Aplicação do Delineamento de Experimentos na Identificação de Táticas e Equipamentos que Contribuam para a Redução do Número de Baixas em Combate

Emanuel Alexandre Moreira Pessanha [1], Ricardo Sutério [1,2]
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA – São José dos Campos, SP, correiodopessanha@hotmail.com.
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos, SP, suterio@ita.br.

Resumo: *O Centro de Avaliação de Adestramento do Exército possui um sistema que contabiliza a quantidade de baixas em um exercício no terreno realizado entre duas forças oponentes. O sistema é utilizado para avaliar o grau de adestramento de diversas tropas. Por sua vez, a quantidade de baixas permite a realização de outras análises. Dentro deste contexto, o presente estudo tem o objetivo de propor a identificação de táticas e equipamentos que contribuam significativamente para a redução do número de baixas em combate, por meio da aplicação do delineamento de experimentos nos dados obtidos pelo sistema supracitado. Desta forma, este trabalho estabelece alguns delineamentos de experimentos destinados à avaliação de táticas e equipamentos, tendo como dado de entrada a quantidade de baixas em combate.*

Palavras-chaves: Delineamento de Experimentos; Baixas em Combate; *"Personal Detection Device"*.

I. INTRODUÇÃO

Na história da humanidade as guerras sempre deixaram um saldo negativo composto principalmente pelo número de baixas, danos ao meio ambiente e destruição da infra-estrutura de diversas cidades, sem contar com os elevados gastos financeiros e o desgaste psicológico da população. Em 1991, na Guerra do Golfo, os militares americanos obtiveram uma redução significativa do número de baixas de suas forças, quando comparado proporcionalmente ao da 2ª Guerra Mundial e da guerra do Vietnam.

O mesmo aconteceu no Afeganistão e na invasão do Iraque. Nestas ocasiões, o aparato tecnológico poupou diversas vidas humanas, o que revelou mais uma vez a preocupação dos exércitos com a redução do número de baixas.

Dentro deste contexto, o delineamento de experimento (DOE) destaca-se como uma poderosa ferramenta de pesquisa e otimização. O DOE permite um estudo mais aprofundado de uma situação, pois cria condições para a análise da significância dos diversos fatores envolvidos. Deste modo, o presente estudo tem o objetivo de propor a identificação de táticas e equipamentos que contribuam significativamente para a redução do número de baixas em combate, por meio da aplicação do DOE nos dados gerados pelo Centro de Avaliação de Adestramento do Exército – CAAdEx.

O CAAdEx possui um sistema que contabiliza a quantidade de baixas durante os exercícios realizados entre duas forças oponentes, conhecidos como exercícios de dupla ação. O sistema é utilizado para avaliar o grau de adestramento de diversas tropas.

A seguir, na seção A, são apresentadas algumas propostas de delineamento de experimentos. O sistema utilizado pelo CAAdEx na obtenção dos dados é brevemente descrito na seção B. Na seção C, para ilustrar a aplicação do DOE, um estudo de caso foi realizado com dados coletados pelo CAAdEx e por fim, as principais conclusões do trabalho são apresentadas.

A. Delineamento de experimentos

O DOE envolve o estabelecimento das ações a serem adotadas durante a fase de aquisição de dados experimentais. Assim, busca-se controlar a influência dos fatores externos sobre a variável resposta de interesse, tornando possível a avaliação correta dos efeitos sobre a resposta do processo analisado.

De uma maneira geral, planejar um experimento significa especificar a unidade experimental, os fatores externos a serem controlados e a variável resposta em análise. Além disso, é necessário definir a maneira de designar os tratamentos às unidades e o número de unidades experimentais que serão testadas.

A unidade experimental é a unidade física ou biológica usada para conduzir o experimento. No caso em questão, a unidade experimental é um grupamento de combatentes que realiza ações no terreno.

A variável resposta em análise é a característica medida ou observada no experimento. Neste trabalho, a variável resposta é a quantidade de baixas, uma vez que o objetivo é identificar táticas e equipamentos que contribuam para a redução da ocorrência das mesmas. As táticas e os equipamentos são exemplos de fatores, cujos níveis ou categorias são os tratamentos aplicados às unidades experimentais.

Por fim, é preciso verificar a quantidade de unidades experimentais a ser utilizada. Esta quantidade pode estar limitada devido ao custo ou a outros fatores. Com relação à forma como as unidades experimentais são arranjadas, basicamente, há três tipos de delineamento:

- inteiramente ao acaso, quando as condições experimentais são homogêneas em todas as unidades experimentais testadas;

- em blocos casuais, quando as condições experimentais não são homogêneas, mas podem ser agrupadas em conjuntos homogêneos denominados blocos;
- em quadrados latinos, proposta deste trabalho, quando se deseja avaliar o efeito de uma aplicação tecnológica.

Nos experimentos inteiramente ao acaso ou ensaios randômicos, os tratamentos são designados aleatoriamente às unidades experimentais. A única exigência, para que seja possível adotar este delineamento, é a similaridade das unidades experimentais em relação à variável que se quer estudar.

No entanto, quando o pesquisador dispõe de pequenos grupos de unidades similares, mas em quantidade insuficiente para executar o experimento, o mesmo deve optar em fazê-lo em blocos. Nestes experimentos, os erros gerados pela utilização de blocos diferentes são considerados de forma a não interferir nos resultados da análise.

A seguir, são propostos alguns delineamentos experimentais para o planejamento e análise dos resultados obtidos durante os exercícios de dupla ação.

1) Avaliação de táticas e equipamentos: Inicialmente são propostos dois experimentos, um para avaliação de táticas e outro para avaliação de equipamentos. No caso da avaliação das táticas, as tropas devem usar os mesmos equipamentos. Por sua vez, em relação à avaliação dos equipamentos, as táticas utilizadas devem ser as mesmas. Assim busca-se diminuir as fontes de variações entre os resultados.

Nos dois casos, a variável resposta é o número de baixas em combate e as unidades experimentais são os grupamentos de combates. Admitindo-se que os grupamentos são homogêneos, possuem um mesmo efetivo, lutam contra a mesma força oponente e as condições da missão (local, período do dia, condições meteorológicas e informações) não se alteram entre os ensaios, os dois planos experimentais podem ser considerados experimentos completamente aleatorizados. Neste caso, cada grupamento é uma repetição (réplica). Na Tabela I, é apresentado o plano experimental para a avaliação das táticas de combate.

TABELA I: PLANO EXPERIMENTAL PARA AVALIAR TÁTICAS DE COMBATE

Fator tática	Grupamento 1	Grupamento 2	Grupamento 3	Grupamento 4
Tática 1	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas
Tática 2	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas
Tática 3	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas

Se a hipótese de homogeneidade dos grupamentos não for válida, cada grupamento pode ser tratado como sendo um bloco no qual todas as táticas ou equipamentos são testados.

Para a avaliação de táticas e equipamentos em um mesmo experimento propõe-se o delineamento de um plano fatorial com dois fatores: tática e equipamento, conforme ilustrado na Tabela II. Se os grupamentos de combatentes, por exemplo, g1, g2 e g3 forem semelhantes, tem-se um experimento fatorial completamente aleatorizado, caso contrário o planejamento fatorial tem três blocos. Os dois níveis de cada fator são identificados pelos sinais de adição (+) e de subtração (-).

TABELA II PLANO FATORIAL PARA ANALISAR TÁTICAS E EQUIPAMENTOS

Tática	Equipamento	g1	g2	g3
+	+	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas
+	–	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas
–	+	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas
–	–	Nr de baixas	Nr de baixas	Nr de baixas

2) Avaliação do efeito de uma aplicação tecnológica: Para avaliar a significância do efeito de uma aplicação tecnológica pode-se utilizar o quadrado latino. Esse delineamento exige a construção de blocos nas duas direções da matriz de dados, em quantidades iguais de linhas e colunas, conforme ilustrado na Tabela III.

Neste caso, pode ser realizada a avaliação dos efeitos da aplicação de uma tecnologia sobre o número de baixas em combate. Como exemplo, a tecnologia inerente à atividade de guerra eletrônica (GE) pode atuar como um fator a ser desdobrado nos seguintes níveis: operações A (sem GE), B (ações de GE passiva) e C (ações de GE passivas e ativas). Como, neste caso, o objetivo é avaliar os efeitos da tecnologia inerente à atividade de GE sobre o número de baixas em combate, os grupamentos, homogêneos apenas dentro das respectivas colunas, são considerados como blocos, assim como as missões.

TABELA III: QUADRADO LATINO PARA AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE GE

	Grupamento 1	Grupamento 2	Grupamento 3
Missão 1	A, Nr de baixas	B, Nr de baixas	C, Nr de baixas
Missão 2	B, Nr de baixas	C, Nr de baixas	D, Nr de baixas
Missão 3	C, Nr de baixas	D, Nr de baixas	A, Nr de baixas

Conforme ilustrado na Tabela III, a alocação dos níveis do fator de interesse é realizada de maneira que cada tratamento só deve aparecer uma vez em cada coluna e uma vez em cada linha. Com isso, o DOE ilustrado na Tabela III pode contar com três grupamentos diferenciados e três missões realizadas, estas inclusive em locais distintos. Este modelo torna os experimentos mais dinâmicos para as tropas executantes.

Ainda, em relação à realização dos experimentos, verificou-se a necessidade da execução de um exercício anterior com as tropas envolvidas. Com isso, procura-se evitar que o primeiro experimento não diferencie dos demais por falta de warm up com as condições de teste, uma vez que os exercícios de dupla ação e a ambientação com o local da missão deixam de ser novidades a partir da realização da segunda amostragem.

Além disso, as tropas envolvidas nos experimentos devem retratar um grupamento já constituído, com experiência de já ter atuado em conjunto. Neste aspecto, um grupamento formado apenas para executar o experimento, com integrantes de diversas origens, pode comprometer os resultados obtidos pela baixa eficiência, resultante da falta de atuação em conjunto por parte dos combatentes.

B. Equipamentos empregados nos exercícios realizados pelo CAAdEx

Nos DOE propostos na seção A, a quantidade de baixas em combate é medida por meio dos equipamentos conhecidos internacionalmente como *Personal Detection Device* – PDD. O PDD engloba um conjunto de sensores *laser* espalhados no colete e no capacete de cada combatente, semelhante aos apresentados na (Fig. 1).

Este conjunto é sensibilizado pelos pulsos gerados nos emissores de *laser*, colocados nos canos das armas portáteis dos combatentes e disparados no momento em que são executados tiros com a munição de festim (Fig. 2). Cada sensor, ao ser atingido por um pulso *laser*, permite a avaliação do efeito provocado pelo tiro adversário ou até mesmo amigo. Neste caso, são registrados os fratricídios, também conhecidos como fogo amigo.

Fig. 1: Sistema PDD.

Fig. 2: Emissor laser.

C. Aplicação do DOE na análise de risco das missões (Estudo de Caso)

Diferentemente das propostas apresentadas, o exemplo abordado neste trabalho refere-se à análise de risco das missões, pelo fato dos dados disponibilizados pelo CAAdEx não serem coletados segundo a ótica do DOE. Só assim, foi possível exemplificar uma das poucas análises que permitiram a aplicação do DOE.

Neste caso, o delineamento proposto tem o objetivo de identificar as missões que envolvem maiores riscos à vida dos combatentes. Os tratamentos a serem comparados são as missões. Para este experimento foram selecionadas 5 missões de combate (com a respectiva tática e força oponente considerada), a serem executadas por três grupamentos homogêneos (com equipamentos e efetivos iguais). A seguir, na Tabela IV, são apresentados os resultados experimentais.

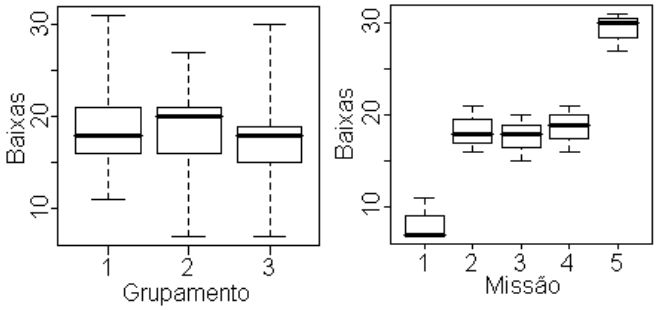
TABELA IV RESULTADOS EXPERIMENTAIS

	Gpto 1	Gpto 2	Gpto 3
Missão 1	**11**	**7**	**7**
Missão 2	**16**	**21**	**18**
Missão 3	**18**	**20**	**15**
Missão 4	**21**	**16**	**19**
Missão 5	**31**	**27**	**30**

Uma análise exploratória dos resultados apresentados na Tabela IV revela que os desempenhos dos grupamentos não são tão diferentes (Fig. 3a) e que a missão 5 apresenta um elevado número de baixas, enquanto a missão 1 apresenta uma quantidade reduzida, conforme ilustrado pelo *boxplot* na Fig. 3b. Assim, o modelo subjacente ao experimento é apresentado abaixo:

$$y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i \qquad i=1,5$$

onde y_i é a quantidade de baixas do tratamento (missões) i, μ é a média global, τ_i é o efeito do i-ésimo tratamento e ε_i é o erro aleatório com distribuição normal.



(a) Grupamento x Nº de Baixas (b) Missão x Nº de Baixas

Fig. 3: Boxplots dos resultados experimentais

Os gráficos dos resíduos, abaixo, indicam um padrão aleatório (Fig. 4a) para erros normalmente distribuídos (Fig. 4b) e variâncias constantes (Fig. 4c).

Fig. 4: Gráficos dos resíduos.

Como conseqüência, as conclusões da análise exploratória satisfazem as hipóteses assumidas para o termo aleatório ε_i e, portanto, permitem a utilização da análise da variância (ANOVA) na análise dos dados experimentais.

A ANOVA permite avaliar se as diferenças observadas entre as médias do número de baixas ocorridas nas missões 1, 2, 3, 4 e 5 são suficientemente grandes para serem tomadas como evidência de que as mesmas são diferentes. Por meio da ANOVA pode-se inferir sobre a significância dos efeitos dos tratamentos (τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 e τ_5) e assim saber se o número médio de baixas é o mesmo em todas as missões avaliadas. A investigação é conduzida pelo teste de hipóteses descrito abaixo, sendo H_0 a hipótese nula e H_1 a hipótese alternativa.

H_0: $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$ (nº médio de baixas é o mesmo nas cinco missões)

H_1: $\tau_1 \neq 0$ ou $\tau_2 \neq 0$ ou $\tau_3 \neq 0$ ou $\tau_4 \neq 0$ ou $\tau_5 \neq 0$ (nº médio de baixas de cada missão é diferente)

Com o auxílio do software "R" obteve-se os seguintes resultados para a ANOVA:

```
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Missão       4 664.40  166.10  28.971 1.772e-05 ***
Residuals   10  57.33    5.73
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Fig. 5: Resultados da ANOVA (software "R").

Na ANOVA, verifica-se que o p-valor da estatística F, Pr(>F), para a missão (tratamento) está abaixo do nível de significância usual de 5%, logo a hipótese nula de igualdade das médias do número de baixas de cada missão foi rejeitada. Portanto, os totais de baixas diferem significativamente dentro do tratamento em questão.

O gráfico da Fig. 6, abaixo, permite a visualização do número de baixas, em cada missão e em cada grupamento. A Fig. 7 ilustra graficamente o teste de Tukey. Este teste permite identificar os pares de amostras, referentes ao tratamento (missões), que possuem diferenças significativas entre as médias de baixas em combate.

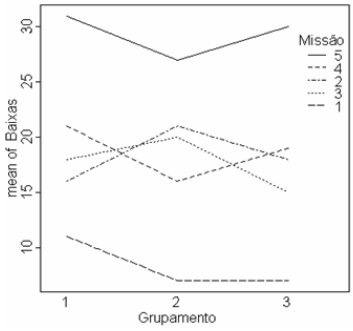


Fig. 6: Baixas por grupamento/missão.

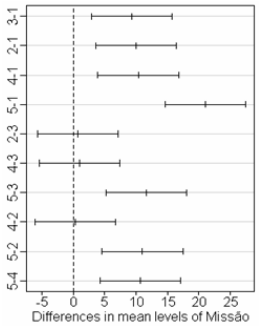


Fig. 7. Diferença entre as médias dos pares dos níveis de missão

No gráfico de Tukey, percebe-se que as missões de número 1 e 5 destoam das demais e entre si. Portanto, conclui-se que os combatentes ficam mais expostos ao perigo na missão 5 e mais seguros na missão 1.

II. OBSERVAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propõe a identificação de equipamentos e táticas que propiciam uma significativa redução do número de baixas em combate, por meio da aplicação do DOE. Neste sentido, o estudo elaborou DOE voltados para a análise dos dados obtidos nos exercícios de dupla ação, envolvendo o uso do PDD.

A aplicação do DOE nos dados fornecidos pelo CAAdEx mostrou-se válida, pois criou condições para a obtenção de um número maior de informações. Além disso, a utilização do DOE conferiu uma maior cientificidade a todo o processo de análise.

O relevante potencial do DOE na identificação de novos fatores, como a GE, que contribuam para a redução do número de baixas em combate, reflete a importância do assunto. Assim, espera-se que, por ocasião da seleção de novas táticas e equipamentos, como também da atribuição de missões, seja considerado o potencial destes fatores em proporcionar maiores probabilidades de sobrevivência aos combatentes.

Trabalhos futuros poderão abordar a aplicação do DOE em outras atividades do campo bélico e a elaboração de outros delineamentos voltados para o assunto em questão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Centro de Avaliação de Adestramento do Exército – CAAdEx, por disponibilizarem os dados para análise.

REFERÊNCIAS

[1] _____ The R Project for Statistical Computing. Disponível em: -http://www.r-project.org/. Acesso em: 04 de abril de 2008.

[2] MONTGOMERY, D. C. ***"Design and Analysis of Experiments"***. John Wiley & Sons, New York, NY, USA: 5th edition, 2001.

[3] VIEIRA, Sônia**. Análise de Variância.** São Paulo: Editora Atlas, 2006.