



Avaliando as guarnições dos carros de combate do Corpo de Fuzileiros Navais: uma aplicação de Análise Envoltória de Dados

Evaluating Brazilian Marines tank crew's performances: an application of Data Envelopment Analysis

Fabricio Baroni de Carvalho¹

Resumo: O Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) é uma Força que opera em território hostil, submetendo a tropa a alto risco. Em tal situação, é fundamental o emprego da ação de choque: um trinômio composto pela mobilidade, proteção blindada e poder de fogo. Essa ação de choque pode ser fornecida pelo carro de combate SK105A2S. Para executar suas tarefas, os militares que operam os carros devem estar bem adestrados. Para avaliar esse desempenho são realizados exercícios operacionais. O objetivo deste trabalho é aplicar as técnicas de análise envoltória de dados aos exercícios comparando as eficiências das equipes de modo a permitir um trabalho individualizado para aumento da eficiência e estimular a competição saudável entre os militares. Para tanto foram utilizados modelos com retorno constante e retorno variável de escala, sem e com restrições aos pesos. A escolha do modelo mais adequado foi feita com base na literatura. Os resultados demonstram que avaliações com base em diversos critérios que inicialmente parecem difíceis de analisar podem ser convertidas em um valor único que possibilita a comparação e melhor emprego dos recursos em busca do aumento do desempenho.

Palavras-chave: Análise envoltória de dados; Corpo de Fuzileiros Navais; Carro de combate.

¹ Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais

Abstract: The Brazilian Marine Corps is a military force that operates in hostile territory with their troops at risk. In this kind of situation it is very important to use shock action: a triad composed of mobility, armor protection and firepower. This shock action is provided by armored vehicles such as the SK 105A2S tank. To perform their tasks, the teams must be well trained. Operational exercises are performed to measure this performance. The objective of this study is to apply the Data Envelopment Analysis on the exercises results and comparing the efficiencies in order to allow a specific training for each team. It is expected to increase team's performance and stimulate a healthy competition. Therefore, constant returns-to-scale and constant returns-to-scale models were applied, without and with weight restrictions. To choice of the most appropriate model was based on literature. The results show that evaluations based on various criteria, that initially seem difficult to analyze, can be converted into a single value that allows the comparison and a better use of resources in order to increase the performance.

Keywords: Data envelopment analysis; Brazilian Marine Corps; tank.

1. Introdução

O Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) é uma instituição bicentenária que por natureza projeta o poder naval sobre terra. A Estratégia Nacional de Defesa (Brasil, 2008) define o CFN como a Força de caráter expedicionário por excelência, e também determina que seus meios permaneçam em condições de pronto emprego. Ser a Força de caráter expedicionário por excelência, e não apenas uma delas, significa que em qualquer momento e em qualquer lugar onde a situação saia do controle, o Corpo de Fuzileiros será requisitado para dar uma rápida resposta, sendo as demais Forças acionadas em um segundo momento caso necessário. Ser expedicionário significa ir em direção ao problema em regiões inóspitas e sem qualquer apoio externo. Essas regiões são, em geral, dominadas pelo inimigo. Para operar nesse tipo de região torna-se indispensável o trinômio da ação de choque, composto por poder de fogo, mobilidade e proteção blindada. Essa ação de choque é fornecida no CFN pelo Carro de Combate SK-105A2S. De fabricação austríaca, chegou ao Brasil em 2001 e tem sido operado pela Marinha do Brasil desde então. O SK-105A2S, ilustrado na Figura 1, possui como armamento principal um canhão 105 mm que pode operar com diversas munições como a anti-carro e a auto-explosiva. Também possui uma metralhadora calibre 7,62 mm coaxial e uma metralhadora calibre .50 sob controle do comandante do carro, ilustradas na Figura 2. Para sua defesa, possui lançadores de granadas fumígenas 76 mm que formam uma barreira de fumaça que dificulta sua visualização por parte do inimigo, facilitando uma eventual fuga. Como meio de identificação de alvos em condições de visibilidade reduzida, possui uma câmera de imagem térmica, cuja visão proporcionada ao comandante do carro e ao atirador é ilustrada na Figura 3.



Figura 1 - Carro de Combate SK105A2S

Fonte: DefesaNet



Figura 2 - Metralhadora .50 (acima) e Metralhadora 7,62mm (abaixo)

Fonte: DefesaNet



Figura 3 - Visor da câmera de imagem térmica

Fonte: DefesaNet

Para operar um material com tamanho poder de fogo, as guarnições são treinadas e passam anualmente por um ciclo de adestramento com dificuldade crescente, iniciado em março na cidade do Rio de Janeiro com atividades de conduta tática (formações, progressão, etc.) e finalizado em outubro na região de Formosa, em Goiás, com uma operação que utiliza todos os meios do Corpo de Fuzileiros Navais com tiro real. Nesse momento ocorre o Exercício Operacional (ExOp) que busca verificar a resposta da equipe (guarnição), composta por comandante, atirador e operador (motorista), ao ciclo de adestramento desenvolvido durante o ano. A operação do SK 105A2S cabe ao Batalhão de Blindados de Fuzileiros Navais, mais especificamente à Companhia de Carros de Combate (CiaCC), que está estruturada conforme a Figura 4.

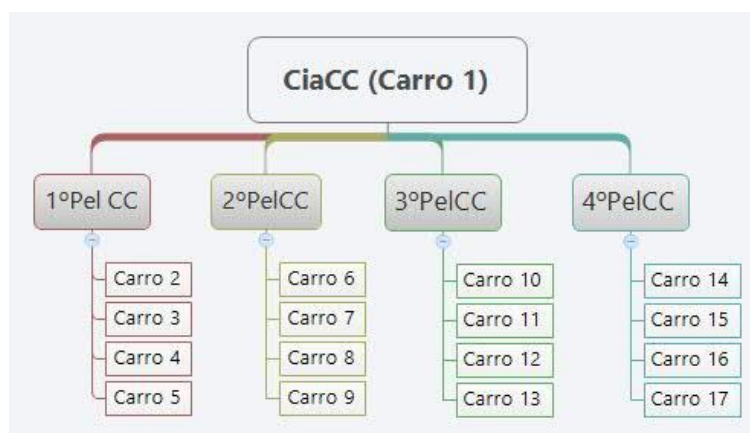


Figura 4 - Organograma da CiaCC

Este trabalho aplica as técnicas de análise envoltória de dados (DEA) com retorno constante e retorno variável de escala nos dados obtidos em um exercício operacional, utilizando os modelos CCR (Charnes, Copper e Rhodes) e BCC (Banks, Charnes e Cooper), comparando o desempenho das guarnições e dando ao comandante da CiaCC e ao Oficial de Operações um panorama do grau de desenvolvimento das guarnições. De modo a apresentar de maneira lógica os resultados obtidos, este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão da literatura. A seção 3 apresenta os modelos clássicos de DEA. A seção 4 apresenta o Exercício Operacional (ExOp). Contidos na seção 5 estão os dados de um ExOp, com os índices alcançados por cada guarnição e uma análise dos dados de entrada, bem como a aplicação dos modelos de análise envoltória de dados, seus resultados e discussões. A seção 6 apresenta as conclusões do trabalho e ao final estão as referências bibliográficas.

A proposta deste trabalho é iniciar o uso das técnicas conhecidas de análise envoltória de dados dentro do Corpo de Fuzileiros Navais, buscando criar o embrião de uma nova cultura de avaliação nas Forças Armadas brasileiras.

2. Os modelos clássicos de DEA

Os modelos clássicos de análise envoltória de dados são os modelos CCR (Charnes, Copper e Rhodes) e BCC (Banks, Charnes e Cooper).

2.1. O modelo CCR

O modelo CCR é baseado em retornos constantes de escala. Isso significa que uma alteração nos inputs irá produzir uma alteração proporcional nos outputs. As organizações que estão sendo avaliadas são denominadas DMU (Decision Making Units). O modelo utiliza programação linear para, através de diversos inputs e outputs, construir um input virtual e um

output virtual (Copper *et al.*, 2006). A fronteira eficiente é estabelecida a partir das unidades com melhor razão entre outputs e inputs. Quanto à orientação, os modelos podem ser orientados a input, quando buscam-se minimizar os recursos empregados mantendo os níveis de produção constantes, ou orientados a output onde o objetivo é aumentar a produção diante de inputs constantes (Rubem *et al.*, 2014). Os modelos matemáticos são, segundo Mello *et al.* (2005), definidos da seguinte forma:

a) Modelo CCR (multiplicadores) orientado a input.

$$\max Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (3)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \forall i, j \quad (4)$$

b) Modelo CCR (envelope) orientado a input.

$$\min h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$h_o x_{jo} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0 \forall i \quad (6)$$

$$-y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (7)$$

$$\lambda_k \geq 0 \forall k \quad (8)$$

c) Modelo CCR (multiplicadores) orientado a output.

$$\max h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \quad (9)$$

Sujeito a:

$$x_{jo} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0 \forall i \quad (10)$$

$$-h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (11)$$

$$\lambda_k \geq 0 \forall k \quad (12)$$

d) Modelo CCR (envelope) orientado a *output*.

$$\min h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (15)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \forall i, j \quad (16)$$

2.2. O modelo BCC

O modelo BCC busca preencher uma lacuna deixada pelo fato de que um aumento de input pode ocasionar ganho, perda ou constância de produtividade levando em conta o retorno de escala da DMU observada (Benicio *et al.*, 2015). No modelo BCC, o axioma da linearidade é substituído pelo da convexidade (Rubem *et al.*, 2014), o que faz com que a área de soluções viáveis e as eficiências do modelo BBC sejam menores que as do modelo CCR (Benicio *et al.*, 2015).

Os modelos matemáticos são, segundo Mello *et al.* (2005), definidos da seguinte forma:

a) Modelo BCC (multiplicadores) orientado a *input*.

$$\max Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u^* \quad (17)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \quad (18)$$

$$- \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u^* \leq 0, \forall k \quad (19)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \forall i, j, u^* \in \Re \quad (20)$$

b) Modelo BCC (envelope) orientado a *input*.

$$\min h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \quad (21)$$

Sujeito a:

$$h_o x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0 \forall i \quad (22)$$

$$-y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (23)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad (24)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \quad (25)$$

c) Modelo BCC (multiplicadores) orientado a *output*.

$$\min Effo = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v^* \quad (26)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1 \quad (27)$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v^* \leq 0 \quad \forall k \quad (28)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \quad \forall i, j, v^* \in \mathfrak{R} \quad (29)$$

d) Modelo BCC (envelope) orientado a *output*.

$$\max h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io} \quad (30)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad (31)$$

$$x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i \quad (32)$$

$$h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j \quad (33)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \quad (34)$$

Segundo Lovell e Pastor (1999) os modelos CCR com input ou output unitários são impossíveis de serem distinguidos dos modelos BCC. Além disso, um modelo BCC orientado a output com input unitário é equivalente a um modelo BCC sem inputs. Também destacam que não faz sentido, quando usando um modelo BCC, falar em orientação a input quando não há input, devendo-se adotar para esse caso o modelo BCC orientado a output.

3. O exercício operacional

O exercício operacional do carro de combate (ExOp) é o fechamento do ciclo de adestramento do CFN. É realizado na região de Formosa, em Goiás, para onde as tropas de Fuzileiros Navais deslocam a partir do Rio de Janeiro, em um esforço logístico para cruzar mais de 1200 km de estradas. As atividades são realizadas no Centro de Instrução de Formosa, área

pertencente ao Exército Brasileiro, devido ao grande espaço disponível para realização de tiro com munição de 105mm. O exercício é composto por uma série de atividades, sendo as de maior destaque:

- Capacidade de detecção e identificação de alvo através da Câmera de Imagem térmica (medido em número de detecções);
- Tiro no alvo com CC parado (medido em número de tiros precisos);
- Tiro no alvo com CC em movimento (medido em número de tiros precisos);
- Ressuprimento (medido em tempo de ressuprimento).

É importante observar que quanto a seleção de variáveis, Mello *et al.* (2005) afirmam que a escolha dos inputs e outputs deve ser feita através de uma ampla lista de possibilidades. Apesar de haver diversos métodos para escolha de variáveis, os dados do problema não permitem dúvidas, uma vez que não há muitas escolhas possíveis. Lins e Meza (2000) descrevem que nos casos reais onde há uma pequena quantidade de variáveis e uma grande quantidade de DMU's não se justifica a preocupação em utilizar alguma técnica para seleção de variáveis. As variáveis do ExOp serão indicativos do desempenho das guarnições.

O bom desempenho em um ExOp depende de uma série de fatores. A eficiência, segundo Mello *et al.* (2005), é um conceito relativo que compara o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Para estruturar a atividade e facilitar o estudo foi montado um mapa conceitual do exercício, ilustrado na Figura 5, onde estão apresentadas as atividades e os fatores que as influenciam.

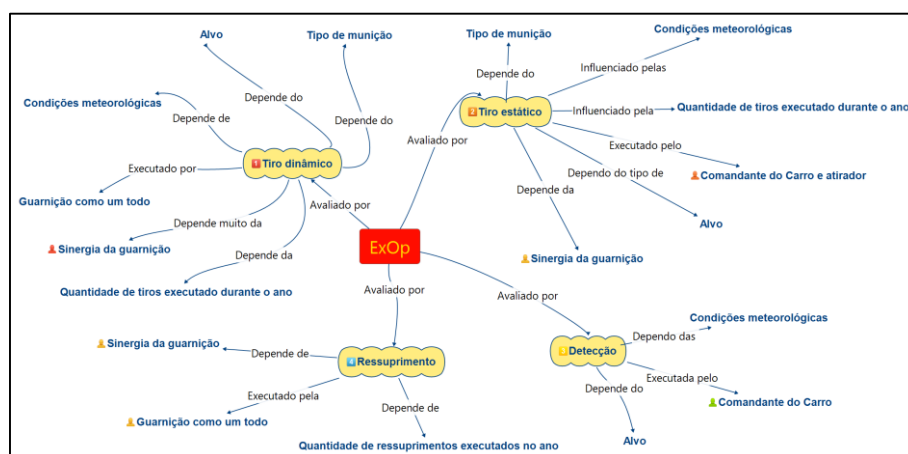


Figura 5 - Mapa conceitual do ExOp

A partir do mapa conceitual é possível verificar a ordem de importância das atividades. O ressuprimento é feito em um momento onde não se está em contato com o inimigo e todo o pelotão está dando segurança ao carro que está sendo ressuprido. Logo possui prioridade muito

baixa. A detecção, embora seja importante a fim de evitar fratricídio, quando comparado ao fato de acertar ou não o alvo, tem sua importância reduzida dependendo da abordagem adotada pelo decisor, uma vez que não adianta identificar um alvo e não ser capaz de atingi-lo. É preciso neste momento entender a natureza expedicionária do CFN, que opera na linha de frente em território hostil, sem a presença de força amiga. A probabilidade de uma viatura militar não ser inimiga é pequena. Entre os disparos, o fato do tiro dinâmico ser mais importante que o estático é bem intuitivo pelo fato de ser mais difícil. Desta forma, observa-se necessidade de que sejam impostas restrições aos pesos que respeitem esta prioridade. A partir do mapa também é possível observar que os fatores que influenciam o desempenho no ExOp não variam de acordo com a guarnição que está sendo avaliada, uma vez que todas recebem o mesmo treinamento e operam sob as mesmas condições, exceto o quesito Sinergia da guarnição que não é o mesmo para todos. No entanto, este é um parâmetro de difícil mensuração e não será considerado. Desta forma, para fins deste estudo, os inputs serão considerados constantes para todas as guarnições. Sabendo que todas as guarnições têm condições de apresentar o mesmo desempenho, é razoável supor uma linearidade entre as relações supondo retorno em escala constante. Tal fato pode ser indicativo de adoção de um modelo CCR. Apesar de ser necessário que o modelo reflita a importância das atividades desenvolvidas no ExOp, pode ser interessante inicialmente não impor restrições aos pesos para que o comportamento de cada DMU seja analisado.

4. Estudo de caso

Escolheu-se o Exercício Operativo (ExOp) de um determinado ano para objeto de estudo deste trabalho, os quais apresentam os dados descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Índices obtidos pelas guarnições

Guarnição	Tiro Dinâmico	Tiro Estático	Detecção	Ressuprimento	Ressuprimento tratado (100-t)
1	10	11	11	40	60
2	8	8	12	15	85
3	9	9	8	40	60
4	8	9	9	35	65
5	8	10	9	40	60
6	8	8	11	25	75
7	9	10	11	35	65
8	8	9	10	25	75
9	8	10	9	37	63
10	9	9	9	31	69
11	11	12	10	40	60
12	8	8	9	30	70
13	9	9	11	30	70
14	11	11	11	30	70
15	8	8	10	20	80
16	9	10	10	30	70
17	8	9	10	20	80

Cabe ressaltar que no critério ressuprimento, os melhores desempenhos são retratados pelos menores índices. Assim, torna-se necessário tratar esses dados específicos. Para não haver perda da linearidade adotou-se a forma de subtrair o tempo obtido de um valor arbitrado em 100. Assim os dados utilizados na análise são os valores referentes ao Ressuprimento tratado.

4.1. Análise dos dados de entrada

Analisando a correlação entre os outputs obtidos nos tiros dinâmicos e nos tiros estáticos, observa-se um coeficiente de Pearson de 0,81, o que indica uma forte correlação entre o tiro dinâmico e o tiro estático. Assim sendo, para fins desta análise, o tiro dinâmico não será considerado. Os dados obtidos podem ser analisados graficamente pelo Software IDEAL®, que permite a plotagem de gráficos em três dimensões. A fronteira tridimensional mostra, conforme a Figura 6, que as DMU inicialmente vistas como eficientes são as DMU 1, 2, 11, 14 e 17.

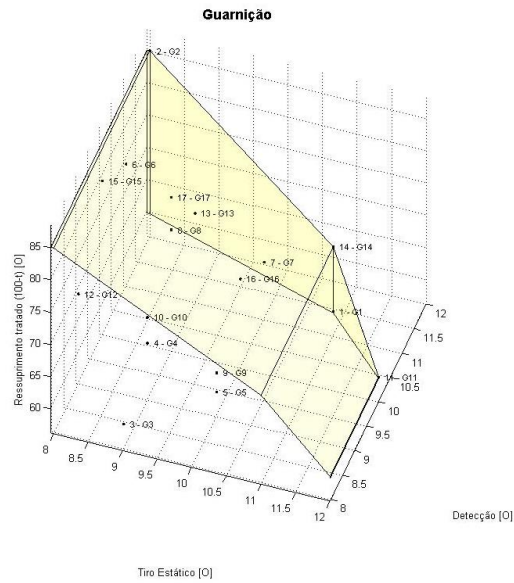


Figura 6 - Fronteira tridimensional no software IDEAL

As análises gráficas dos critérios dois a dois podem ser vistas na Figuras 7, 8 e 9. Nos gráficos Tiro Estático x Detecção e Tiro estático x Ressuprimento Tratado (Figuras 7 e 8), todas as DMU são radialmente projetadas na região pareto eficiente. No entanto no gráfico Detecção x Ressuprimento (Figura 9) isso não ocorre, podendo haver contribuição para tornar alguma DMU ineficiente. Após a análise das eficiências, pode-se portanto verificar se alguma DMU teve sua eficiência projetada em uma região pareto ineficiente para aplicar um novo modelo (dois estágios ou não arquimediano) de modo a corrigir esta distorção. Inicialmente os pesos serão deixados livres. Segundo (Cooper *et al.*, 2006) os pesos ótimos podem, e geralmente vão, variar de uma DMU para outra.

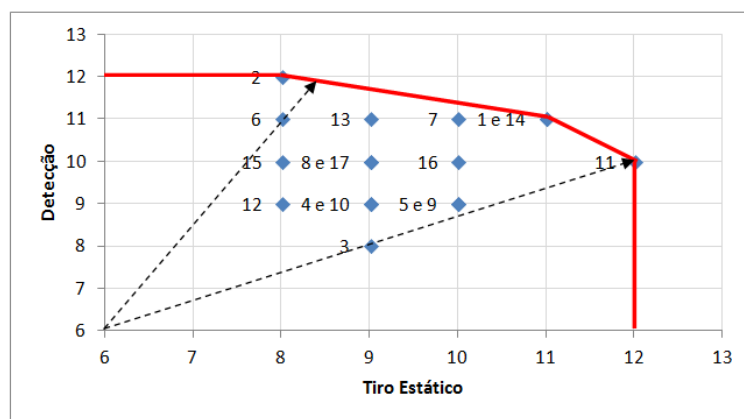


Figura 7 - Fronteira definida entre Tiro Estático e Detecção

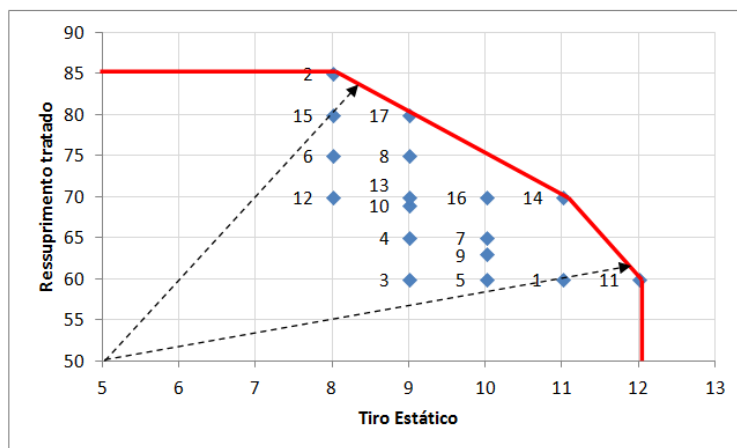


Figura 8 - Fronteira definida entre Tiro Estático e Ressuprimento Tratado

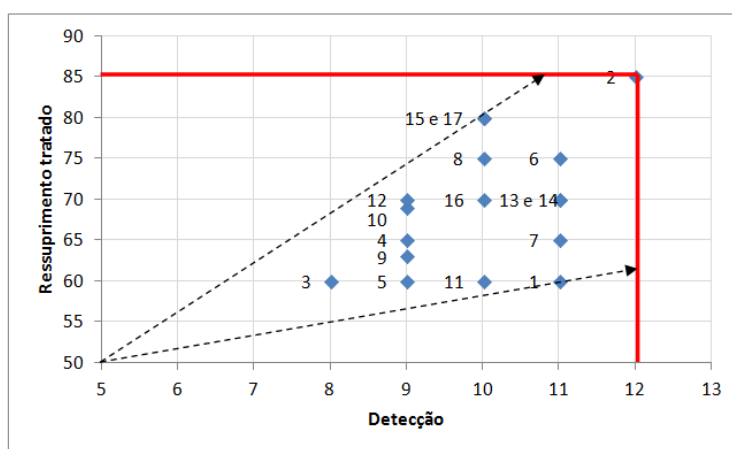


Figura 9 - Fronteira definida entre Detecção e Ressuprimento tratado

4.2. Aplicação dos modelos de análise envoltória de dados

Para o caso do exercício operacional, todos os militares são submetidos ao mesmo curso de formação e recebem as mesmas oportunidades para praticar antes do exercício final. Naturalmente faz sentido considerar que não há distinção de inputs entre as DMU. Logo considera-se para o modelo inputs unitários. Avkiran (2011) ressalta que modelos com retorno constante de escala consideram que não há relação entre o porte da DMU e a eficiência, sendo preferível o uso de modelos com retorno variável quando tal relação existir. Avkiran (2011) também define outro parâmetro para escolha do modelo: caso a maioria das DMU apresente diferenças entre as eficiências no modelo CCR e BCC, pode-se utilizar o modelo BCC. Caso a maioria das DMU apresente a mesma eficiência sob os dois modelos então pode-se utilizar o modelo CCR sem a preocupação de que uma ineficiência na escala confunda a medida da eficiência técnica. Assim, utilizando o software SIAD® v3.0, elaborado por Meza *et al.* (2005),

foi inicialmente selecionado um modelo CCR orientado a input com input unitário. A Tabela 2 indica os resultados para tal modelo.

Tabela 2 - Resultados do modelo CCR orientado a input

DMU	Eficiência	Peso Estático	Peso Detecção	Peso Ressuprimento	Folga $\neq 0$
DMU_1	1,000000	0,02272727	0,06818182	0	Sim
DMU_2	1,000000	0	0	0,01176471	Não
DMU_11	1,000000	0,05555556	0	0,00555556	Não
DMU_14	1,000000	0,04	0	0,008	Não
DMU_17	1,000000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_7	0,977273	0,02272727	0,06818182	0	Sim
DMU_8	0,960000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_15	0,960000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_16	0,960000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_13	0,954545	0,02272727	0,06818182	0	Sim
DMU_6	0,931818	0,02272727	0,06818182	0	Sim
DMU_10	0,912000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_9	0,905556	0,05555556	0	0,00555556	Sim
DMU_5	0,888889	0,05555556	0	0,00555556	Sim
DMU_4	0,880000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_12	0,880000	0,04	0	0,008	Sim
DMU_3	0,840000	0,04	0	0,008	Sim

Uma breve análise do modelo dos multiplicadores indica inconsistências graves, como por exemplo todas as DMU terem adotado peso nulo para pelo menos um dos outputs e também a ocorrência de DMU que adotaram o peso para o output Tiro Estático inferior ao peso do output Detecção. Ou seja, os pesos escolhidos pelo modelo não refletem, de maneira geral, a importância de cada um dos outputs. Sabe-se que uma DMU é totalmente eficiente se, e somente se, não for possível melhorar um input ou output sem piorar um outro output ou input (Cooper *et al.*, 2007). Já a análise do modelo do envelope indica que diversas DMU possuem folga diferente de zero para os outputs, o que indica uma projeção da DMU em uma região pareto ineficiente. Assim, entre as DMU ditas eficientes (1, 2, 11, 14 e 17) apenas as DMU 2, 11 e 14 são de fato eficientes pois possuem folga nula. Todas as outras DMU (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16 e 17) estão projetadas em regiões pareto ineficientes pois possuem folga não nula. Assim, a aplicação do modelo CCR puro e simples não atende aos requisitos definidos para o exercício.

Visando a adequação, em um segundo momento foi feita uma alteração no modelo, que consistiu em acrescentar restrições aos pesos segundo a opinião dos especialistas, de modo que:

- $\text{Peso Estático} \geq 2 \times \text{Peso Ressuprimento}$
- $\text{Peso Detecção} \geq 1,5 \times \text{Peso Ressuprimento}$
- $\text{Peso Estático} \geq (4/3) \times \text{Peso Detecção}$

Ao inserir estas restrições, o modelo dos multiplicadores CCR orientado a input apresenta os resultados descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Modelo CCR orientado a input com restrições de pesos

DMU	Eficiência	Peso Estático	Peso Detecção	Peso Ressuprimento	Folga ≠ 0
DMU_2	1,000000	0,01680672	0,01260504	0,00840336	Não
DMU_11	1,000000	0,05399061	0,00704225	0,00469484	Não
DMU_14	1,000000	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_1	0,988105	0,04761735	0,03572194	0,00118954	Não
DMU_17	0,982993	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_16	0,952381	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_8	0,948980	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_7	0,946435	0,04761735	0,03572194	0,00118954	Não
DMU_15	0,945578	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_13	0,932776	0,0336121	0,02521538	0,0050414	Não
DMU_6	0,924371	0,0336121	0,02521538	0,0050414	Não
DMU_9	0,899061	0,05399061	0,00704225	0,00469484	Não
DMU_10	0,897959	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_5	0,884977	0,05399061	0,00704225	0,00469484	Não
DMU_4	0,870748	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_12	0,867347	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não
DMU_3	0,826531	0,03741497	0,01020408	0,00680272	Não

Pode-se observar a partir destes dados que a restrição de peso cumpriu o seu propósito, fazendo com que não fosse atribuído peso zero para nenhum output e os pesos fossem hierarquizados corretamente. Além disso, todas as folgas foram igualadas a zero, o que permite projetar todas as DMU em regiões pareto eficientes. Isso porque os pesos são as variáveis naturais do modelo dos multiplicadores (primal). Quando os pesos são diferentes de zero, pelas condições de complementaridade de folga, as folgas (que são as variáveis de folga do modelo do envelope – dual) serão normalmente iguais a zero. Também é possível observar que a quantidade de DMU ditas eficientes foi reduzida, permanecendo na condição de eficientes somente as DMU 2, 11 e 14.

É possível observar também que as DMU 2, 11 e 14 são as maiores referências na amostra, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - DMU que são referências para as demais

Benchmarks				Benchmarks			
DMU	DMU_2	DMU_11	DMU_14	DMU	DMU_2	DMU_11	DMU_14
DMU_1	0	0,91673216	0,07137244	DMU_10	0,29251701	0	0,60544218
DMU_2	1	0	0	DMU_11	0	1	0
DMU_3	0,03061224	0	0,79591837	DMU_12	0,51360544	0	0,3537415
DMU_4	0,19274376	0	0,67800454	DMU_13	0,31371296	0	0,61906283
DMU_5	0	0,26525822	0,61971831	DMU_14	0	0	1
DMU_6	0,68627022	0	0,23810044	DMU_15	0,80045351	0	0,14512472
DMU_7	0	0,12504465	0,8213903	DMU_16	0,15873016	0	0,79365079
DMU_8	0,47959184	0	0,46938776	DMU_17	0,60430839	0	0,37868481
DMU_9	0	0,11032864	0,78873239				
Total DMU_2	5,07254553	Total DMU_11	2,41736367	Total DMU_14	8,37833138		

Em um terceiro momento, foi utilizado o modelo BCC orientado a output com as mesmas restrições aos pesos e obtidas as eficiências das DMU para o modelo. Os pesos estabelecidos pelo modelo BCC com restrições aos pesos mantêm a hierarquia entre os outputs estabelecida pelos especialistas, conforme observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do modelo BCC com restrições aos pesos

DMU	Eficiência	Peso Input	Peso Estático	Peso Detecção	Peso Ressuprimento	Folga \neq 0
DMU_1	0,988095	0	0,048193	0,036145	0,001205	Não
DMU_2	1	1	0,016807	0,012605	0,008403	Não
DMU_3	0,826531	0	0,045267	0,012346	0,00823	Não
DMU_4	0,870748	1,148438	0,042969	0,011719	0,007813	Não
DMU_5	0,884977	1,129974	0,061008	0,007958	0,005305	Não
DMU_6	0,92437	1,081818	0,036364	0,027273	0,005455	Não
DMU_7	0,946429	1,056604	0,050314	0,037736	0,001258	Não
DMU_8	0,94898	1,053763	0,039427	0,010753	0,007168	Não
DMU_9	0,899061	1,112272	0,060052	0,007833	0,005222	Não
DMU_10	0,897959	0	0,041667	0,011364	0,007576	Não
DMU_11	1	0	0,047619	0,035714	0,00119	Não
DMU_12	0,867347	0	0,043137	0,011765	0,007843	Não
DMU_13	0,932773	0	0,036036	0,027027	0,005405	Não
DMU_14	1	1	0,033613	0,02521	0,005042	Não
DMU_15	0,945578	0	0,039568	0,010791	0,007194	Não
DMU_16	0,952381	0	0,039286	0,010714	0,007143	Não
DMU_17	0,982993	0	0,038062	0,010381	0,00692	Não

Com as restrições aos pesos, assim como ocorre no modelo CCR, o modelo BCC apresenta as folgas nulas, pois os pesos foram forçados a serem diferentes de zero. Da mesma forma, os pesos dos outputs são corretamente hierarquizados, sendo todos diferentes de zero.

O rank das DMU, descrevendo os desempenhos nos modelos CCR (com e sem restrições aos pesos) e BCC com restrições aos pesos, é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Rank das DMU de acordo com os modelos

Rank	CCR Sem restrições		CCR Com restrições		BCC Com restrições	
	DMU	Eficiência	DMU	Eficiência	DMU	Eficiência
1	DMU_14	1,000000	DMU_14	1,000000	DMU_14	1,000000
2	DMU_2	1,000000	DMU_2	1,000000	DMU_2	1,000000
3	DMU_11	1,000000	DMU_11	1,000000	DMU_11	1,000000
4	DMU_1	1,000000	DMU_1	0,988105	DMU_1	0,988095
5	DMU_17	1,000000	DMU_17	0,982993	DMU_17	0,982993
6	DMU_7	0,977273	DMU_16	0,952381	DMU_16	0,952381
7	DMU_8	0,960000	DMU_8	0,948980	DMU_8	0,94898
8	DMU_15	0,960000	DMU_7	0,946435	DMU_7	0,946429
9	DMU_16	0,960000	DMU_15	0,945578	DMU_15	0,945578
10	DMU_13	0,954545	DMU_13	0,932776	DMU_13	0,932773
11	DMU_6	0,931818	DMU_6	0,924371	DMU_6	0,92437
12	DMU_10	0,912000	DMU_9	0,899061	DMU_9	0,899061
13	DMU_9	0,905556	DMU_10	0,897959	DMU_10	0,897959
14	DMU_5	0,888889	DMU_5	0,884977	DMU_5	0,884977
15	DMU_4	0,880000	DMU_4	0,870748	DMU_4	0,870748
16	DMU_12	0,880000	DMU_12	0,867347	DMU_12	0,867347
17	DMU_3	0,840000	DMU_3	0,826531	DMU_3	0,826531

Quando impostas restrições aos pesos, o rank de eficiência é alterado, uma vez que cada DMU deve respeitar a importância de cada output. Com exceção das DMU 2, 11 e 14, todas as demais tiveram suas eficiências reduzidas com as restrições de pesos, o que é razoável diante de um modelo de programação linear que recebe uma nova restrição (o valor da nova função objetivo é menor ou igual ao valor anterior). No entanto algumas DMU apesar de terem sua eficiência reduzida conseguiram subir no rank de eficiência como, por exemplo, as DMU 16 e 9. Isso se deve ao fato do melhor desempenho destas DMU nos outputs mais importantes (Tiro Estático e Detecção). As DMU 14 e 11 possuem excelentes índices nos outputs de maior peso, por isso são classificadas como eficientes. A DMU 2, embora não possua tais índices, teve um desempenho positivamente fora do padrão no output ressurgimento, o que elevou seu padrão de eficiência dentro das limitações de restrição aos pesos. De fato, conforme descrito por Lovell e Pastor (1999), não houve mudança na eficiência dos modelos CCR e BCC quando considerado inputs unitários. Há apenas uma variação não significativa nas DMU 1, 6, 7, e 8 devido à imprecisão computacional.

Uma vez tendo hierarquizado o desempenho das DMU, é possível analisar as guarnições de melhor desempenho sob um aspecto técnico, social e psicológico através de um trabalho multidisciplinar de modo a identificar os aspectos que as levam a serem mais eficientes que as demais, ainda que os recursos disponíveis sejam os mesmos. Da mesma forma, pode-se verificar o que ocorre com as guarnições de baixo desempenho, de modo a identificar condutas a serem evitadas. Com isso pode-se intervir no programa de adestramento incluindo novos aspectos ainda não contemplados. Identificar as eficiências das DMU é o primeiro passo para se estabelecer um processo de melhoria contínua. De acordo com Zhu (2009), a avaliação de desempenho é uma importante ferramenta para permanecer competitivo e desempenha um papel importante no mundo de alta tecnologia, onde a competição é intensa e aumenta a cada dia. Facilmente observa-se que isto se aplica ao mundo dos negócios comerciais e também ao combate moderno.

A partir dos resultados obtidos pelas DMU's, e partindo do princípio que o treinamento e os recursos disponíveis são os mesmos para todas as guarnições, podem-se elencar alguns aspectos a serem explorados como possíveis causas de desempenho superior de determinadas DMU: relacionamento entre a guarnição, nível de escolaridade da guarnição, desenvolvimento de procedimento específico (próprio e original) por parte da guarnição eficiente (não ensinado durante o curso de formação), capacidade de concentração e foco do indivíduo, pontuação obtida nas avaliações individuais semestrais de cada militar da guarnição, condicionamento físico e capacidade de suportar espaços confinados, temperamento de cada militar, expectativas de cada militar na carreira, níveis de confiança mútua e capacidade de suportar condições de temperatura e odores adversos. Cabe ressaltar que dos diversos aspectos que podem ser

causadores de desempenho superior ou inferior, boa parte tem natureza cognitiva. Desta forma é interessante que esta análise seja processada com um profissional da área de psicologia. Algumas relações de causa e efeito não são tão aparentes e podem demandar ações multidisciplinares.

5. Conclusão

A análise envoltória de dados pode ser uma ferramenta usada de forma oficial pelas Forças Armadas do Brasil para avaliar o desempenho de seus equipamentos e de seu pessoal. Seu uso permite tornar objetivas avaliações que por muitas vezes são feitas de forma subjetiva. O modelo adotado é importante para que uma correta avaliação seja feita. No exemplo analisado, diversas DMU eram pseudo-eficientes. O uso do modelo correto, com a orientação adequada e com as restrições necessárias permitiu a hierarquização das DMU conforme seu desempenho. O uso das restrições alterou sensivelmente o rank de desempenho das DMU. No entanto é importante destacar que a análise envoltória de dados é apenas a primeira etapa de um trabalho de avaliação. A segunda etapa, que não foi objeto deste trabalho, mas é tão importante quanto a primeira, é a identificação das formas de colocar as DMU ineficientes nos padrões de desempenho daquelas consideradas eficientes.

6. Referências

- AVKIRAN, N. K., 2011, "Investigating technical and scale efficiencies of Australian Universities through data envelopment analysis", **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 35, pp.57-80.
- BENICIO, J., MELLO, J. C. S., MEZA, L. A., 2015, "Análise da eficiência sob retornos variáveis de escala: um estudo das instituições de ensino superior privado". In: **Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, pp. 718-728, Porto de Galinhas, Ago.
- BRASIL. Decreto nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008. Aprova a Estratégia Nacional de Defesa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 2008. Seção 1, p. 4.
- COOPER, W. W., SEIFORD, L. M.; TONE, K., 2006, **Introduction to data envelopment analysis and its uses**. New York, Springer.
- COOPER, W. W., SEIFORD, L. M.; TONE, K., 2007, **Data Envelopment Analysis**. 2 Ed. New York, Springer.
- LI, Y., LEI, X., DAI, Q., LIANG, L., 2015, "Performance evaluation of participating nations at the 2012 London Summer Olympics by a two-stage data envelopment analysis", **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 3 (jun), pp. 964-973.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A., 2000, **Análise envoltória de dados**. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- LOVELL, C. A. K, PASTOR, J. T, 1999, " Radial DEA models without inputs or without outputs", **European Journal of Operational Research**, v.118, pp. 46-51.
- MEZA, L. A., BIONDI NETO, L, RIBEIRO, P. G., 2005, "SIAD v.2.0. Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma Implementação computacional de modelo de Análise Envoltória de

Dados e um método multicritério”. In: **Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, pp. 406-414, Gramado, Set.

RUBEM, A. P. S., MOURA, A. L., OLIVEIRA, E., MELLO, J. C. C. B. S., ALVES, L. A., 2014, “Avaliação da eficiência produtiva de pequenos horticultores agroecológicos usando mapas auto-organizáveis e análise envoltória de dados”. In: **Anais do XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**, pp. 314-327, Rio de Janeiro, Ago.

MELLO, J. C. C. B. S., MEZA, L. A., GOMES, E. G., BIONDI NETO, L. 2005, “Curso de análise envoltória de dados”. In: **Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, pp. 2520-2547, Gramado, Set.

ZHU, J., 2009, **Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking**. 2 ed. New York, Springer.