

1

INTRODUÇÃO À ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL

Na pesquisa em ciências agrárias, a **Estatística Experimental** é uma ferramenta indispensável aos pesquisadores na elucidação de princípios biológicos e na solução de problemas agropecuários; para empregá-la eficientemente é essencial uma completa compreensão do assunto na qual se vai aplicá-la. Desse modo, as considerações práticas são tão importantes como os requisitos teóricos, para determinar o enfoque estatístico ao problema.

1.1 Considerações Gerais

A **Estatística Experimental** é a parte da matemática aplicada aos dados experimentais obtidos de experimentos.

Os **experimentos** ou **ensaios** são pesquisas planejadas para obter novos fatos, negar ou confirmar hipóteses ou resultados obtidos anteriormente. Em outras palavras, são pesquisas planejadas, que seguem determinados princípios básicos, com o objetivo de fazer comparações dos efeitos dos tratamentos.

Os experimentos, quanto ao número de tratamentos, podem ser:

- a) **Absoluto** - quando tem apenas um tratamento;
- b) **Comparativo** - quando possui mais de um tratamento.

Os **tratamentos** são as condições impostas às parcelas cujos efeitos desejam-se medir ou comparar em um experimento. Eles podem ser **qualitativos** ou **quantitativos**.

Os tratamentos são denominados qualitativos quando não podem ser ordenados segundo algum critério numérico e se diferenciam por suas qualidades. Por exemplo: espécies de eucalipto; variedades de cana-de-açúcar; métodos de preparo de solo na cultura da batata-doce; métodos de irrigação na cultura do melão; tipos de adubos químicos na cultura da soja; tipos de adubos orgânicos na cultura do capim elefante; tipos de poda na cultura da maçã; sistemas de plantio na cultura do milho; fitohormônios para quebrar dormência de bulbos de cebola; fungicidas para controlar o agente causador da mancha púrpura em alho; herbicidas para controlar plantas invasoras na cultura do tomate; inseticidas para controlar a vaquinha na cultura do pimentão; espécies de peixe; raças de caprino de corte; rações para alimentação de suínos; vermífugos no controle de verminose em ovinos; vacinas para controle da aftosa em bovino de corte; tipos de manejo em bovino de leite; etc..

Os tratamentos são quantitativos quando podem ser ordenados segundo algum critério numérico. Por exemplo: níveis de nitrogênio para a cultura do trigo; espaçamentos entre fileiras para a cultura do arroz; épocas de plantio para a cultura da ervilha; doses de um inseticida para controlar a lagarta do cartucho na cultura do milho;

doses de um herbicida para controlar plantas invasoras na cultura do sorgo; densidades de semeadura na cultura da soja; doses de um vermífugo no controle de verminose em caprinos; níveis de lisina na nutrição de frangos de corte; níveis de caseína iodada na nutrição de vacas leiteiras; etc..

Quando os tratamentos são escolhidos pelo pesquisador, de modo que o experimento possa ser repetido com os mesmos tratamentos, são denominados de **efeito fixo**. Quando, porém, os tratamentos são obtidos como uma amostra aleatória de uma população de tratamentos, de modo que o experimento não possa ser repetido com os mesmos tratamentos, são denominados de **efeito aleatório**.

A classificação dos tratamentos em efeito fixo ou efeito aleatório tem implicação direta na interpretação dos resultados da pesquisa. Para tratamentos de efeito fixo as conclusões são válidas somente para os tratamentos estudados, enquanto para tratamentos de efeito aleatório as conclusões são para toda a população de onde os tratamentos foram retirados aleatoriamente.

As **parcelas** são as unidades em que é feita a aplicação casualizada dos tratamentos, de modo a fornecer os dados experimentais que deverão refletir seus efeitos. Em outras palavras, são as menores porções do material experimental onde os tratamentos são avaliados. Por exemplo, uma parcela pode ser: uma folha de uma planta; uma parte da copa de uma árvore ou a copa inteira; uma única planta ou um grupo delas; uma área de terreno com plantas; um lote de sementes; um vaso de barro; um frasco; uma caixa de madeira; uma placa de petri; um tubo de ensaio; uma gaiola; uma baia; um boxe; uma parte do animal; um único animal ou um grupo deles; etc..

De um modo geral, o número de indivíduos ou área de uma parcela depende do grau de heterogeneidade do material a ser pesquisado, ou seja, quanto maior for a heterogeneidade, maior deverá ser o número de indivíduos, a fim de bem representar o tratamento.

O estudo dos experimentos, desde o seu planejamento até o relatório final, constitui o objetivo da **Estatística Experimental**.

1.2 Classificação dos Experimentos

Os experimentos são classificados em:

a) **Aleatórios** – são aqueles em cujo planejamento entra o acaso. Os mais importantes são: Delineamento Inteiramente Casualizado, Delineamento em Blocos Casualizados e Delineamento em Quadrado Latino.

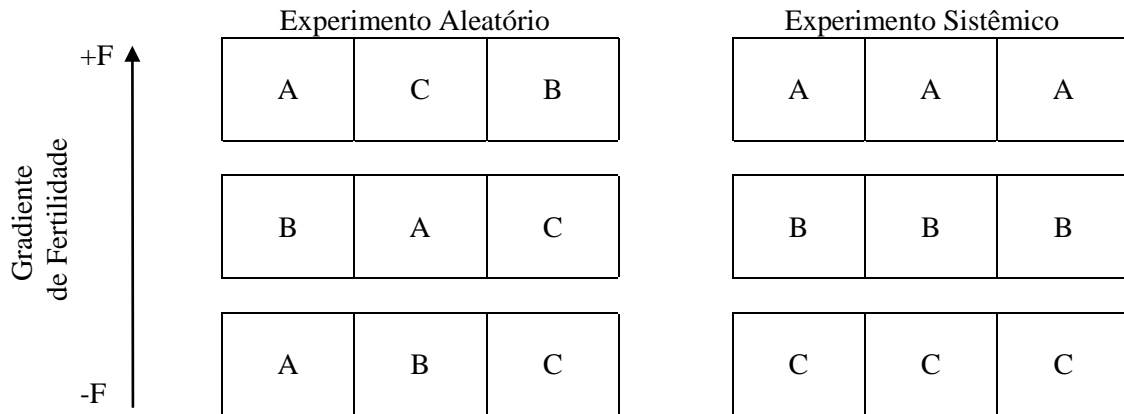
b) **Sistêmicos** – são aqueles em cujo planejamento não entra o acaso, ou seja, são aqueles em que os tratamentos a serem avaliados são colocados juntos.

Os experimentos sistêmicos eram muito usados antes da Ciência Estatística. Eles só tinham o princípio básico da repetição. Em função disso, tais experimentos levavam a um erro experimental muito grande, devido aos fatores aleatórios (solo, topografia, manchas de solo, água, etc.).

A diferença entre os experimentos aleatório e sistêmico encontra-se na FIGURA 1.1. Observa-se que no experimento aleatório todos os três tratamentos encontram-se nas mesmas condições, ou seja, numa faixa de alta fertilidade, numa faixa intermediária de fertilidade e numa faixa de baixa fertilidade. Já no experimento sistêmico, o tratamento A está sendo favorecido e o tratamento C está sendo prejudicado. Se potencialmente o tratamento C fosse superior ao tratamento A, no caso do experimento sistêmico, ele não poderia manifestar todo o seu potencial, por não estar sendo comparado em condições de

igualdade. É por isso que os experimentos sistêmicos apresentam um erro experimental muito alto e as conclusões obtidas desses experimentos não são confiáveis.

FIGURA 1.1 – DIFERENÇA ENTRE OS EXPERIMENTOS ALEATÓRIO E SISTÊMICO



1.3 Tipos de Experimentos

Existem três tipos de experimentos:

a) **Preliminar** – é aquele conduzido dentro de estações experimentais para a obtenção de novos fatos. É científico, mas apresenta baixa precisão. Próprio para ensaios de introdução de variedades de espécies cultivadas, ou quando se dispõe de um elevado número de tratamentos e é necessário fazer uma triagem.

b) **Crítico** – é aquele que tem por objetivo negar ou confirmar uma hipótese obtida no experimento preliminar e é conduzido dentro ou fora das fronteiras das estações experimentais. É científico e apresenta maior precisão que o experimento anterior. Serve para comparar vários tratamentos por meio dos delineamentos experimentais, usando as técnicas estatísticas recomendadas.

c) **Demonstrativo** – é aquele lançado pela rede de extensão rural. É de cunho demonstrativo, pois tem por objetivo demonstrar junto aos agricultores e/ou pecuaristas os melhores resultados do experimento crítico. Geralmente é apenas comparativo, pois compara uma nova técnica agropecuária com uma tradicional.

Nas FIGURAS 1.2 e 1.3 encontram-se, esquematicamente, os três tipos de experimentos nas culturas do feijão e do gado bovino de corte, respectivamente.

FIGURA 1.2 – ESQUEMA MOSTRANDO OS TRÊS TIPOS DE EXPERIMENTOS NA CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

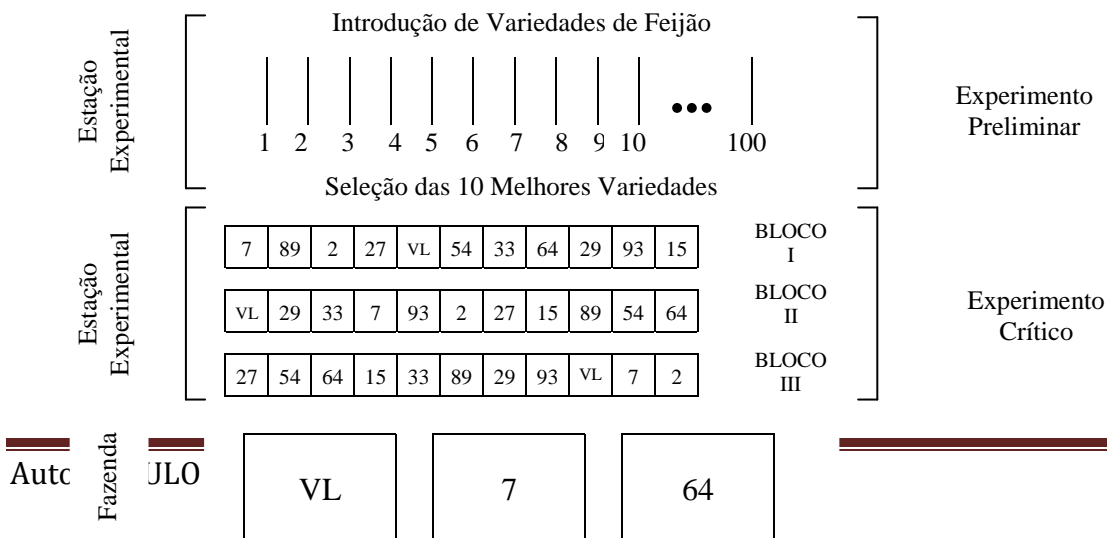
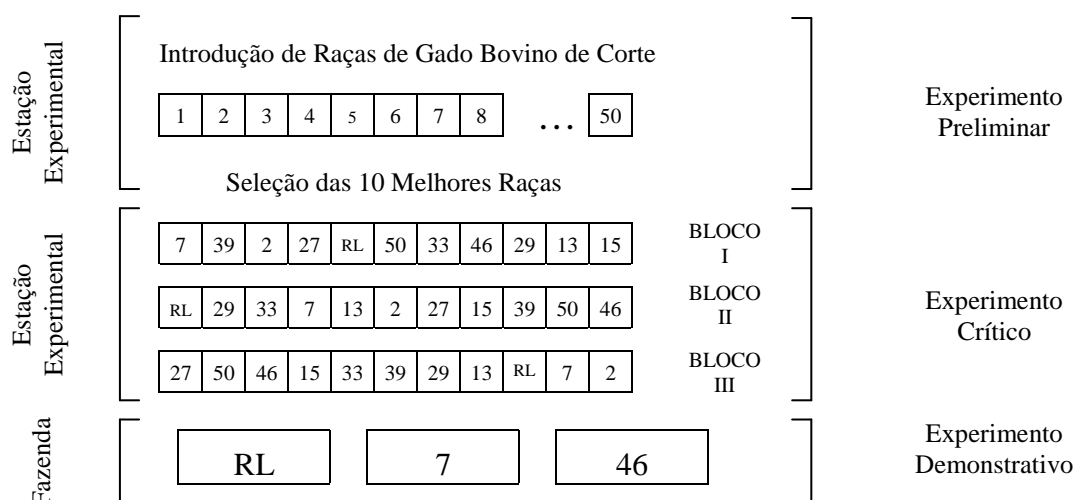




FIGURA 1.3 – ESQUEMA MOSTRANDO OS TRÊS TIPOS DE EXPERIMENTOS NA CULTURA DO GADO BOVINO DE CORTE



Na FIGURA 1.2, inicialmente foram introduzidas 100 variedades de feijão e selecionadas as dez melhores (Experimento Preliminar), posteriormente as dez melhores variedades de feijão mais a variedade local (VL) foram avaliadas no delineamento em blocos casualizados com três repetições (Experimento Crítico) e, em seguida, as duas melhores variedades de feijão foram comparadas com a variedade local junto aos agricultores (Experimento Demonstrativo).

Na FIGURA 1.3, inicialmente foram introduzidas 50 raças de gado bovino de corte e selecionadas as dez melhores (Experimento Preliminar), posteriormente as dez melhores raças de gado bovino de corte mais a raça local (RL) foram avaliadas no delineamento em blocos casualizados com três repetições (Experimento Crítico) e, em seguida, as duas melhores raças de gado bovino de corte foram comparadas com a raça local junto aos pecuaristas (Experimento Demonstrativo).

1.4 Tipos de Variações

Na experimentação agropecuária ocorrem três tipos de variações nos dados experimentais, a saber:

a) **Variação premeditada** – é aquela que se origina dos diferentes tratamentos, deliberadamente introduzidos pelo pesquisador, com o propósito de fazer comparações. Por exemplo, num estudo de competição de variedades de milho e/ou de avaliação de raças de gado bovino de leite já existe uma variação entre elas devido à própria natureza dos tratamentos, o que irá refletir nos dados experimentais. Outro exemplo, num estudo de avaliação de inseticidas no controle da lagarta do cartucho do milho e/ou de avaliação de carrapaticidas no controle de carrapatos de vacas leiteiras já existe, também, uma variação entre eles devido à constituição química dos tratamentos, o que irá provocar uma variação nos dados experimentais.

b) **Varição externa** – é aquela devido a variações não intencionais de causas conhecidas, que agem de modo sistemático, podendo ser controlada pelo pesquisador através do uso de blocos. Caso não seja controlada, esta variação ficará embutida no resíduo, aumentando, assim, o erro experimental e, em consequência, diminuindo a precisão experimental e tornando os testes de hipóteses menos sensíveis para detectar diferenças significativas entre os tratamentos. Por exemplo, a heterogeneidade do solo é uma variação desse tipo, pois as parcelas localizadas em solos mais férteis produzem mais que as localizadas em terrenos pobres. Outro exemplo, dentro de uma casa-de-vegetação, as condições de temperatura, umidade e insolação podem variar consideravelmente de uma posição para outra, alterando o comportamento das plantas. Ainda, um outro exemplo, dentro de um estábulo, ocorrendo uma variação na temperatura e na luminosidade, as baias localizadas nas faixas de menor temperatura e de maior luminosidade produzem mais leite do que as localizadas nas faixas de maior temperatura e de menor luminosidade.

c) **Varição accidental** – é aquela devido a variações não intencionais de causas desconhecidas, que agem de modo aleatório, não estando sob o controle do pesquisador. Tal variação é que constitui o chamado **erro experimental**. Esta variação promove diferença entre as parcelas que recebem o mesmo tratamento. Entre as variações accidentais podem-se citar: diferença na constituição genética das plantas, variações ligeiras no espaçamento, na profundidade de semeadura, na quantidade de adubos aplicados, na quantidade de água de irrigação aplicada, etc., para o caso dos vegetais; diferença na constituição genética dos animais, variações ligeiras na quantidade de ração ministrada, na quantidade de água fornecida, na quantidade de vermífugo aplicado, na quantidade de carrapaticida aplicado, etc., para o caso dos animais.

Os efeitos da variação accidental, sempre presentes, não podem ser conhecidos individualmente e alteram, pouco ou muito, os resultados obtidos experimentalmente. Assim, ao comparar, no campo, a produção de duas variedades de cana-de-açúcar, a inferior poderá por simples acaso exceder a melhor variedade, por ter sido favorecida por uma série de pequenos fatores não controlados. E ao comparar duas rações potencialmente semelhantes na alimentação de leitões, uma delas pode promover um maior ganho de peso em relação à outra. Em virtude disso, o pesquisador tem obrigação de fazer tudo o que for possível para reduzir o erro experimental, a fim de não incorrer em resultados dessa natureza. Cabe a ele, pois, verificar se as diferenças observadas no experimento têm ou não valor, ou seja, se são **significativas** ou **não-significativas**.

Uma diferença significativa indica que os tratamentos avaliados são potencialmente diferentes, enquanto que uma diferença não-significativa indica que os tratamentos avaliados são potencialmente semelhantes e que a diferença observada entre eles foi devido à variação accidental.

Para que um experimento estivesse livre das variações accidentais, seria necessário realizá-lo em condições inteiramente uniformes de solo, plantas com a mesma constituição genética, o mesmo número de plantas por parcela, plantas com a mesma idade, irrigação uniforme, ausência de insetos-praga, doenças e plantas invasoras, adubação uniforme, etc., para o caso dos vegetais; e animais com mesma constituição genética, o mesmo número de animais por parcela, animais com o mesmo peso, sexo e idade, mesma quantidade de água e de ração administradas, mesma quantidade de vermífugo aplicado, ambiente inteiramente uniforme, etc., para o caso dos animais. Todavia, isso é praticamente impossível, e independe do local onde se está conduzindo o experimento (campo, estábulo, laboratório, casa-de-vegetação, etc.). Em função disso, a

única alternativa do pesquisador é aplicar todo o seu conhecimento para minimizar as variações acidentais no experimento.

1.5 Pontos Considerados na Redução do Efeito da Variação Acidental

A fim de reduzir o efeito da variação acidental nos experimentos, o pesquisador deve dar especial importância aos seguintes pontos: forma da parcela, tamanho da parcela, orientação das parcelas, efeito bordadura entre as parcelas, falhas de plantas nas parcelas, número de repetições dos experimentos, delineamentos experimentais e forma de condução dos experimentos.

1.5.1 Forma da parcela

A forma da parcela refere-se à razão entre o comprimento e a largura da parcela. A melhor forma da parcela será, para cada caso, a que melhor controle as variações acidentais e a que se adapte à natureza dos tratamentos a estudar.

No delineamento em blocos casualizados, o melhor é que a forma da parcela seja retangular, para que cada bloco tenha a forma a mais quadrática possível; enquanto que, ao contrário, no delineamento em quadrado latino, a parcela deve aproximar-se o mais possível da forma quadrática, para que todas as repetições, no conjunto, se aproximem do quadrado.

Tratando-se de parcelas pequenas, a forma tem pouca ou nenhuma influência sobre o erro experimental. Em parcelas grandes, a forma tem uma influência notável. Em geral, as parcelas longas e estreitas são as mais recomendáveis: assim, as parcelas de uma repetição tenderão a participar de todas as grandes manchas de fertilidade do terreno que ocupam, e também, quando for grande o número de tratamentos, o bloco não se afastará muito da forma quadrática, que é outra recomendação para diminuir o efeito da variação ambiental.

A forma da parcela também é influenciada pelo **efeito bordadura** e pela **heterogeneidade do solo**. No primeiro caso, em experimentos onde tal efeito possa ser apreciável, parcelas quadradas são desejáveis porque elas possuem um perímetro mínimo, para um dado tamanho da parcela. Por exemplo, uma parcela retangular com área de $9 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$ terá perímetro igual a 26 m. Por outro lado, uma parcela quadrática com a mesma área de $6 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 36 \text{ m}^2$ apresentará perímetro de apenas 24 m. Isso implica num menor número de plantas a serem eliminadas e, conseqüentemente, numa maior área útil de parcela (área onde são coletados os dados experimentais), o que irá representar melhor o tratamento. Quanto ao segundo caso, a escolha da forma da parcela não é crítica quando a variação do solo é grande, tanto em uma direção como em outra. Por outro lado, se existe um gradiente, as parcelas deverão ser retangulares. Quando o padrão de fertilidade da área experimental for desconhecido, é mais seguro usar as parcelas quadráticas (elas não darão a melhor precisão, mas também não darão a pior).

Existe uma série de métodos utilizados para determinar a forma ideal de parcela, os quais serão abordados no próximo item.

1.5.2 Tamanho da parcela

O tamanho da parcela compreende não apenas a área colhida, mas toda a área que recebeu o tratamento. O melhor tamanho da parcela será aquele que proporcione uma menor variação acidental, desde que não afete a precisão do experimento. Geralmente, tal variação diminui com o aumento do tamanho da parcela. Contudo, se for aumentado demais o tamanho das parcelas, o número das mesmas será diminuído, havendo uma diminuição na precisão do experimento. Por exemplo, na determinação do caráter produção, usualmente se registra uma diminuição na precisão mediante o emprego de parcelas maiores que 400 m²; para a maioria das plantas cultivadas, as áreas compreendidas entre 20 - 40 m² registram uma boa precisão.

No caso dos animais, a variação acidental também diminui com o número crescente de indivíduos por parcela. Todavia, se for aumentado demais o número de indivíduos por parcela, o número das mesmas poderá ser diminuído, pela dificuldade de se encontrar um lote homogêneo, ocorrendo, assim, uma redução na precisão experimental. Por outro lado, se os animais podem ser manipulados individualmente, recomenda-se, para se ter uma maior precisão experimental, a utilização de um maior número de repetições do que um maior número de indivíduos por parcela.

Convém frisar que se utiliza, geralmente, um indivíduo por parcela no caso de animais de grande porte, como búfalos, bovinos de corte e de leite, avestruzes, etc., e, geralmente, mais de um indivíduo por parcela no caso de animais de médio e pequeno portes. No caso de animais de médio porte, como ovinos, caprinos de corte e de leite e suínos, se utiliza de um a quatro indivíduos por parcela, predominando dois indivíduos por parcela. Já no caso de animais de pequeno porte, encontra-se uma variação muito grande na literatura especializada em relação ao número de indivíduos por parcela, tanto entre como dentro das espécies. Por exemplo, em frangos de corte o número de animais por parcela varia de $\geq 10 \leq 20$; em codorna, varia de $\geq 5 < 25$ animais por parcela; em peixes, a variação é bem maior entre as espécies: tilápia – $\geq 4 \leq 60$, predominando em torno de 10 animais por parcela; tambaqui – $\geq 4 < 25$ animais por parcela; piaçu – $\geq 4 < 15$ animais por parcela.

Além de que já foi discutido, existem outros fatores que devem ser considerados na escolha do tamanho da parcela. São eles:

a) **Tipo de experimento** – As práticas culturais relacionadas ao experimento podem determinar o tamanho da parcela nos vegetais. Ensaio com fertilizantes requerem parcelas maiores que estudos de avaliação de cultivares. Experimentos com irrigação ou com práticas de preparo do solo requerem parcelas ainda maiores. No caso dos animais, experimentos com animais no pasto requerem parcelas maiores do que experimentos com animais confinados.

b) **Espécie em estudo** – Tanto nas espécies vegetais como nas espécies animais, mesmo usando o mesmo número de indivíduos por parcela, o tamanho das parcelas depende do porte das espécies em estudo. Por exemplo, experimentos com as culturas da alface, cenoura, cebolinha, etc. requerem parcelas menores que experimentos com as culturas do milho, trigo, sorgo, etc., que por sua vez requerem parcelas menores que experimentos com as culturas do coqueiro, mangueira, eucalipto, etc.; experimentos com codornas, peixes ornamentais, escargot, etc. requerem parcelas menores que experimentos com frangos de corte, galinhas poedeiras, coelhos, etc. que por sua vez requerem parcelas menores que experimentos com vacas leiteiras, bovinos de corte, búfalos, etc..

c) **Heterogeneidade do solo** – Quando a heterogeneidade do solo é do tipo “em retalhos”, isto é, quando a correlação entre produtividade de áreas adjacentes é baixa, uma grande parcela deve ser usada.

d) **Efeito bordadura** – Quando tal efeito é grande, o tamanho da parcela também deve ser maior, para possibilitar que algumas fileiras externas sejam descartadas.

e) **Disponibilidade de recursos** – Se a disponibilidade de recursos for limitada, como por exemplo, pequena quantidade de sementes e/ou propágulos vegetativos, poucos animais, área experimental reduzida, etc., forçosamente, as parcelas deverão ser menores.

f) **Características avaliadas** – Quando diversas características devem ser medidas, o pesquisador pode necessitar de muitas plantas adicionais para amostragens, especialmente quando a avaliação requer a destruição de plantas nos estágios iniciais de crescimento. Nesse caso, a área da parcela deve ser grande o bastante para se dispor de proteção contra a competição intraparcela, que ocorrerá quando as plantas amostradas forem retiradas.

Neste momento, é oportuno fazer um comentário sobre **amostragem de parcelas**. A amostragem de parcela é um procedimento para seleção de uma fração de plantas ou animais de uma parcela experimental, para a representação dessa parcela com precisão. Uma técnica de amostragem de parcelas é considerada boa, se os valores das características medidos na amostra estão muito próximos daqueles que teriam sido obtidos, se as mensurações tivessem sido efetuadas em todas as plantas ou animais da parcela. A amostragem de parcela é usada quando o processo de mensuração em toda a parcela é muito caro e trabalhoso. Alguns fatores devem ser levados em conta, quando da amostragem de parcelas. São eles: **unidade amostral, tamanho amostral e método de amostragem**.

A unidade amostral refere-se à unidade na qual serão feitas as mensurações. Essa unidade pode ser uma planta ou um animal, um grupo de plantas ou de animais, etc.. O tamanho amostral refere-se ao número de unidades amostrais que serão tomadas em cada parcela. O método de amostragem é a maneira pela qual às unidades amostrais são escolhidas na parcela. Se possível, essas unidades devem ser tomadas ao acaso.

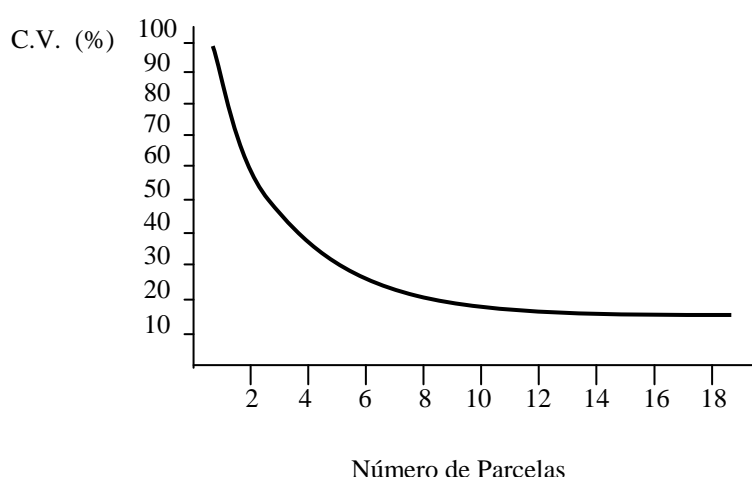
Quando o procedimento da amostragem requer, para o caso dos vegetais, à destruição das plantas amostradas e visitas freqüentes às parcelas, deve-se procurar separar a área amostrada do tamanho da parcela. Isso pode ser feito deixando-se uma área no centro da parcela para colheita, uma para amostragem, outra mais externa da parcela para bordadura, e a área entre a do centro e a da amostragem também como bordadura. Para a mensuração do mesmo caráter, como altura da planta, em diferentes estádios de crescimento, as mesmas plantas devem ser usadas em todos os estádios de observação. Se a amostragem é muito freqüente, deve-se mudar um terço ou um quarto das amostras, em cada estágio de observação, para se evitar possíveis efeitos de freqüentes manuseios das plantas amostradas.

Quanto aos métodos utilizados para determinação da forma e tamanho ideais de parcela, a precisão experimental é o principal critério de escolha dos mesmos. Por outro lado, dois tipos de ensaios têm fornecido dados para uso destes métodos. São eles: **ensaios de uniformidade e ensaios experimentais**.

Para a condução de um ensaio de uniformidade, uma área experimental é semeada com um tratamento uniforme, se possível uma linhagem ou um híbrido simples, e recebe, uniformemente, as mesmas práticas agrícolas. Na colheita, ela é dividida em muitas pequenas parcelas, sendo todas com as mesmas dimensões.

Entre os métodos que utilizam dados oriundos de ensaios de uniformidade, tem-se o **Método da Máxima Curvatura**. Nele, dados do rendimento das unidades básicas são combinados, de modo a simularem rendimentos de parcelas de vários tamanhos. Para os vários tamanhos de parcela, calcula-se um índice qualquer de variabilidade que pode ser a variância, o coeficiente de variação ou o erro padrão da média. O índice de variabilidade e os tamanhos das parcelas são plotados em um sistema de eixos coordenados. Uma curva a mão-livre é traçada através das coordenadas resultantes, e o ponto de curvatura máxima é determinado a partir do qual o índice de variabilidade se estabilizará. É este o ponto que irá determinar a forma e tamanho ideais da parcela, como exemplifica a FIGURA 1.4.

FIGURA 1.4 – RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E O NÚMERO DE PARCELAS PARA DETERMINAR O PONTO DE CURVATURA MÁXIMA, A PARTIR DE DADOS FICTÍCIOS DE RENDIMENTO



O método em referência apresenta dois inconvenientes. Primeiro, não considera os custos relativos de vários tamanhos de parcela e, segundo, o ponto de curvatura máxima não é independente da menor unidade selecionada ou da escala de mensuração usada.

O fato dos ensaios de uniformidade serem dispendiosos e trabalhosos tem levado diversos pesquisadores a sugerir métodos para a determinação de tamanho e forma ótimos de parcela, baseados em dados experimentais.

Entre os métodos que utilizam dados oriundos de ensaios experimentais, tem-se o **Método da Máxima Curvatura Modificado por Sanchez**. O autor sugeriu uma modificação do método da máxima curvatura, utilizando dados experimentais. Ele chamou a atenção para o fato de que o ponto de máxima é determinado, em geral, por inspeção visual, mas que é possível obter-se uma curva teórica do parâmetro em questão, que seja função do tamanho da parcela. Assim, o tamanho ótimo corresponderá à abscissa na qual a derivada da tal função seja igual a -1 , isto é, depois deste ponto, o aumento de uma nova unidade da variável independente (a unidade mínima de tamanho da parcela ou o número de plantas) produzirá uma redução de variável dependente (por exemplo, o coeficiente de variação) menor que a unidade, pelo que não seria viável efetuar aumentos adicionais.

Mais detalhes sobre métodos usados na determinação da forma e tamanho ideais de parcela, baseados em dados oriundos de ensaios de uniformidade e de ensaios experimentais, podem ser obtidos em SILVA (1981).

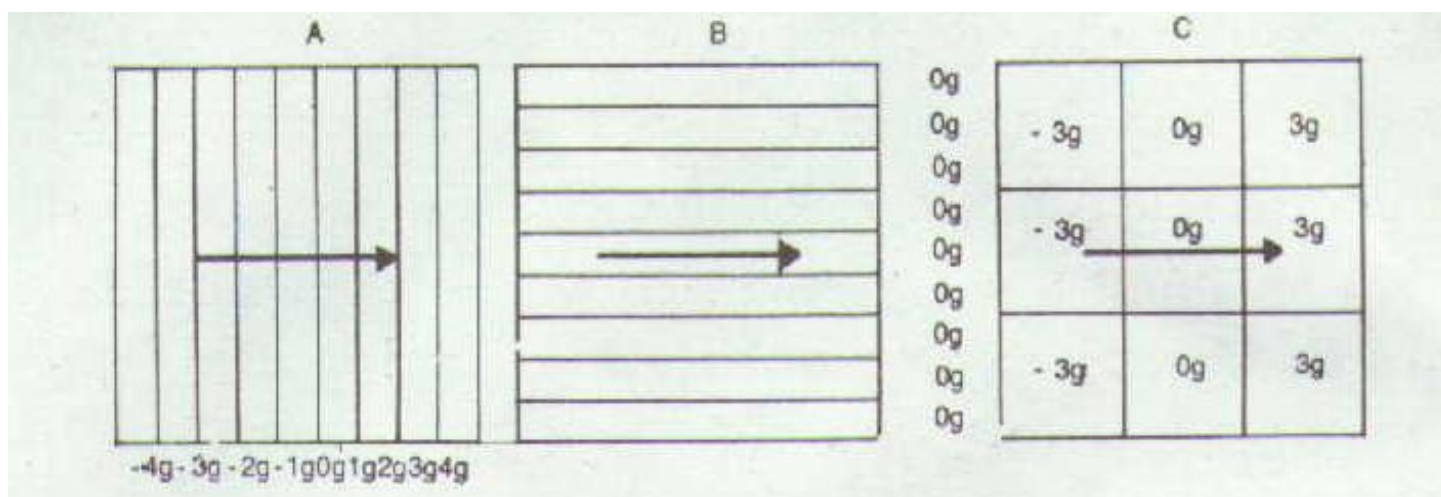
1.5.3 Orientação das parcelas

A orientação das parcelas refere-se à escolha da direção ao longo do qual os comprimentos das parcelas serão colocados. Tal orientação, evidentemente, não é definida para parcelas quadradas.

A orientação das unidades experimentais pode reduzir ou aumentar os efeitos dos gradientes de fertilidade do campo. Se o terreno tem um gradiente de fertilidade conhecido, as parcelas de cada repetição ou bloco devem ser colocadas com sua maior dimensão no sentido paralelo a tal gradiente. Veja-se a comprovação matemática desta recomendação. Na FIGURA 1.5 o gradiente de fertilidade tem a direção da flecha. Se for colocado nesse terreno as parcelas nas formas: A, B e C, veja-se o que se sucede:

Na distribuição A, em que a maior dimensão das parcelas é perpendicular ao gradiente de fertilidade, verifica-se que algumas parcelas têm maior fertilidade do que outras; enquanto que na distribuição B, todas as parcelas participam por igual das diferentes fertilidades do solo, pois todas terão um extremo fértil e outro pobre. Na distribuição C, três parcelas participam da parte mais fértil, três da parte intermediária e três da parte pobre.

FIGURA 1.5 - INFLUÊNCIA DA FORMA DE COLOCAÇÃO DAS PARCELAS NO BLOCO, QUANDO O CAMPO TEM UM GRADIENTE DE FERTILIDADE CONSTANTE



NOTA: As flechas indicam o sentido do gradiente de fertilidade.

Se a variação do gradiente de fertilidade é constante (caso ideal) e igual a q de uma faixa ou parcela à outra, as estimativas do desvio padrão para as distribuições A, B e C, obtidas através da seguinte fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{SQD}{N-1}}$$

onde:

SQD = soma dos quadrados dos desvios;

N = número de observações ou de parcelas;

são:

$$\begin{aligned}
 s_A &= \sqrt{\frac{SQD}{N-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(-4)^2 + (-3)^2 + (-2)^2 + (-1)^2 + (0)^2 + (1)^2 + (2)^2 + (3)^2 + (4)^2}{9-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{16+9+4+1+0+1+4+9+16}{8}} \\
 &= \sqrt{\frac{60}{8}} \\
 &= \sqrt{7,5} \cong \mathbf{2,7386 \text{ g}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_B &= \sqrt{\frac{SQD}{N-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2}{9-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{0+0+0+0+0+0+0+0+0}{8}} \\
 &= \sqrt{\frac{0}{8}} \\
 &= \sqrt{0} = \mathbf{0,0000 \text{ g}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_C &= \sqrt{\frac{SQD}{N-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{(-3)^2 + (-3)^2 + (-3)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (3)^2}{9-1}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{9+9+9+0+0+0+9+9+9}{8}} \\
&= \sqrt{\frac{54}{8}} \\
&= \sqrt{6,75} \cong \mathbf{2,5981\ g}
\end{aligned}$$

Verifica-se, assim, que a distribuição A tem o maior desvio padrão, segue-se C e por último B.

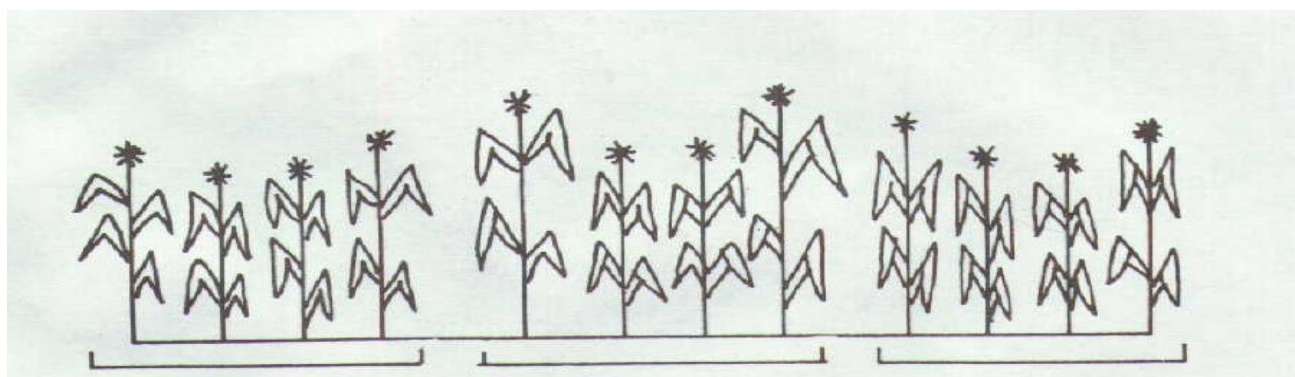
Portanto, se é conhecido o gradiente de fertilidade do terreno, as parcelas devem ser colocadas no campo com o lado mais comprido paralelo a direção de tal gradiente. Se não for possível adotar a distribuição B por dificuldades de ordem prática, então se deve adotar a distribuição C, sendo a distribuição A, a menos recomendável.

1.5.4 Efeito bordadura entre as parcelas

Denomina-se efeito bordadura à diferença em comportamento entre plantas ao longo dos lados ou extremidades de uma parcela e as plantas do centro dessa parcela. Essa diferença pode ser medida pela altura da planta, resistência às doenças e aos insetos-praga, rendimento de grãos e de frutos, etc.. O efeito bordadura pode ocorrer quando um espaço não plantado é deixado entre blocos e entre parcelas. Estes espaços proporcionam maior aeração, luz e nutrientes às plantas de bordaduras, e contribuem para aumentar por este motivo a colheita, com isto o rendimento dos tratamentos ficam superestimados em razão da maior produção das plantas de bordadura. Esta influência é tanto maior, quanto maior é a área que circunda a parcela, e menor é a parcela.

As áreas livres não só aumentam o rendimento, como também, o que é pior, os tratamentos não apresentam por igual esta influência; assim nos experimentos de competição de variedades, algumas variedades tendem a aproveitar melhor que outras as áreas livres, conforme apresentado na FIGURA 1.6. Desse modo, alguns tratamentos podem estar inconvenientemente em vantagem sobre outros nos experimentos, e dar lugar a conclusões erradas.

FIGURA 1.6 – EFEITO BORDADURA EM VARIEDADES DE MILHO DEVIDO A ÁREAS NÃO PLANTADAS ENTRE PARCELAS ADJACENTES



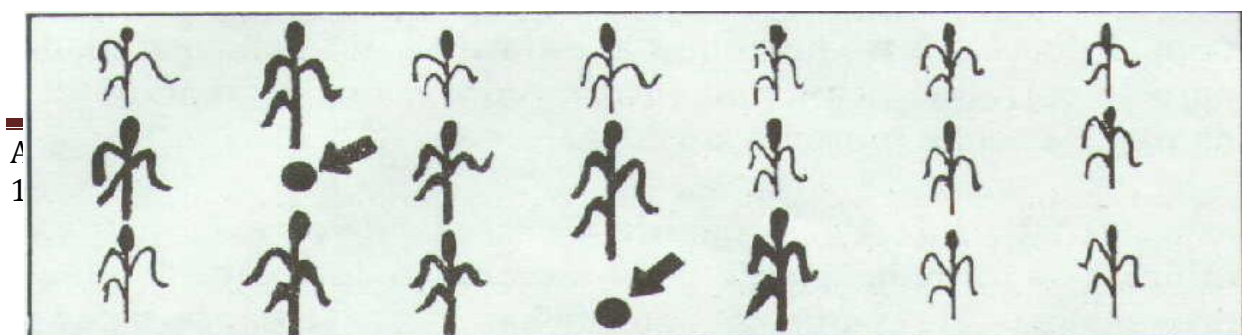
A recomendação acima se fundamenta em resultados experimentais obtidos na literatura especializada em diversas culturas, onde mostram que, em geral:

- a) Existe competição entre variedades, na maioria dos estudos.
 - b) A competição, usualmente, é confinada a uma fileira de cada lado da parcela.
 - c) A competição entre variedades de hábitos de crescimento semelhantes é desprezível.
 - d) Uma variedade altamente produtiva é usualmente, um forte competidor.
 - e) A competição é complexa e varia com as condições ambientais.
- Consequentemente, não se pode classificar variedades, quanto ao valor da competição.
- f) Os rendimentos de fileiras não-competitivas (fileira central de parcelas de três fileiras) são menos variáveis que os rendimentos de fileiras competitivas (parcela de uma única fileira).

1.5.5 Falhas de plantas nas parcelas

Pode-se dizer que uma parcela experimental apresenta falhas quando ela possui um stand reduzido em relação ao inicial, isto é, apresenta covas sem plantas, conforme se observa na FIGURA 1.9. As falhas de plantas nas unidades experimentais são uma das principais causas do erro experimental. Contudo, nem todas as falhas influem no erro experimental, só aquelas extrínsecas aos tratamentos são as que influem, tal é o caso de morte de plantas devida às doenças e aos insetos-praga, ao empoçamento de água em virtude dos desníveis do terreno, etc.. Por outro lado, as causas intrínsecas devido aos tratamentos, tais como morte de plantas por um dos tratamentos, queima ou maltrato das plantas, etc., não influem no erro experimental.

FIGURA 1.9 – FALHAS EM UMA PARCELA EXPERIMENTAL DE SORGO



A presença de falhas em uma parcela significa que nem todas as plantas da parcela estão sujeitas ao mesmo espaçamento e competição. Além disso, existe uma correlação positivas entre número de plantas e produção, ou seja, quanto maior o número de plantas, maior será a produção; se ocorrer falhas de plantas nas parcelas experimentais de um determinado tratamento, o mesmo será prejudicado porque não poderá expressar todo o seu potencial, ainda que as plantas vizinhas às falhas desenvolvam mais que as outras, como mostra a FIGURA 1.9. Desse modo, a presença de falhas contribui para aumentar o erro experimental, já que elas levam à falta de uniformidade das condições experimentais.

Muitas vezes, contudo, em que pese todas as precauções possíveis, ocorrem falhas em alguns experimentos, que podem ser de pequena ou grande monta. Se forem de pequena monta, até 5%, em geral não constituem um fator sério. Porém, se estiverem no intervalo de $> 5\% \leq 30\%$, é necessário recorrer aos **métodos de correção de falhas**. Se as falhas são mais de 30% da população de plantas, é preferível repetir o experimento.

Alguns métodos usados na correção de falhas são apresentados a seguir:

a) **Ausência de correção** – O pesquisador ignora a presença de falhas e determina o rendimento da parcela com base na área colhida. Aqui é assumido que o rendimento de uma falha é totalmente compensado pelo aumento em rendimento das covas vizinhas. Contudo, deve-se ressaltar que, na prática, a compensação não é total. Em virtude disso, o rendimento da parcela fica subestimado.

b) **Regra de três** – O pesquisador considera que o rendimento de uma falha é igual ao rendimento médio das outras covas na parcela. Por esse método, admite-se que a presença de uma ou mais falhas não afeta a performance das plantas vizinhas. Todavia, isso não ocorre na prática, ou seja, plantas vizinhas a uma falha sempre produzem mais que plantas completamente competitivas. Desse modo, o rendimento da parcela fica superestimado.

c) **Regra de três, considerando-se a colheita apenas das plantas competitivas** – Por esse método, admite-se que a presença de uma ou mais falhas afeta a performance das plantas vizinhas. Dessa forma, todas as plantas imediatamente a uma falha serão eliminadas e o rendimento da parcela é obtido considerando-se apenas as plantas competitivas. Nesse método, a estimativa do rendimento da parcela corrigida ficaria muito próximo do valor que seria obtido na parcela sem a presença de falhas.

d) **Uso de fórmulas de correção** – Por esse método, utilizam-se fórmulas para efetuar a correção dos pesos de grãos provenientes de parcelas com falhas. Com essa finalidade, vários Estatísticos desenvolveram fórmulas para correção de stands de plantas cultivadas. Por exemplo, ZUBER (1942), e LENG e FINLEY (1957) desenvolveram, respectivamente, as seguintes fórmulas para correção de stands de milho:

$$CW = \left(\frac{H - 0,3M}{H - M} \right) FW$$

e

$$CW = \left(1 + \frac{0,6M}{H} \right) FW$$

onde:

CW = peso corrigido;

FW = peso de campo;

M = número de falhas;

H = stand inicial.

Todavia, torna-se impossível o estabelecimento de qualquer fórmula confiável, para correção de stands de plantas cultivadas, pois a porcentagem de aumento em rendimento de grãos rodeando uma falha varia com a variedade, o espaçamento, o nível de fertilidade do solo, a época de plantio, etc..

e) **Análise de covariância** – A análise de covariância é um método estatístico que combina os conceitos da análise de variância e da regressão, de maneira a fornecer uma análise mais discriminatória do que qualquer um desses métodos isoladamente. Ela envolve duas variáveis concorrentes e correlacionadas as quais, no presente caso, são o rendimento e o número de plantas por parcela.

Tal método envolve conhecimentos de análise de variância e de regressão. Contudo, se as pressuposições da análise de covariância forem satisfeitas, ela é, provavelmente, o melhor procedimento de ajuste de stands. Mais detalhes, ver capítulo específico sobre o assunto.

1.5.6 Número de repetições dos experimentos

A necessidade de repetições foi reconhecida pelos pesquisadores a partir do ano de 1846 e atualmente não se discute mais a sua importância em quase todos os experimentos. A repetição é um dos princípios de experimentação de que se vale o pesquisador para controlar a variabilidade do meio.

De um modo geral, o número de repetições de um experimento depende dos seguintes fatores:

a) **Variabilidade do meio em que se realiza o experimento** – Quanto maior a variabilidade do meio, maior deve ser o número de repetições. A variabilidade do meio pode influir mais sobre algumas características em estudo do que sobre outras. Eis alguns exemplos: a heterogeneidade do solo influi mais sobre os rendimentos do algodão do que sobre o peso e o comprimento da fibra; a variação de luz influi mais sobre o consumo de ração e ganho de peso de frangos de corte do que sobre a pigmentação da carcaça; a variação de temperatura interfere mais na produção de leite de vacas leiteiras do que no teor de gordura.

b) **Número de tratamentos em estudo** – Experimentos com poucos tratamentos necessitam de maior número de repetições, para se ter uma boa precisão na estimativa do

erro experimental. Por exemplo, na avaliação de dois sistemas de produção de batata-doce são necessárias, no mínimo, dez repetições. Quando, porém, o experimento apresenta muitos tratamentos, como por exemplo, avaliação de 100 progênies de meios irmãos de milho em relação à produção de grãos, poucas repetições são usadas, em torno de duas a três repetições.

c) **Natureza dos tratamentos** – Se, pela natureza dos tratamentos em estudo, espera-se que haja poucas diferenças entre eles, o número de repetições deverá ser o maior possível para que se possa medi-las com maior precisão. Caso contrário, o número de repetições poderá ser diminuído dentro de certos limites prudentes.

d) **Disponibilidade do material experimental** – Quando se dispõe de grande quantidade do material experimental, tanto animal quanto vegetal, pode-se aumentar o número de repetições do experimento, pois, com certeza, aumentará a precisão experimental. Por outro lado, quando há uma limitação do material experimental em função de uma série de fatores, tais como: pouca quantidade de sementes e/ou de propágulos vegetativos, poucos animais, limitação de recursos financeiros, etc., logicamente o número de repetições deve ser reduzido.

e) **Disponibilidade de área experimental** – A área das parcelas também limita o número de repetições, pois quando se dispõem de uma grande área experimental pode-se aumentar o número de repetições do experimento, tendo, como consequência, o aumento da precisão experimental. Por outro lado, quando há uma limitação de área experimental, logicamente o número de repetições deve-se ser reduzido. Todavia, isso não deve ser proporcional, pois é preferível sacrificar a área da parcela em favor do número de repetições, dentro de certos limites prudentes.

f) **Espécie a ser estudada** – O pesquisador, no caso de espécies animais de médio e grande portes, terá dificuldade de contar com um grande grupo de animais homogêneos (mesma raça, mesmo sexo, mesmo peso, mesma idade, etc.), o que resultará num menor número de repetições do experimento. Já no caso das espécies animais de pequeno porte, essa dificuldade praticamente não existe, possibilitando ao pesquisador aumentar o número de repetições do experimento para alcançar uma melhor precisão experimental. Quanto às espécies vegetais, as de grande porte, principalmente as árvores frutíferas e florestais, demandam parcelas maiores, o que resultará num menor número de repetições do experimento; enquanto que as de pequeno porte requerem parcelas menores, o que permitirá ao pesquisador aumentar o número de repetições do experimento para melhorar a precisão experimental.

g) **Custo de execução das etapas do experimento** – O número de repetições também é afetado pelo custo de execução das etapas do experimento. Quanto maior o custo das etapas do experimento, menor será, logicamente, o número de repetições.

O número ideal de repetições em um experimento pode ser determinado por meio de ensaios de uniformidade ou por meio de métodos baseados em resultados conseguidos em ensaios anteriores. Tais meios são trabalhosos e nem sempre chegam a resultados satisfatórios.

Uma regra prática para se determinar o número de repetições de um experimento, que tem surtido bons resultados na experimentação agropecuária, é a de que os experimentos devem ter, no mínimo, 20 parcelas. Como o número de parcelas de um experimento (N) depende do número de tratamentos (t) e do número de repetições (r), ou seja, $N = t \times r$, então, dessa forma, conhecendo-se o número de tratamentos chega-se ao número de repetições. Por exemplo, se num experimento têm-se dez tratamentos, deve-se

ter duas repetições para se ter 20 parcelas, que é o número mínimo exigido. Da mesma forma, se o experimento têm dois tratamentos precisam-se de dez repetições para se ter 20 parcelas. Ainda, se o experimento têm cinco tratamentos, para se ter 20 parcelas são necessárias quatro repetições.

Também, uma outra forma bastante prática, que pode ser usada para se determinar o número de repetições de um experimento, é através do número de graus de liberdade do resíduo ou erro experimental da análise de variância, sendo dez graus de liberdade do resíduo o valor mínimo para se ter, de um modo geral, uma boa precisão experimental. Por exemplo, se num experimento inteiramente casualizado têm-se dez tratamentos, deve-se ter duas repetições para se ter, no mínimo, dez graus de liberdade do resíduo, pois o $GL_{\text{Resíduo}} = t(r - 1)$, onde t corresponde ao número de tratamentos e r o número de repetições. Da mesma forma, se o experimento inteiramente casualizado tivesse dois tratamentos seriam necessárias seis repetições para se ter dez graus de liberdade do resíduo. Ainda, se um experimento em blocos casualizados tivesse cinco tratamentos seriam necessárias quatro repetições em vez de três repetições, pois o $GL_{\text{Resíduo}} = (t - 1)(r - 1)$.

De um modo geral, a regra prática baseada no número de parcelas conduz a uma maior precisão experimental do que a regra baseada no número de graus de liberdade do resíduo. Contudo, se o pesquisador atender as duas regras ao mesmo tempo, logicamente aumentará ainda mais a precisão experimental. Por exemplo, se um experimento inteiramente casualizado tivesse dois tratamentos seriam necessárias seis repetições para se ter dez graus de liberdade do resíduo, o que atenderia plenamente a regra baseada no número de graus de liberdade do resíduo. Por outro lado, não atenderia a regra baseada no número de parcelas, pois o experimento só teria 12 parcelas em vez de 20 parcelas, que seria o mínimo exigido. Entretanto, se o número de repetições fosse igual a dez, o experimento teria 20 parcelas e 18 graus de liberdade do resíduo. Nessa situação, o experimento seria muito mais preciso.

1.5.7 Delineamentos experimentais

Existe grande quantidade de delineamentos experimentais apropriados para os mais diversos tipos de experimentos, tendo todos eles como finalidade a redução do erro experimental; destes, os mais utilizados são os delineamentos: **inteiramente casualizado, blocos casualizados e quadrado latino**.

O inteiramente casualizado é o delineamento básico, sendo os outros modificações deste, cada um dos quais tem uma ou mais restrições na distribuição dos tratamentos. Entre os delineamentos mais empregados, o quadrado latino é geralmente, o de maior precisão, sendo o inteiramente casualizado o de menor precisão. Contudo, sob o ponto de vista prático, o delineamento em blocos casualizados é o mais utilizado na experimentação de campo e em outros ambientes heterogêneos, enquanto que o delineamento inteiramente casualizado é o mais utilizado em experimentos conduzidos em laboratório, viveiro, casa-de-vegetação, galpão, estábulo, etc., desde que as condições experimentais sejam homogêneas.

Os principais delineamentos experimentais utilizados na pesquisa agropecuária serão vistos em capítulos separados, posteriormente.

1.5.8 Forma de condução dos experimentos

A execução de um experimento inicia-se com a eleição do terreno, para o caso de espécies vegetais. É fundamental que nesta eleição se tenha presente que o terreno eleito deve ser o reflexo fiel das condições médias da região ao qual se pretende estender as conclusões obtidas do experimento. Já para o caso de espécies animais, a execução do experimento inicia-se com a eleição do ambiente de estudo (campo, galpão, tanque, etc.), que também deve refletir as condições médias da região para a qual se pretende estender as conclusões obtidas do experimento.

Vê-se que, a fim de reduzir o erro experimental nos experimentos, é necessário escolher terrenos e/ou ambientes o mais uniforme possível, pela mesma razão, a execução dos diferentes trabalhos agropecuários devem ser realizados também com a maior uniformidade.

Se ao realizar o plantio, umas parcelas são semeadas a maior profundidade do que as outras, ou se aduba, irriga, amontoa, etc., umas mais que às outras, isto tudo redundará no aumento da variabilidade e do erro experimental. Pelo mesmo motivo deve-se cuidar para que haja uniformidade do tamanho das parcelas.

Para evitar diferenças nos sulcos deve-se uniformizar o trabalho das máquinas e dos homens que serão empregados nas diferentes operações culturais e manter uma estreita vigilância durante o trabalho em toda sua execução.

No caso dos animais, ao se iniciar o experimento, umas parcelas recebem mais água do que outras, ou se coloca mais ração em umas do que em outras, tudo isto também redundará no aumento da variabilidade e do erro experimental.

Também se deve evitar que o mesmo homem seja empregado no trabalho de todas as parcelas de um mesmo tratamento, pois, no que pese as precauções que se tomem, pode haver diferenças notáveis na forma de trabalho das pessoas; neste caso, se não são tomadas às precauções necessárias, o operário que melhor trabalhar colocará em vantagem aquele tratamento em todas as repetições. O recomendável, então, seria permutar os operários entre os tratamentos ao passar de um bloco a outro.

Se por algum motivo há necessidade de suspender os trabalhos para continuar no dia seguinte, deve-se ter o cuidado de não interromper o trabalho até que haja terminado o serviço já iniciado em determinado bloco, caso contrário, isso pode influir aumentando o erro experimental, desde que variem as condições ambientais no momento de continuar a operação.

De modo geral, é importante quando se executam experimentos de adubação, espécies, variedades, inseticidas, fungicidas, bactericidas, antibióticos, herbicidas, vermífugos, vacinas, raças, rações, inibidores, vitaminas, aminoácidos, etc., conhecer a procedência de cada um dos produtos a ser estudado, fórmulas químicas, concentrações e demais características. Em experimentos de competição de variedades e/ou espécies, devem-se determinar previamente a natureza e o poder germinativo da semente. Já em experimentos de comportamento de raças e/ou espécies, devem-se avaliar previamente o estado de saúde dos animais.

Todos os experimentos devem ser semeados na época propícia ao cultivo sem nunca esquecer de incluir os tratamentos testemunhos, que no caso especial de adubação devem ser dois: a adubação normal feita pelo agricultor e o tratamento sem adubo.

Nos experimentos com árvores frutíferas ou florestais, deve-se evitar o emprego de árvores provenientes de sementes, pois, provavelmente, a população haverá de ser mais heterogênea do que quando provém do mesmo tipo de enxerto. Quando isto não é possível, então se deve selecionar no campo as árvores da mesma variedade, idade e vigor, para conduzir o experimento. Ajudará muito a selecionar as árvores o exame da produção de cada árvore antes de se iniciar o experimento. Nos experimentos com culturas perenes deve-se redobrar a atenção para manter a maior uniformidade possível no campo experimental, já que esses experimentos demandam mais tempo e dinheiro que as culturas anuais.

Nos experimentos com árvores, o número de plantas por parcela pode variar de duas a dez, desde que haja regularidade no vigor, idade, produtividade, estado sanitário, etc., das árvores. Em caso contrário, é preciso selecionar as plantas que tenham essa característica, porém isso trará como consequência o fato de as árvores selecionadas ficarem intercaladas com as não selecionadas. Nestas condições já não é possível prosseguir com o conceito de parcela experimental, devendo-se então considerar cada árvore como uma unidade, distribuindo-se os tratamentos ao acaso entre as unidades no campo.

É necessário que o próprio pesquisador colete os dados do experimento e não o capataz ou auxiliar, como muitas vezes ocorre sob pretexto de que são trabalhos de rotina. Ao fazê-lo, o próprio pesquisador terá mais confiança nos dados coletados, ao mesmo tempo em que poderá tomar conhecimento de fatos imprevistos, que bem podem servir para explicar resultados finais inesperados.

O pesquisador deve anotar pessoalmente os dados e observações do experimento em uma caderneta de campo e não em folhas soltas; em forma clara e ordenada que possa ser entendida por qualquer outro pesquisador, para o caso de que tenha de ausentar-se.

Deve-se lembrar o pesquisador que sua tarefa é tirar conclusões que beneficiem a agropecuária e que desta forma fiquem justificados os recursos e tempo empregados.

1.6 Qualidades de um Bom Experimento

As qualidades de um bom experimento são:

a) **Simplicidade de execução** - No planejamento do experimento o pesquisador deve ser bastante claro e objetivo, de modo que qualquer outro pesquisador possa conduzi-lo normalmente no caso de ocorrer algum imprevisto, como por exemplo, se alguns dias após a instalação do experimento o pesquisador teve que se ausentar por motivo superior. Caso contrário, os recursos e o tempo empregados serão inúteis.

b) **Não apresentar erros sistemáticos** - Na instalação do experimento o pesquisador deve evitar erros sistemáticos na demarcação das parcelas, de modo a proporcionar condições de igualdade para todos os tratamentos no experimento. Por exemplo, na cultura do pimentão, se o espaçamento entre fileiras for de 0,80 m, o pesquisador deve iniciar a demarcação das fileiras na parcela a partir de 0,40 m, que corresponde à metade do espaçamento utilizado, de modo que fique faltando à mesma distância no final da parcela. Da mesma forma, se o espaçamento, na mesma cultura, for de 0,40 m entre as plantas dentro da fileira, o pesquisador deve iniciar a demarcação das plantas dentro das fileiras a partir de 0,20 m, que corresponde a metade do espaçamento utilizado, de modo que fique faltando a mesma distância no final da fileira.

c) **Ter alta precisão** - Quanto maior a precisão do experimento, menor será o erro experimental e as conclusões obtidas terão maior credibilidade. É através do coeficiente de variação que o pesquisador estima a precisão experimental, ou seja, quanto menor for o coeficiente de variação maior será a precisão experimental.

d) **Ser exato** - Quanto mais próximos os dados experimentais estiverem dos valores verdadeiros, ou seja, se a média estimada dos tratamentos estiver bem próxima da média verdadeira, o experimento será mais exato. É através do erro padrão da média que o pesquisador avalia a exatidão do seu experimento, ou seja, quanto menor for o erro padrão da média, mais precisa será a estimativa da média e o experimento será mais exato.

e) **Fornecer amplos resultados** - O experimento deve fornecer amplos resultados, de modo que as conclusões tiradas beneficiem a agropecuária e justifiquem os recursos e tempo empregados. Por isso, ele deve ser bem planejado e executado, para gerar dados experimentais precisos que possam ser analisados e interpretados adequadamente, visando o alcance dos objetivos propostos. Se o experimento foi mal planejado, geralmente não haverá mais solução para a análise estatística e os resultados obtidos não permitem alcançar os objetivos propostos, com perda de tempo, de recursos e prejuízos para todos. Da mesma forma, se o experimento não foi bem conduzido não produzirá dados experimentais confiáveis e os prejuízos serão os mesmos.

1.7 Qualidades de um Bom Pesquisador

Um bom pesquisador deve apresentar, entre outras, as seguintes características:

a) Ser capaz de estabelecer prioridades, traçar metas e gerenciar os recursos humanos, físicos e econômicos, de forma a atingir os objetivos da pesquisa;

b) Ter conhecimento do material que irá trabalhar (planta, animal, etc.) e da região onde irá desenvolver a pesquisa, pois, caso contrário, não atingirá plenamente os objetivos, nem tão pouco tirará conclusões que beneficiem a agropecuária;

c) Ter bons conhecimentos de estatística experimental, pois só assim ele poderá planejar e conduzir bem seus experimentos com a maior precisão possível, analisar os dados experimentais adequadamente e interpretar os seus resultados com coerência;

d) Ler periodicamente para se manter atualizado, pois não é possível realizar pesquisa que realmente contribua para o desenvolvimento da agropecuária sem informação, além de evitar perda de tempo e de recursos com pesquisas cujos problemas que já foram solucionados por outros pesquisadores;

e) Ser futurista, no sentido de se antecipar na solução do problema, objeto da pesquisa, antes que ocorra a sua difusão em nível de propriedade rural, sob pena do tema da pesquisa não ter mais sentido, uma vez que o problema já pode ter sido resolvido pelos produtores, com perda de tempo e de recursos para a sociedade;

f) Ser questionador, no sentido de nunca se acomodar, acreditando sempre que é possível fazer algo de novo, mantendo a capacidade criativa em pleno funcionamento;

g) Ter dedicação e persistência, mesmo encontrando alguns problemas desanimadores;

h) Ter paciência, pois a pressa poderá conduzir a resultados indesejados;

i) Ser observador, pois muitas descobertas de impacto para a agropecuária resultaram do senso de observação de muitos pesquisadores, além de servir para explicar resultados inesperados na pesquisa;

j) Fazer uso do raciocínio e do bom senso, pois nem sempre o pesquisador encontra as condições ótimas para conduzir suas pesquisas;

l) Ser honesto, antes de tudo, pois a sociedade precisa do seu trabalho digno para se desenvolver bem.

1.8 Princípios Básicos da Experimentação

A pesquisa científica está constantemente se utilizando de experimentos para provar suas hipóteses. É claro que os experimentos variam de uma pesquisa para outra, porém, todos eles são regidos por alguns princípios básicos, dos quais depende a maior ou menor validade das conclusões obtidas. Tais princípios são: **repetição, casualização e controle local**.

1.8.1 Repetição

A repetição corresponde ao número de vezes que o tratamento aparece no experimento. Quanto maior o número de repetições de um experimento, menor probabilidade de erro ele terá. Normalmente, em quase todos os experimentos, usa-se de quatro a seis repetições. Contudo, o número de repetições de um experimento depende de uma série de fatores, os quais já foram vistos anteriormente (ver item **1.5.6 Número de repetições dos experimentos**).

O princípio da repetição tem por finalidade:

- a) Permitir a estimativa do erro experimental;
- b) Aumentar a precisão das estimativas;
- c) Aumentar o poder dos testes estatísticos.

Ao comparar-se, por exemplo, duas variedades de milho (**A** e **B**), semeadas em duas parcelas dimensionalmente iguais, o simples fato de **A** produzir mais do que **B** não é suficiente para concluir-se que **A** é mais produtiva. Isso poderá ter ocorrido por simples acaso ou por fatores acidentais.

Porém, se forem semeadas várias parcelas com as variedades **A** e **B**, mesmo assim verifica-se que a variedade **A** apresenta maior produtividade, já é um indício de que ela seja mais produtiva.

Também, ao comparar-se, por exemplo, duas raças de gado bovino de leite (**X** e **Y**), colocadas em duas parcelas (bacias) com as mesmas dimensões, o simples fato de **X** produzir mais leite do que **Y** não é suficiente para concluir-se que **X** é mais produtiva. Isso poderá ter ocorrido por simples acaso, ou seja, a vaca que representou a raça **X** se encontrava bem acima da média da raça em termos de produção de leite e a vaca que representou a raça **Y** se encontrava no limite inferior da produção de leite da raça, visto que é normal haver diferença na constituição genética dos animais de uma mesma raça. Como nenhuma das vacas estava representando fielmente o potencial produtivo de suas raças, a conclusão não merece credibilidade.

Porém, se forem colocadas várias parcelas com as raças **X** e **Y** e a raça **Y** apresenta-se com a maior produção de leite, já é um indício de que ela seja mais produtiva.

1.8.2 Casualização

A casualização consiste em se distribuir aleatoriamente os tratamentos nas parcelas, de modo que cada um tenha a mesma chance de ocupar qualquer parcela na área experimental. A casualização assegura a validade da estimativa do erro experimental, pois permite uma distribuição independente do erro experimental.

Embora considerando diversas parcelas de **A** e outras de **B** do exemplo anterior, poderá ocorrer que **A** foi mais produtiva por ter sido favorecida por algum fator qualquer, como, por exemplo, todas as suas parcelas estarem agrupadas numa parte mais fértil do solo.

Para evitar que uma das variedades, no caso em consideração, seja favorecida sistematicamente por qualquer fator externo, procede-se à casualização das parcelas.

Se, mesmo assim, a variedade **A** é mais produtiva, é mais um indicativo de que ela seja mais produtiva.

Também, mesmo considerando diversas parcelas de **X** e outras de **Y** do exemplo com as raças de gado bovino de leite, poderá ocorrer que **Y** foi mais produtiva por ter sido favorecida por algum fator qualquer, como, por exemplo, todas as suas parcelas estarem agrupadas num ambiente onde a temperatura foi mais favorável.

Para evitar que uma das raças, no caso em consideração, seja favorecida sistematicamente por qualquer fator externo, procede-se à casualização das parcelas.

Se, mesmo assim, a raça **Y** apresentou a maior produção de leite, é mais um indicativo de que ela seja mais produtiva.

1.8.3 Controle Local

O controle local é usado quando as parcelas, antes de receberem os tratamentos, apresentam diferenças entre si. Dessa maneira, deve-se fazer o agrupamento das parcelas homogêneas em **blocos**, que têm por finalidade diminuir o erro experimental. Os critérios para o agrupamento das parcelas homogêneas em blocos podem ser: idade, sexo, produção, peso, textura do solo, declividade, localização geográfica, etc..

Algumas observações se fazem necessárias:

a) Quando o ambiente é reconhecidamente homogêneo, dispensam-se os blocos; entretanto, se houver dúvidas quanto à homogeneidade, recomenda-se a sua utilização.

b) Em certos tipos de experimentos, os blocos não contêm todos os tratamentos; são os chamados blocos incompletos.

c) Nos blocos, cada tratamento só aparece uma única vez; em certos casos, os blocos são constituídos de mais de uma repetição dos tratamentos.

d) A variação dentro dos blocos deve ser a menor possível, ao passo que a variação entre os blocos pode ser grande ou pequena, isto não importa.

e) Em experimentos de alimentação animal, principalmente de vacas leiteiras, cada animal representa um conjunto de parcelas (bloco); são os experimentos alternativos, onde se toma cada animal como um bloco, sobre o qual se consideram várias parcelas, que são períodos sucessivos de produção de leite, de ovos, etc., cada um deles com algumas semanas de duração, tendo-se o cuidado de desprezar a produção do animal na primeira semana que se segue à mudança de tratamento, para eliminar o efeito residual de um tratamento sobre o tratamento subsequente.

Ainda que as variedades **A** e **B** de milho, do exemplo citado anteriormente, tivessem sido semeadas em várias parcelas, todas elas casualizadas na área experimental, poderá acontecer que **A** foi mais produtiva por ter sido favorecida por algum fator

qualquer, como por exemplo, a maioria de suas parcelas ficou, por acaso, numa parte mais fértil do solo.

Para evitar que isso aconteça, procede-se o controle local.

Se ainda assim, a variedade **A** foi a mais produtiva, é de se esperar que essa conclusão seja realmente válida.

Também, mesmo que as raças **X** e **Y** de gado bovino de leite, do exemplo citado anteriormente, tivessem sido colocadas em várias parcelas, todas elas casualizadas na área experimental, poderá acontecer que **Y** apresentou a maior produção de leite por ter sido favorecida por algum fator qualquer, como por exemplo, a maioria de suas parcelas ficou, por acaso, num ambiente onde a temperatura foi mais favorável.

Para evitar que isso aconteça, aplica-se o princípio do controle local.

Se ainda assim, a raça **Y** apresentou a maior produção de leite, é de se esperar que essa conclusão seja realmente válida.

1.9 Exercícios

a) Pretende-se avaliar o comportamento de seis espécies de leguminosas no Município de Maceió-AL, com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo da região de tabuleiro, através da adubação verde, e você foi o escolhido para realizar essa pesquisa. Mostre, de maneira esquemática, como você instalaria o experimento no campo, se o mesmo fosse do tipo aleatório. E como ficaria se fosse do tipo sistêmico. Qual dos tipos de experimentos proporcionaria uma menor variação acidental? Justifique.

b) Dê exemplo de um ensaio e identifique os três tipos de variações.

c) Por que no procedimento de amostragem de parcelas deve-se separar a área amostrada do restante da parcela, no caso dos vegetais?

d) Mostre, de maneira esquemática, como a orientação das parcelas e o efeito bordadura são fontes de erro experimental. O que deve ser feito para minimizar estas fontes de erro experimental?

e) Cite cinco tipos de experimentos onde o pesquisador não deve de modo algum esquecer do efeito bordadura no seu planejamento. Mostre, de maneira esquemática, o efeito bordadura em cada um dos tipos de experimentos citados.

f) Por que, nos experimentos de competição de variedades, as parcelas experimentais devem ter, no mínimo, três fileiras?

g) Para que servem os métodos de correção de falhas? Dê um exemplo fictício, aplique cada um dos métodos de correção de falhas, com exceção da análise de covariância, compare os resultados obtidos e tire as devidas conclusões.

h) Mostre, de maneira esquemática, a importância de cada um dos princípios básicos da experimentação.

