

## **Experimento Fatorial Fracionado em Parcelas Sub-Subdivididas: Uma aplicação didática**

**Jordânia Furtado de Oliveira<sup>1</sup>**

**Fábio Azevedo de Souza<sup>1</sup>**

**Renato Tigre Martins da Costa<sup>1</sup>**

**Carla Almeida Vivacqua<sup>2</sup>**

### **1 Introdução**

Com origem na agricultura, atualmente as técnicas de planejamento de experimentos são utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento científico, como na indústria e biometria. O desenvolvimento de um experimento é organizado em três etapas: planejamento, execução e análise de dados. No entanto, na maioria das vezes em que um curso no tema é ministrado, o aluno deixa de vivenciar na prática todas as etapas da experimentação.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo apresentar uma estratégia para incorporar a prática de todas as etapas de experimentação no ensino da disciplina de Planejamento de Experimentos. O exemplo escolhido para atingir tal objetivo é baseado em um experimento proposto por Box (1992), sobre o tempo de voo de um helicóptero de papel. O exemplo do helicóptero de papel é simples para ser discutido em sala de aula e pode ser utilizado para diferentes tipos de planos experimentais. Neste trabalho, ilustra-se um plano em parcelas sub-subdivididas, que, apesar de ser útil em aplicações em diversas áreas, como agricultura, biologia e indústria, é pouco explorado na literatura (exceções incluem Andersen e Gorbet, 2002; Hall e Weimer, 2007; Castillo, 2010).

---

<sup>1</sup> PPGMAE – UFRN. E-mail: Jordânia.furtado@yahoo.com.br

<sup>2</sup> DEST- UFRN

## 2 Material e Métodos

As etapas de experimentação (planejamento, execução e análise) são feitas em sala de aula. O objetivo da atividade é construir um helicóptero de papel que permaneça mais tempo no ar que um protótipo inicialmente apresentado. Os seguintes recursos estão disponíveis para a execução: tesoura; cartolina; régua; papel ofício; clipes; e um protótipo com a configuração inicial do helicóptero (Figura 1 (a)). Uma equipe de alunos identificou 11 fatores (vide Tabela 1) a serem investigados. Percebeu-se que entre os onze fatores existiam alguns com certa dificuldade para mudar durante a execução do experimento. O fator ambiente era o mais difícil de mudar, sendo, então, associado à parcela. A sub-parcela foi associada aos fatores relacionados com a construção do helicóptero, a saber: o tipo de papel, comprimento da hélice, comprimento da base, comprimento do corpo, largura da base, distância entre hélices, largura do corpo. À sub-subparcela foram associados os fatores relacionados ao lançamento do helicóptero, a saber: altura do lançamento, posição e tipo dos clipes.

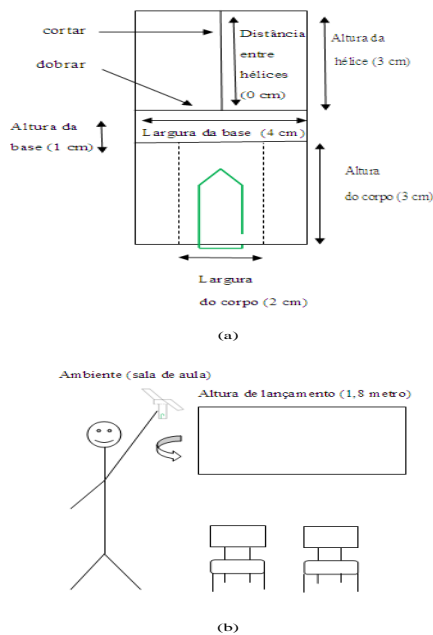


Figura 1. Configuração (a) e condições de lançamento (b) iniciais do helicóptero.

Tabela 1 - Fatores e Níveis

Escala Codificada	Fatores	Nível	
		-	+
A	Ambiente	Sala	Jardim
B	Tipo de Papel	A4	Cartolina
C	Altura da Hélice	3cm	7cm
D	Altura da Base	1cm	3cm
E	Tipo de Clipe	Verde	Cinza
F=ABC	Altura do Corpo	3cm	7cm
G=ABD	Largura da Base	4cm	8cm
H=ACD	Distância entre Hélices	0cm	1cm
J=BCD	Largura do Corpo	2cm	3cm
K=ABE	Altura do Lançamento	1,8m	2,3m
L=ACE	Posição do Clipe	Vertical	Horizontal

Desta forma, com o desejo de investigar todos os 11 fatores e em poucos ensaios, o plano experimental escolhido para a execução do experimento foi o Fatorial Fracionado em Parcelas Sub-Subdivididas  $2 \times 2^{7-4} \times 2^{3-2}$  (Ho *et al.*, 2012). Sendo necessários apenas 32 ensaios e dezesseis corpos de prova, sendo que cada corpo de prova é lançado duas vezes. Escolhas para os

seis geradores que satisfazem os critérios de configurações e aberração mínimas são I=ABCF, I=ABDG, I=ACDH, I=BCDJ, I=ABEK e I=ACEL.

Como temos o fator altura de lançamento do helicóptero, ao invés de considerarmos como resposta o tempo de voo, consideramos a velocidade média. Com o intuito de reduzir recursos e tempo o experimento foi executado sem réplicas. Desta forma utilizamos os métodos de análise mais comuns para um experimento fatorial sem réplica: os gráficos normal e semi-normal (Daniel, 1959; Bisgaard *et al.*, 1996). Os gráficos, a obtenção dos confundimentos, efeitos e demais análises são feitos utilizando o software R.

### 3 Resultados e Discussões

Como podemos ver na Tabela 2 o “grupo” da parcela possui apenas um efeito. Os gráficos de probabilidade normal e semi-normal para os outros dois “grupos” podem ser encontrados nas figuras 1 e 2. Ao analisarmos os gráficos da figura 1, podemos julgar como importantes os seguintes fatores: B, D, F, H e AH. Verificando a figura 2, podemos sugerir como importantes os efeitos dos fatores: L, AE e EK. Como a interação EK, está confundida com as seguintes interações: AB, CF, DG e HJ, isto é,  $EK=AB=CF=DG=HJ$ , e os fatores F, D e H foram julgados como importantes na sub-parcela, recomendamos que sejam realizadas provas adicionais para identificar quais efeitos são ativos (Box *et al.* 2005).

Tabela 2. Efeitos principais e interações separados por “grupos”

Parcela		Sub-Parcela		Sub-sub-Parcela	
Contraste	Efeito	Contraste	Efeito	Contraste	Efeito
A	-5,1375	B	3,70625	E	0,62875
		C	1,15875	K=ABE	2,2725
		D	6,95125	L=ACE	4,445
		F=ABC	-8,5475	AB=CF=DG=EK=HJ	-3,80375
		G=ABD	1,2875	AC=BF=DH=EL=GJ	1,53625
		H=ACD	-5,27	AE=BK=CL	4,99125
		J=BCD	-1,72375	AF=BC=DJ=GH=KL	-1,7775
		AD=BG=CH=FJ	0,65875	AK=BE=FL	2,2225
		AG=BD=CJ=FH	-0,5525	AL=CE=FK	-0,8425
		AH=BJ=CD=FG	-6,2525	BL=CK=EF	-1,08625
		AJ=BH=CG=DF	-0,82375	DE=GK=HL	-2,02
				DK=EG=JL	0,62375
				DL=EH=JK	0,91875
				EJ=GL=HK	1,3275

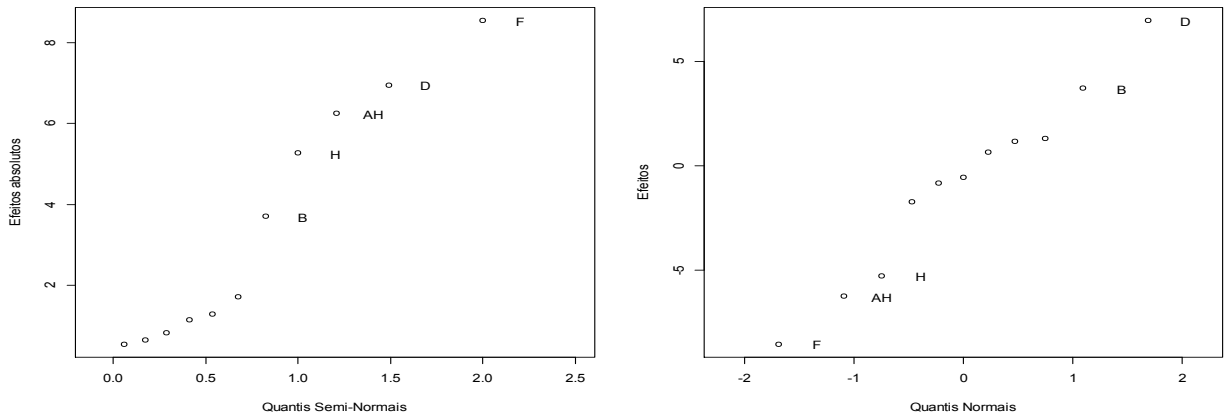


Figura 1. Gráficos de Probabilidade Normal e Semi-normal para o “grupo” de efeitos associados à sub-parcela.

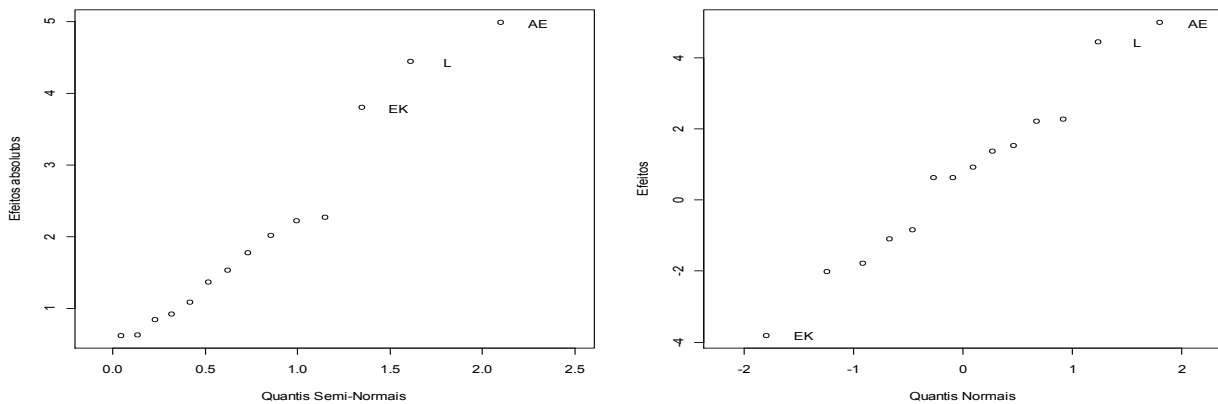


Figura 2. Gráficos de Probabilidade Normal e Semi-normal para o “grupo” de efeitos associados à sub-subparcela.

## 4 Conclusões

Este trabalho é realizado com o intuito de aplicar as técnicas de planejamento de experimentos em um experimento didático sobre o tempo de voo de um helicóptero de papel. Já o experimento propriamente dito tem o objetivo de maximizar o tempo de voo do helicóptero. Estudamos vários fatores e o plano experimental mais adequado escolhido para o nosso estudo foi um fatorial fracionado em parcelas sub-subdivididas sem réplica. Através de uma aplicação simples podemos juntar teoria e prática, aumentando o interesse e conhecimento dos alunos.

## Referências

- [1] ANDERSEN, P. C., and GORBET, D. W. “Influence of Year and Planting Date on Fatty Acid Chemistry of High Oleic Acid and Normal Peanut Genotypes”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (5), 1298-1305, 2002.
- [2] BISGAARD S., FULLER H. T.; BARRIOS E. Quality Quandaries: Two-Level Factorials Run as Split Plot Experiments. *Quality Engineering*, 1996; 8 (4): 705 – 708.
- [3] BOX, G. E. P. “Teaching Engineers Experimental Design with a Paper Helicopter,” *Quality Engineering*, 1992; 4, 453–459.
- [4] BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S.; HUNTER, W. G. **Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery**. 2ed. John Wiley and Sons, 2005.
- [5] CASTILLO, F. Split-Split-Plot Experimental Design in a High-Throughput Reactor. *Quality Engineering*, 2010; 22: 328-335.
- [6] DANIEL, C. Use of half-normal in interpreting factorial two-level experiments. *Technometrics*, v.1, n.4, p. 311-341, 1959.
- [7] HALL, M. B. and WEIMER, P. J. “Sucrose Concentration Alters Fermentation Kinetics, Products, and Carbon Fates During in vitro Fermentation with Mixed Ruminant Microbes. *Journal of Animal Science*, 85(6), 1467-1478, 2007.
- [8] HO, L. L.; VIVACQUA, C. A.; PINHO, A. L. S. Split-Plot Type Designs for Physical Prototype Testing – **Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences**–Preprint Series, 2012.