $T$  em questão, leve ou carregado. As embarcações possuem deslocamento leve ( $\Delta_{leve}$ ), e o total ( $\Delta_{tot}$ ), a diferença entre ambos revela seu porte bruto ou deadweight (TPB).

$$\Delta_{tot} = \Delta_{leve} + TPB \quad (10)$$

##### **4.4 Potência Efetiva (EHP) e Potência Requerida pelo Motor (BHP)**

A potência necessária para deslocar uma embarcação é conhecida como Potência Efetiva, a uma dada velocidade ( $V_s$ ) em m/s, simbolizado por  $P_E$  (EHP - *Effective Horse Power*) dada em HP. Para isso é necessário se ter conhecimento da resistência total ao avanço da embarcação ( $R_t$ ) dada em kN. Multiplicando estes termos e em seguida, dividindo-se estes por  $K = 1.341$ , converte-se a potência de kW para HP, unidade comumente utilizada para determinar potência de motores. Para encontrar a potência necessária no motor, dada à potência efetiva, busca-se o valor do coeficiente propulsivo. Para isto, utilizou-se os hélices da série B-Troost de Wageningen.

## 5 SÍNTESE DOS DADOS E APLICAÇÃO DA DEA

O banco de dados deste trabalho foi cedido pela empresa de projetos Netuno Engenharia Naval – LTDA e conta com um total de 111 embarcações mistas que navegam na Amazônia. Para que as DMUs apresentem características semelhantes, mas com diferença nos pesos dos insumos/produtos, foi separada a amostra em duas partes: embarcações mistas de madeira de médio e grande porte.

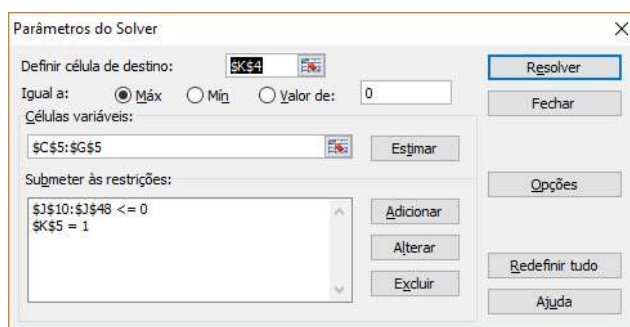
### 5.1 Análise dos Resultados

Inicialmente, foi definida uma velocidade de serviço de 10 nós (5.144 m/s) para todas as embarcações, visto que a essa velocidade todas receberão um valor de resistência ao avanço, de potência efetiva e requerida pelo motor, havendo assim uma comparação justa entre todos. Com base no modelo DEA-RCC, orientado a insumo, foram definidos 4 *inputs* e 1 *output* para a obtenção dos índices de eficiências. Estes parâmetros possuem ligação direta com o comportamento da embarcação a uma determinada velocidade. A formulação do índice de eficiência para este modelo será definida por:

$$Ef. = \frac{TPB.u_1}{EHP.v_1 + BHP.v_2 + \Delta leve.v_3 + V_{tot}.v_4} \quad (11)$$

Onde o objetivo é maximizar o *output* TPB, valor da tonelagem de porte bruto, e minimizar os *inputs*, que são: EHP, a potência efetiva necessária para deslocar a embarcação a uma dada velocidade, BHP a potência requerida pelo motor,  $\Delta leve$  representa o peso leve da embarcação e por fim  $V_{TOT}$  representa o valor preliminar de construção da embarcação, enquanto  $u_1$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  e  $v_4$  são seus respectivos pesos. Com auxílio do Solver do programa Microsoft Excel®, foi possível aplicar a programação linear utilizando a DEA e consequentemente obter os índices de eficiência. Para a aplicação da DEA no Solver, utilizou-se como material de apoio a aplicação feita por Colin (2007).

Figura 2: Dados de Entrada no Solver

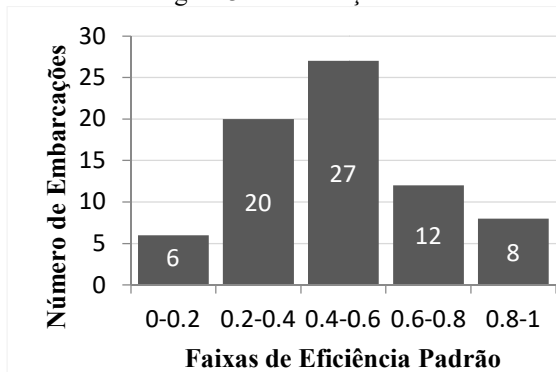


Fonte: Microsoft Excel ® (2017).



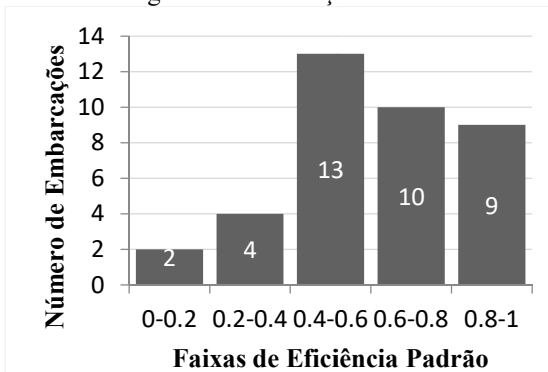
Dentro das planilhas do Excel, foram calculadas para todas as DMUs seus respectivos insumos e produtos. Em seguida, as embarcações catalogadas foram divididas em duas abas, conforme sua classe, sendo que cada aba possui seus dados de entrada no Solver. Conforme a Figura (2), a célula de destino representa a variável que se deseja maximizar, no caso a capacidade de carga TPB.

Figura 3: Embarcações de Classe M



Fonte: Autor (2017).

Figura 4: Embarcações de Classe G



Fonte: Autor (2017).

### 5.1.1 Embarcações de Classe M

A Figura (3) permite concluir que aproximadamente, 8.2% das embarcações de classe (M) possuem índices de eficiência variando entre 0-20%, considerados estes como ineficiências drásticas. 27.4% das embarcações possuem índices de eficiência acima de 20% e chegando até 40%, também consideradas como eficiências ruins. Em terceiro, vem a maior parte da amostra, 37% das embarcações possuem índices de eficiência maiores que 40% e chegando a 60%, consideradas eficiências de média. 16.43% encontram-se com eficiências superiores a 60% chegando até 80%, avaliados como acima da média e por fim, 10.95% compõem as DMUs com elevado índice de eficiência, superiores a 80% e os *benchmarks* da amostra, com 100%.

### 5.1.2 Embarcações de Classe G

De acordo com a Figura (4) foi possível concluir que 5.26% das embarcações de grande porte possuem índices de eficiência entre 0-20%, considerados como ineficiências drásticas. 10.53% das embarcações possuem índices de eficiência com valores acima de 20% atingindo até 40%, consideradas como eficiências ruins.

Assim como nas embarcações de classe M, a maior parte da amostra (34.21%) concentrou-se entre valores superiores a 40% e chegando a 60% para embarcações de classe G, classificadas como eficiências de média. 26.32% das embarcações possuem eficiências superiores a 60% chegando até 80%, descritos como acima da média. Por fim, 23.68% das embarcações possuem índices de eficiência elevados, superiores a 80% e os *benchmarks*, com 100%, observa-se que o número de DMUs com índice de eficiência elevado para embarcações de classe G é superior aos de classe M, levando em consideração a amostra existente.

## 5.2 Exemplo de Inclusão de um novo modelo

Além de realizar o estudo comparativo com um banco de dados fixo, o trabalho permite a inclusão de uma nova DMU no modelo. Para isso foi criada uma rotina de cálculo utilizando o programa Microsoft Excel® com o incremento da linguagem interna do Excel, *Visual Basic for Applications* (VBA).

Em um exemplo de aplicação, foi solicitado pelo Armador o projeto de uma embarcação mista, capaz de transportar 60 t de carga com 45 passageiros inclusos. Baseado em embarcações semelhantes foi realizado o projeto preliminar, cujas especificidades são descritas na tabela (1):

Tabela 1: Características da Nova DMU

Dimensões da Embarcação Exemplo			
Comprimento total	20.80 m	Deslocamento Carregado	81.86 t
Comprimento na Linha D'água	19.94 m	Deslocamento Leve	22.30 t
Boca	4.60 m	Coeficiente De Bloco	0.54
Pontal	1.95 m	Velocidade de Serviço	10 nós
Calado Leve	0.74 m	Calado Carregado	1.64 m

Fonte: Autor, (2017).

Desta forma, foi obtido um valor de eficiência em águas abertas de 0,53. O programa executa a DEA de acordo com a classe da embarcação. Neste caso a embarcação possui comprimento total inferior a 24 metros, com isso foi alocada no grupo de embarcações de classe M. Conforme os resultados encontrados, a embarcação possui a capacidade de carga requerida pelo Armador, de 60 t, conta com uma potência requerida pelo motor de 160 HP e com custo de construção inicial de R\$ 131.400,90, entretanto o índice de eficiência padrão calculado foi de 80,79%. Em seguida é possível aplicar a DEA para a embarcação em análise, conforme a figura a seguir:

Figura 4: Aplicação da DEA em uma nova DMU

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></div> Células a Preencher                 <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #D3D3D3; border: 1px solid black;"></div> Resultados                 <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black;"></div> Eficiência             </div>	<b>DADOS DE ENTRADA</b>		<b>RESULTADOS</b>	
	Comprimento total (Ltot) (m)	20.8	Resistência ao Avanço (Rt) (kN)	12.108
	Comprimento na Linha D'água (Lwl) (m)	19.94	Potência Efetiva (EHP) (HP)	83.527
	Boca (B) (m)	4.6	Potência Requerida p/ Motor (BHP) (HP)	160.878
	Pontal (P) (m)	1.95	Custo da Embarcação (R\$)	131400.903
	Calado Leve (Hl) (m)	0.74	<b>ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS</b>	
	Calado Carregado (Hcarr) (m)	1.64	Eficiência (DEA)	80.79%
	Deslocamento Leve ( $\Delta_{leve}$ ) (m)	22.3	<b>PESOS</b>	
	Deslocamento Carregado ( $\Delta_{car}$ ) (m)	81.86	EHP - v1	0.000%
	Coef. De Bloco (Cb) (m)	0.54	BHP - v2	0.153%
	Volume Deslocado (m <sup>3</sup> ) (m)	113.93	Peso Leve - v3	0.000%
	<b>DIMENSIONAMENTO DO HÉLICE</b>		Custo - v4	0.001%
	B-Troost (Ae/A0)	0.480	DWT - u1	1.356%
	Ktc/J <sup>2</sup>	0.852	<b>EFICIÊNCIAS RELATIVAS</b>	
	Informe o valor de Eficiência (no)	0.53	EHP/TPB	1.402
	Informe a razão (P/D)	0.8	BHP/TPB	2.701
			P. Leve/TPB	0.374
			R\$/BHP	816.771
			R\$/TPB	2206.194

Fonte: Autor, (2017).

Para que esta se torne eficiente, recomenda-se o aumento do comprimento na linha d'água e a diminuição da boca, sem perder área de espaço para passageiros no convés, dessa forma haverá uma redução na resistência ao avanço, consequentemente haverá uma menor potência efetiva e requerida pelo motor. Um refinamento no plano de linhas pode ser uma saída, de forma que haja uma diminuição no coeficiente de bloco sem perder a capacidade de carga. Quanto ao peso leve, deve ser feito um estudo de tensões atuantes na madeira para que



haja uma redução do peso estrutural, obedecendo aos critérios de tensão admissível, permitindo inclusive a possibilidade de se trabalhar com outros tipos de madeira.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs desenvolver uma metodologia para análise de eficiência de projetos, com estudo de caso nas embarcações mistas existentes na Amazônia por meio da DEA-CCR. A motivação veio pela potencial contribuição durante a fase inicial de projetos navais, permitindo tomadas de decisões prévias pelo projetista e pelo armador, na busca pelo equilíbrio entre os parâmetros aqui estudados visto que todo o processo seguinte está fundamentado nas soluções tomadas durante esta etapa. Com base os resultados encontrados, algumas conclusões podem ser tomadas:

A DEA revelou-se uma ferramenta de fácil aplicação. Por meio de pesos foi possível reunir variáveis com diferentes tipos de natureza, apresentando resultados coerentes e possibilitando a interpretação clara com relação às embarcações classificadas como eficientes e ineficientes. Vale ressaltar que para o emprego exato deste método é necessário que as informações introduzidas possuam relação com as variáveis selecionadas, para que assim ocorra a interpretação exata dos resultados.

O grande número de DMUs com baixos índices de eficiência reflete na operação da embarcação. Isto significa que as demandas requeridas para deslocar a embarcação com a mesma carga a uma dada velocidade estão acima do que deveria ser empregado, em outras palavras, existem investimentos elevados nos insumos para a geração do mesmo produto. Para resolver esse problema, melhorias no desempenho hidrodinâmico tais como novas formas de casco ou mudanças nas dimensões principais devem ser feitas. Quanto ao aspecto estrutural, novos tipos de materiais empregados na construção do casco podem ser utilizados ou análises de tensões por softwares de elementos finitos na busca pela minimização do peso estrutural, consequentemente haverá um menor consumo de combustível e economias na etapa construtiva.

## 7 REFERÊNCIAS

ANTAQ. **Extensão Das Vias Interiores Economicamente Navegadas**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2012.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision-making units**. European Journal of Operational Research, v. 2, p. 429-444, 1978.

COLIN, E. **Pesquisa Operacional, Aplicações em Estratégia, Finança, Logística, Marketing e Vendas**. Editora LTC, 2007.

DUARTE, R. C. D. S.; KUWAHARA, N.; ALENCAR, L. A. **Perspectiva Ergonômica para Embarcações do Estado do Amazonas**. In: XXIII Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transportes, XXIII ANPET, Vitória, 2009.

FARREL, M.J. **The measurement of productive efficiency**. Journal of the Royal Statistic Society, series A, part 3, p. 253-290, 1957.

**FERREIRA, M. Transporte Fluvial por Embarcações Mistas no Amazonas: Uma análise do trecho Manaus-Coari e Manaus-Parintins.** Diss. (Mestrado) - Curso de Ciência do Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, 2016.

**MAIA, H. Análises Quantitativa e Qualitativa dos Principais Sistemas Hidroviários de Transporte de Carga e Passageiros no Mundo.** SOBENA - Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior Manaus/AM, 2015.

**MORAES, H. B; MORAES, R. C. M. Análise das Características de Projeto das Embarcações da Amazônia: Uma contribuição para a elaboração de projetos navais.** 22º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, SOBENA, 2008.

**MORAES, H. B; MORAES, R. C. M. Métodos para Estimativa de Potência para Embarcações Típicas da Amazônia.** 25º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore - SOBENA, Rio de Janeiro, 2014.

**MOITA, M. H. V. Um modelo de avaliação de eficiência técnica de professores universitários utilizando Análise Envoltória de Dados: o caso dos professores das áreas de engenharias.** 2002. 169p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

**SANTOS, J. T. A. N.; CARDOSO, P.; KUWAHARA, N. Análise Multicritério Para Identificar Benchmarks De Projetos De Embarcações Regionais Da Amazônia.** Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 2015.

**WATSON, D.G.M Practical ship design.** Vol. 1, 531p, 1998.

**VAN OORTMERSSEM, G., A power prediction method and its application to small ships,** Publication no 391 of NSMB, 1971.

## **APPLICATION OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN THE PROJECT PARAMETERS OF THE AMAZON MIXED VESSELS THROUGH ELECTRONIC SHEETS**

***Abstract:** This paper proposes a methodology for the analysis of several mixed vessels designs intended for the simultaneous transport of cargoes and passengers in the Amazon, seeking for the best design efficiency indexes, involving parameters such as effective power, engine required power, light weight, preliminary construction cost and cargo capacity. A set of mixed vessels operating in the Amazon area was presented, provided by the company Netuno Engenharia Naval - LTDA. This was followed by a decision-making method known as Data Envelopment Analysis – DEA, with Constant Returns to Scale - CRS – input oriented, utilizing electronic sheets. In addition to selecting the most efficient vessels, it is possible to include a new design so that it can be evaluated and compared to the previous designs, in the seek for benchmarking.*

***Key-words:** Efficiency, DEA, CRS, Mixed Vessels.*