

INSTRUÇÕES PARA PLANEJAMENTO E CONDUÇÃO DE EXPERIMENTOS COM FERTILIZANTES, INOCULANTES, CORRETIVOS, BIOFERTILIZANTES, REMINERALIZADORES E SUBSTRATOS PARA PLANTAS

Carlos Augusto Posser Silveira¹

augusto.posser@embrapa.br

Adilson Luis Bamberg²

adilson.bamberg@embrapa.br

Rosane Martinazzo³

rosane.martinazzo@embrapa.br

Clenio Nailto Pillon⁴

clenio.pillon@embrapa.br

Éder de Souza Martins⁵

eder.martins@embrapa.br

Clause Fátima de Brum Piana⁶

clausepiana@yahoo.com.br

Luis Henrique Gulate Ferreira⁷

luis.ferreira@riogrande.ifrs.edu.br

Ivan dos Santos Pereira⁸

ivanspereira@gmail.com

Lizete Stumpf⁹

zete.stumpf@gmail.com

¹ Eng. agrônomo, Dr. Agronomia, Embrapa Clima Temperado

² Eng. agrícola, Dr. Agronomia, Embrapa Clima Temperado

^{3,4} Eng. Agrônomo(a), Dr. Ciência do Solo, Embrapa Clima Temperado

⁵ Geólogo, Dr. Geociências, Embrapa Cerrados

⁶ Bióloga, Dr^a. Agronomia/Melhoramento vegetal, CDTEC/Universidade Federal de Pelotas

⁷ Eng. agrônomo, Dr. Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecno.do Rio G.do Sul

⁸ Eng. agrônomo, Dr. Agronomia, bolsista Pós-doutorado, PPG/MACSA – UFPEL

⁹ Eng. agrônoma, Dr^a. Ciências/Solos, bolsista Pós-doutorado, PPG/MACSA - UFPEL

1. INTRODUÇÃO

A Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013, em seu Capítulo VII, referente aos *Requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de produto novo* estabelece que, para fins de registro de um produto novo, sejam atendidos vários requisitos mínimos e procedimentos agrônômicos.

Antes de detalhar quaisquer descrições de procedimentos para condução de experimentação para tipos específicos de fertilizantes, corretivos ou inoculantes, é importante relembrar alguns princípios básicos da experimentação agrônômica os quais devem ser adotados em qualquer experimento agrônômico (item 2). Em sequência espera-se apresentar sugestões de protocolos agrônômicos para aqueles

tipos de produtos que carecem de uma metodologia de experimentação específica.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA

Boa parte da formalização que existe atualmente em experimentação se deve a Ronald A. Fisher, estatístico que trabalhou na Estação Experimental de Rothamstead, Inglaterra. Na década de 1920, Fisher lançou os fundamentos das técnicas modernas para o planejamento e análise de experimentos, as bases da inferência estatística e delineou muitos métodos originais para abordar vários problemas levantados por pesquisadores da área agrícola. As principais características da abordagem introduzida por Fisher foram:

- 1) Uso da **repetição** como uma base para estimar o erro experimental, estimar as médias de tratamentos e, conseqüentemente, melhorar a precisão do experimento;
- 2) Uso da **casualização** para evitar a tendenciosidade dos resultados (médias e erro experimental);
- 3) Uso de **controle local** (bloqueamento) com o objetivo de controlar variáveis sistemáticas que não pertencem aos fatores de tratamento;
- 4) Princípio de que a análise estatística dos resultados é determinada pelo modo como o experimento foi conduzido, e
- 5) Conceito de experimento fatorial, que salienta as vantagens de pesquisar o efeito de diferentes fatores de tratamento em um único experimento complexo, ao invés de dedicar um experimento separado para cada fator.

2.1. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento de um experimento deve definir inicialmente:

- a) **Os fatores de tratamento:** características cujos níveis estão sendo comparados e sobre as quais o pesquisador deseja inferir;
- b) **A unidade experimental:** maior fração do material experimental à qual é designada um nível do fator de tratamento;
- c) **As variáveis respostas:** características **medidas ou observadas** nas unidades experimentais que expressam os efeitos dos fatores de tratamento, e
- d) **As características estranhas:** características das unidades experimentais que não são de interesse para as conclusões, mas cujos efeitos podem ficar confundidos com os efeitos dos fatores de tratamento.

O objetivo de todo experimento é inferir sobre a relação entre o fator de tratamento e a variável resposta, levando em consideração a presença das características estranhas. Por exemplo, em um modelo estatístico mais simples, que inclui somente duas variáveis (a resposta e um fator de tratamento), a variação da resposta tem duas origens: o efeito do fator de tratamento e o efeito das características estranhas. O **erro experimental** é a parte da variação da resposta atribuível ao efeito das características estranhas. Na pesquisa experimental, o efeito

de fatores de tratamento está sempre totalmente confundido com erro experimental. O uso de repetições possibilita que o confundimento entre os efeitos de tratamentos e a unidade experimental seja parcial, possibilitando que o erro experimental seja estimado sem o efeito de tratamento. Não é possível, no entanto, estimar o efeito de tratamento separadamente do efeito da unidade experimental. Por esse motivo, o processo de inferência sobre tratamentos, estabelecido pelo princípio da inferência experimental, sempre envolve a variação do erro associado à unidade respectiva. Os princípios do controle local e da casualização têm como propósitos, respectivamente, reduzir esse confundimento e evitar tendenciosidade nas inferências realizadas no experimento. A forma como esses princípios são utilizados é essencial para estabelecer o delineamento do experimento.

2.1.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental pode ser definido como um conjunto de passos que define: i) a estrutura da resposta; ii) a estrutura das condições experimentais (tratamentos); iii) a estrutura das unidades (experimentais), e iv) a estrutura do experimento, definida pela forma como a casualização combina a estrutura de condições experimentais com a estrutura de unidades.

Os delineamentos experimentais mais utilizados são:

- a) **Delineamento completamente casualizado**: neste caso não há uso do controle local, as unidades experimentais são homogêneas e a casualização é realizada sem restrições;
- b) **Delineamento casualizado por bloco**: o controle local é utilizado, as unidades experimentais são agrupadas em blocos homogêneos e a casualização é realizada por bloco, e
- c) **Delineamento em parcelas divididas casualizadas por bloco**: há necessariamente dois fatores de tratamento: os níveis de um fator são alocados na parcela e os do outro fator nas subparcelas, que são subdivisões da parcela; a casualização é realizada, por bloco, e em duas etapas: na primeira casualiza-se parcelas dentro de bloco, e na segunda, subparcelas dentro de parcela.

2.1.2. Estrutura das condições experimentais ou delineamento de tratamento

O fator experimental mais importante é o fator de condição, pois deriva diretamente dos objetivos do experimento. Recebe esse nome porque seus níveis são condições impostas pelo pesquisador às unidades experimentais, pela escolha de unidades que possuam as propriedades de interesse ou pela atribuição das unidades aleatoriamente aos níveis, por meio de um processo de casualização. Assim, um fator de condição é o fator cujos níveis derivam dos objetivos do experimento. O fator de condição pode ser de dois tipos: a) **fator de tratamento**, quando qualquer unidade experimental pode ser atribuída aos seus níveis (por exemplo: dose do remineralizador), e b) **fator intrínseco**, quando os seus níveis já são atributos das unidades no momento da casualização, portanto, não pode ser casualizado (exemplo: tipo de solo, em um experimento de campo).

Outra importante classificação do fator de condição é baseada na escala de

medida. Assim, o fator de condição pode ser **qualitativo**, quando os níveis se distinguem qualitativamente, como por exemplo, tipo de remineralizador, tipo de solo, espécie de planta alvo, ou **quantitativo** quando essa diferença é quantitativa, por exemplo, dose do remineralizador.

O planejamento das condições experimentais deve ser consequência dos objetivos do experimento, definidos pelo problema científico e pela correspondente hipótese científica. Esse planejamento estabelece a **estrutura das condições experimentais**, que tem implicações relevantes para a estrutura do experimento e, portanto, para as inferências referentes às relações causais entre características respostas e características explanatórias que constituem o objetivo do experimento.

No processo de escolha das condições experimentais, especialmente dos tratamentos, devem ser asseguradas propriedades importantes para as inferências. Uma propriedade particularmente importante é que os tratamentos difiram por atributos simples e identificáveis. Essa propriedade é relevante para garantir que qualquer diferença de resposta a tratamentos tenha interpretação única. A escolha de tratamentos que evite ambiguidade dessa sorte é um dos requisitos mais importantes e difíceis de implementar no planejamento do experimento.

De modo geral, o planejamento das condições experimentais compreende a seguinte sequência de passos:

- a) definição dos fatores de condição;
- b) definição dos níveis de cada um desses fatores;
- c) definição das combinações dos níveis, e
- d) definição de tratamentos adicionais.

Essa sequência pode ser completa ou abreviada, conforme a complexidade do experimento. Em experimentos mais simples, com um único fator, os dois primeiros passos são suficientes.

2.1.3. Repetição e erro experimental

A multiplicação de unidades experimentais com um mesmo nível de fatores de tratamento constitui repetições do fator. A estimativa da variância do erro experimental para um fator de tratamento provém de unidades experimentais com um mesmo nível desse fator. Assim, a estimação do erro experimental requer pelo menos duas unidades experimentais com um mesmo nível. Há, portanto, uma associação íntima entre os conceitos de unidade experimental e erro experimental. A variância do erro experimental não pode ser estimada se não existem repetições. Cabe ressaltar que, embora a repetição não contribua, necessariamente, para o aumento da precisão do experimento, é extremamente importante para o aumento da precisão das estimativas de médias e de outras funções das variáveis respostas. Assim, **o aumento do número de repetições contribuiu substancialmente para o aumento da confiabilidade dessas estimativas e da sensibilidade do experimento para detectar pequenas, mas importantes, diferenças de efeitos de tratamentos.**

Uma das questões mais difíceis da pesquisa experimental é a decisão sobre o número de unidades que deverão ser consideradas para que a precisão seja suficiente. A complexidade dessa questão decorre da grande quantidade de fatores

que precisam ser considerados nessa definição. Alguns deles são: a) disponibilidade de recursos; b) variabilidade do material experimental; c) estrutura das condições experimentais; d) tamanho da diferença que se deseja detectar; e) poder do teste, e f) importância relativa das comparações.

Com base nestes fatores, alguns algoritmos têm sido propostos para determinar o número de repetições do experimento. O resultado, portanto, é variável e dependente das características específicas de cada experimento.

Embora seja de senso comum que quanto maior o número de repetições mais confiáveis são os resultados, torna-se oneroso realizar um experimento com grande número de repetições. Assim, na prática, o tamanho da amostra é determinado mais por considerações a respeito dos custos do que por técnicas estatísticas. Todavia, o pesquisador deve levar em conta, quando estabelece o tamanho de seu experimento, o que é usual na área.

Assim, como regra geral, em experimentos com pelo menos quatro tratamentos, propõem-se que o número mínimo de repetições seja:

- a) **quatro**, quando o delineamento for completamente casualizado, e
- b) **cinco**, quando for casualizado por bloco.

No delineamento em parcelas divididas, o número de unidades experimentais para o fator que está da parcela é sempre menor que o do fator da subparcela. Sugere-se, neste caso, que o **número mínimo de quatro repetições seja para a parcela**. Isso assegura que o **número de graus de liberdade do erro experimental não seja inferior a doze**, como recomendado por Pimentel Gomes (1990).

2.1.4 Análises estatísticas

A análise estatística de experimentos envolve a especificação dos modelos estatísticos dos experimentos, incluindo as respectivas pressuposições, e o estabelecimento dos procedimentos de inferência, que usualmente envolve a estimação dos parâmetros do modelo, estimação da variância e teste de hipótese da hipótese global por meio da **análise da variância** e os processos de discriminação da variação das fontes de variação de interesse.

O modelo do experimento é um modelo linear, ou, mais especificamente, um modelo de classificação, cujos termos estão associados à estrutura do experimento. Uma porção do modelo depende da estrutura das condições experimentais e a outra depende da estrutura das unidades, e todos os termos desse modelo são aditivos.

Um aspecto importante a considerar é que o modelo do experimento é determinado pela estrutura do experimento. A figura 1 ilustra os passos necessários à especificação do modelo, além dos passos adicionais, onde conclusões de uma pesquisa geram novas pesquisas, reiniciando o ciclo.

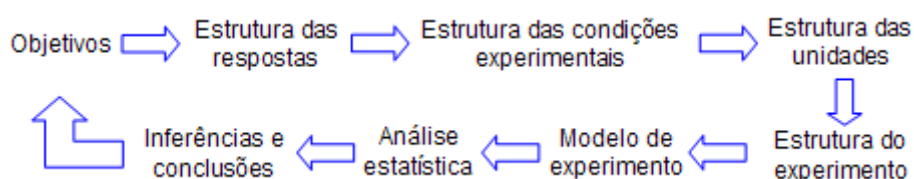


Figura 1. Sequência de abordagem de planejamento e de análise de um problema de pesquisa.

A hipótese global do experimento é testada por meio da análise da variância, uma técnica que visa decompor a variação total da variável resposta (expressa em termos de somas de quadrados) em causas ou fontes previstas de variação. As fontes de variação são determinadas pela estrutura do experimento e, consequentemente, expressas como efeitos no modelo do experimento.

Em experimentos unifatoriais (com apenas um fator de tratamento) a análise da variância possibilita testar o efeito do fator de tratamento. Já em experimentos fatoriais (com dois ou mais fatores de tratamento) é possível testar os efeitos principais dos fatores e também as suas interações. A análise da variância só será conclusiva se todos os efeitos testados resultarem não significativos. Em caso contrário, a análise terá desdobramentos e será necessário o uso de procedimentos para **discriminar a variação** das fontes de interesse.

A escolha desse procedimento deve levar em conta o tipo de fator e os objetivos da análise. Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma simplificado que ilustra os caminhos possíveis a partir da análise da variância.

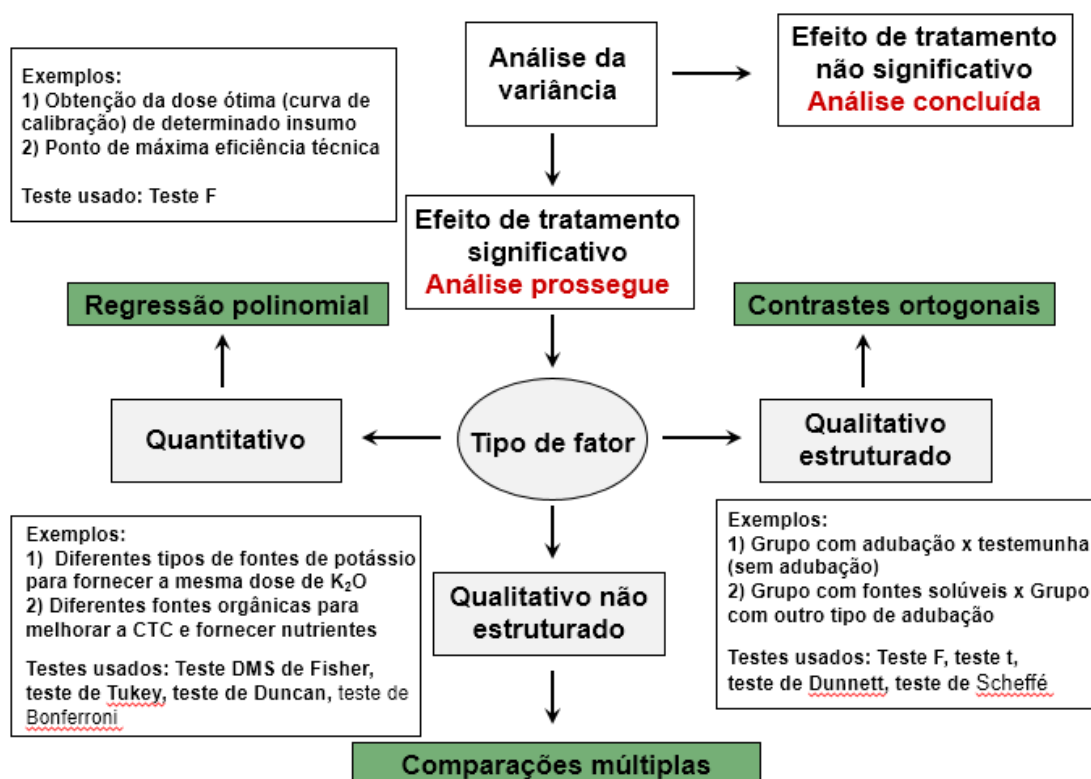


Figura 2. Fluxograma simplificado indicando os procedimentos para a decomposição da variação de tratamento adequados para cada tipo de fator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Clima Temperado

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 13^a ed. Piracicaba, Nobel. 468 p. 1990.