

Documentos IAC, Campinas, n. 100, 2011

METODOLOGIA CIENTÍFICA

Armando **CONAGIN**
Luis Alberto **AMBRÓSIO**

Instituto Agronômico (IAC)
Campinas (SP)



Governo do Estado de São Paulo
Secretaria de Agricultura e Abastecimento
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Instituto Agrônômico

Governador do Estado de São Paulo
Geraldo Alckmin

Secretária de Agricultura e Abastecimento
Mônika Bergamaschi

Secretário-Adjunto
Alberto José Macedo Filho

Chefe de Gabinete
Maria Christina Martha Godoy

Coordenador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Orlando Melo de Castro

Diretor Técnico de Departamento do Instituto Agrônômico
Hamilton Humberto Ramos

METODOLOGIA CIENTÍFICA

Armando CONAGIN
Luis Alberto AMBRÓSIO

Ficha elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

C743m Conagin, Armando
Metodologia científica / Armando Conagin, Luís Alberto
Ambrósio / Campinas: Instituto Agronômico, 2011.
44p. (Documentos IAC, 100)

ISSN: 1809-7693

Versão on-line

1. Metodologia científica. I. Ambrósio, Luís Alberto. II.
Título. III. Série.

CDD. 001.42

A eventual citação de produtos e marcas comerciais, não expressa, necessariamente, recomendações do seu uso pela Instituição. É permitida a reprodução, desde que citada a fonte. A reprodução total depende de anuência expressa do Instituto Agronômico.

Comitê Editorial do IAC

Rafael Vasconcelos Ribeiro - Editor-chefe
Dirceu de Matos Júnior - Editor-assistente

Equipe Participante desta Publicação

Revisão de vernáculo: Maria Angela Manzi da Silva
Coordenação da Editoração: Marilza Ribeiro Alves de Souza
Editoração eletrônica e Capa: Cíntia Rafaela Amaro

Instituto Agronômico

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento
Av. Barão de Itapura, 1.481
13020-902 - Campinas (SP) BRASIL
Fone: (19) 2137-0600 Fax: (19) 2137-0706
www.iac.sp.gov.br

PREFÁCIO

O sucesso do pesquisador na solução dos problemas pesquisados depende de sua formação, de suas qualidades pessoais, do estudo constante, do treinamento recebido e da sua conscientização como profissional da pesquisa científica.

O presente trabalho é decorrente de um Curso de Metodologia Científica, Estatística e Confecção de Artigos Científicos, ministrado na Unidade Estadual de Pesquisas do Maranhão, em 1990, ministrado, respectivamente, por Armando Conagin, Toshio Igue e Celi Teixeira Feitosa, pesquisadores científicos do Instituto Agrônômico de Campinas. Nesta versão, foram acrescentados exemplos de execução e análise de experimentos com a colaboração do pesquisador Luis Alberto Ambrósio.

Na opinião do autor, a abordagem atual complementa aspectos conceituais, operacionais e pragmáticos ministrado em Seminário, no IAC, em 1970, no qual foram discutidos os temas - Pesquisa e Formação do Pesquisador por Antonio Carlos Pimentel Wutke; Pesquisa Bibliográfica por Lourival Carmo Monaco; Pesquisa propriamente dita por Francisco da Costa Verdade; Execução e Interpretação dos Resultados da Pesquisa por Geraldo Benedito Barreto; Generalidade sobre a pesquisa, Citação Bibliográfica por Luiza Suzana Ernestina Hermann; Normas para Apresentação de Manuscritos de Trabalhos para Publicação em Bragantia por Angelo Paes de Camargo e Administração da Pesquisa por Francisco da Costa Verdade.

A parte referente à Estatística e sua importância na Pesquisa constarão de um segundo trabalho a ser publicado.

Campinas, 10 de janeiro de 2011.

SUMÁRIO

	Página
PREFÁCIO	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. TRIBUTO A UM PIONEIRO	2
3. ASPECTOS BÁSICOS	3
4. PESQUISA BÁSICA E PESQUISA AGROPECUÁRIA	3
5. PESQUISA INDIVIDUAL E PESQUISA MULTIDISCIPLINAR	5
6. A ESCOLHA E ENUNCIÇÃO DE UM PROBLEMA	6
6.1 Problemas nas ciências puras e aplicadas	6
6.2 Problemas nas áreas das ciências aplicadas	6
7. MÉTODOS DE PESQUISA	10
7.1 Método científico	10
7.2 Exemplo de processo indutivo	12
7.3 Método empírico	14
7.4 Combinação do método científico com empírico	15
7.5 Método experimental	15
7.6 Método estatístico	15
7.7 Método de caso	16
7.8 Método de amostragem	16
7.9 Método histórico	17
7.10 Método sintético	17
8. ETAPAS DO MÉTODO CIENTÍFICO	18
9. OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO	20
10. NECESSIDADE DA EXECUÇÃO DE EXPERIMENTOS	22
11. PRECAUÇÕES NA EXECUÇÃO DE EXPERIMENTOS	23
12. USO DE EQUIPAMENTOS NA PESQUISA	25
13. MODELOS, MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA	28
14. INCENTIVOS E RECOMPENSA PARA O PESQUISADOR	29
15. EXEMPLOS DA EXECUÇÃO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS	30
REFERÊNCIAS	44

METODOLOGIA CIENTÍFICA

Armando CONAGIN ⁽¹⁾
Luis Alberto AMBRÓSIO ⁽²⁾

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das Nações está intimamente conectado com a escolaridade de seus povos em seus vários níveis, com a saúde, com sua infraestrutura e com sua expansão agrícola, comercial e industrial, decorrentes da adoção em grande escala das descobertas proporcionadas pela pesquisa tecnológica e científica, conseguidas nos vários campos da ciência.

O objetivo presente é procurar evidenciar a finalidade da pesquisa. A pesquisa nada mais é que um inquérito feito na natureza com objetivos definidos de esclarecer os fenômenos envolvidos em um conjunto de circunstâncias em que se efetuam experimentos controlados buscando avaliar as causas determinantes dos fenômenos pesquisados através da atuação de fatores, supostamente implicados na sua produção.

A pesquisa inquiridora feita através dos experimentos está intimamente associada à adoção do método científico a ser utilizado. Segundo Webster, trata-se de uma investigação ou exame, crítico e exaustivo, efetuado através da experimentação, tendo por finalidade, a descoberta de fatos novos, com sua correta interpretação. Efetuam-se também operações de comprovação das conclusões provenientes de pesquisas anteriores, estabelecidas em leis ou princípios instituídos, visando alargar o âmbito dos conhecimentos obtidos.

A pesquisa é efetuada com a aplicação do Método Científico. Neste a utilização de métodos estatísticos é efetuado em grande escala.

A Estatística como Ciência é um ramo da Matemática que proporciona um embasamento analítico de natureza probabilística utilizada na tomada de decisões, e trabalha com:

- a) Coleta e análise dos dados.
- b) Planejamento dos experimentos e censos e em processos de amostragem.
- c) Mede a magnitude da variação seja para a experimentação seja para a amostragem.
- d) Estima os parâmetros da população pesquisada e providencia as várias medidas da exatidão e da precisão das estimativas obtidas.
- e) É utilizada para pôr em prova as hipóteses envolvidas na população pesquisada.
- f) Estuda as relações entre duas ou mais variáveis.

Vai-se, assim, adentrar mais profundamente tópicos relacionados com a pesquisa, com a metodologia utilizada, com o planejamento e a execução de experimentos e com a análise de dados experimentais, visando comprovar ou não as hipóteses formuladas.

⁽¹⁾ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Científico VI, Ex-Diretor aposentado do Instituto Agronômico de Campinas. Curso de Especialização em Estatística pela Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo e pelo Instituto de Estatística da North Carolina University, USA.

⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Científico VI, Dr. Economia Aplicada, pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

2. TRIBUTO A UM PIONEIRO

Galileu Galilei (1564-1642), professor nas Universidades de Pisa e de Pádua, era um matemático italiano que, pela primeira vez, utilizou o método experimental para a solução de seus problemas.

De grande habilidade inventiva, descobriu o princípio da queda dos corpos, provando por experimentos, que dois corpos de pesos diferentes, que largados ao mesmo tempo de certa altura (Torre inclinada de Pisa), que os dois corpos atingiam o solo ao mesmo tempo.

Essa constatação contrariava as explicações de Aristóteles, verdade aceita por mais de dois mil anos e consagrada pela igreja romana. Em outra pesquisa, provou, utilizando um plano inclinado, que uma esfera largada em dado instante, que a mesma adquiria uma aceleração tal que em intervalos de tempo, um, dois e três, a mesma percorria no instante um a distância d , no instante dois a distância $4d$ no instante três, $9d$, de acordo com a lei válida hoje em que $e = \frac{1}{2} g t^2$. Inventor, criou o telescópio (aumento de 30 vezes) e com ele verificou a existência de montes e vales na lua. Descobriu quatro satélites em Júpiter e, por outras observações nos planetas, concluiu que a Terra era também um planeta como os demais, todos girando ao redor do sol (Figura 1), concordando plenamente com o sistema heliocêntrico de Copérnico, e ainda, com as observações de Kepler. Por esse motivo, foi condenado pela Inquisição e obrigado a abjurar dos seus ensinamentos; porém, quando saiu da sala onde foi julgado, murmurou em voz baixa a frase “*eppur si muove*”.

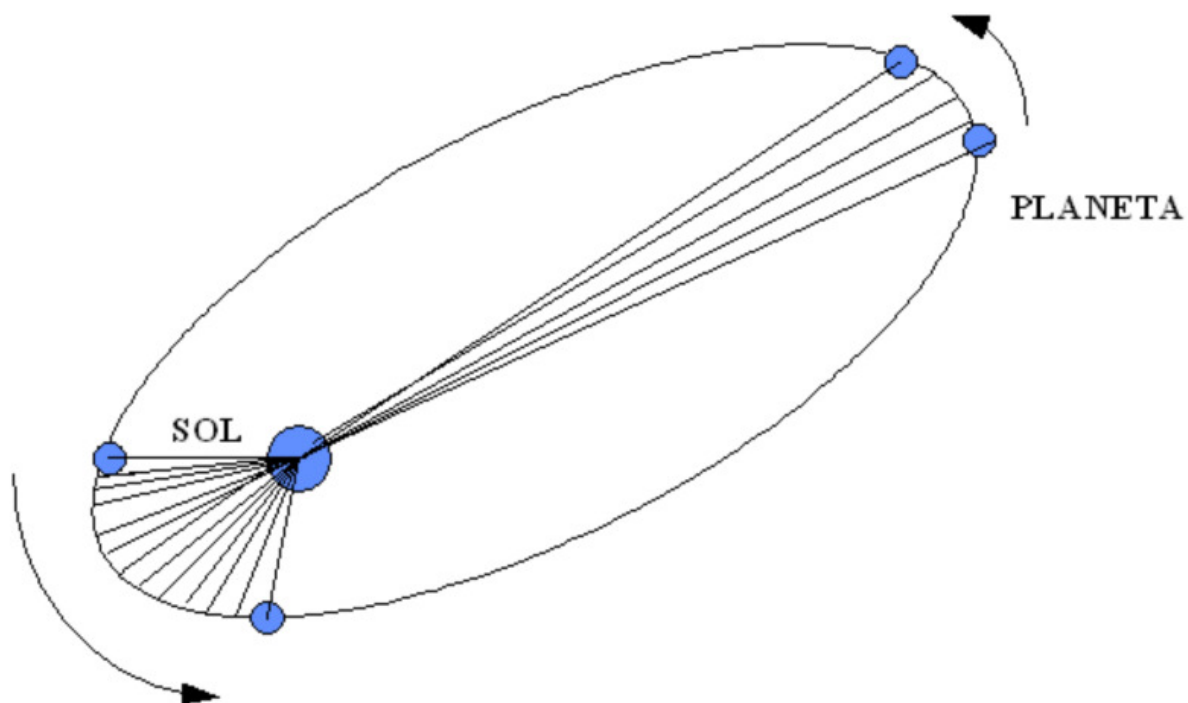


Figura 1. Representação pictórica da 2.^a lei de Kepler, que evidencia a maior velocidade dos planetas quanto estão mais perto do Sol.

Galileu publicou livros sobre astronomia e quase no fim da vida mandou editar na Holanda, longe da Itália, e da Inquisição o livro “Leis do Movimento”, um resumo dos princípios fundamentais da mecânica.

Galileu pode, por isso, ser considerado o pai do “método experimental”.

3. ASPECTOS BÁSICOS

Ciência é um ramo do estudo que lida com a observação e a classificação dos fatos. O cientista deve, então, ser capaz de observar um evento ou um grupo de eventos produzidos para por em prova a hipótese estabelecida segundo um plano preestabelecido ou delineamento experimental. O experimento é a substância do método experimental.

Alguns aspectos básicos a ser considerados são:

Definição de ciência - Várias definições existem. Adotaremos a seguinte: “Ciência é a aplicação do método científico a problemas solucionáveis”.

Objetivo - O objetivo da ciência é tornar possível a melhor compreensão do fenômeno que está sendo pesquisado, nisso estando incluindo a descoberta ou elucidação de princípios gerais, leis ou teorias.

Ciência pura - A pesquisa realizada com o fim de resolver problemas por serem problemas é considerada pesquisa pura e a ciência ou os conhecimentos dela provenientes fazem parte da ciência pura.

Ciência Aplicada - Enquanto a ciência pura procura resolver os problemas sem levar em consideração o valor da aplicação dos princípios descobertos ou mesmo sem se importar que esses princípios possam ou não ter aplicação, a **ciência aplicada** se preocupa com a solução de problemas de natureza prática (SALMON e HANSON, 1964).

É evidente que ambas as ciências são igualmente importantes. Muitos problemas práticos podem ser resolvidos, se certos princípios que ajudam a esclarecer os fenômenos envolvidos, já são conhecidos. A questão de saber qual das duas é a predominante e qual a que deve ser mais amparada é irrelevante.

Os Fundos de Pesquisa, os Convênios e os recursos orçamentários devem ser especificamente destinados para a ciência básica, para a ciência aplicada e também para as pesquisas em desenvolvimento.

Normalmente, há um problema de largo espectro para ser resolvido e há necessidade de enfrentá-lo. O procedimento mais racional é fracionar o problema em partes, em segmentos menores, sem considerar sua natureza básica ou aplicada e sim de acordo com as informações específicas necessárias à sua completa solução (SALMON e HANSON, 1964).

4. PESQUISA BÁSICA E PESQUISA AGROPECUÁRIA

Crocker (1938), citado por SALMON e HANSON (1964), expressa a opinião que “o melhor progresso na pesquisa com plantas e animais exige que se esqueça a distinção entre pesquisa pura e pesquisa aplicada e que prossigam os estudos onde quer que seja possível aumentar-se o conhecimento sobre o campo pesquisado”.

Cullinan (1954), citado por SALMON e HANSON (1964), atribui o rápido progresso na horticultura à “ligação estreita entre a pesquisa hortícola e a prática”. A experiência tem mostrado que o impacto dos problemas do dia a dia é uma das maiores forças para estimular o aparecimento de novas ideias na pesquisa básica.

Um engano muito comum é o de pensar que a pesquisa básica deva ser limitada às pesquisas de laboratório ou de casas de vegetação nas quais se utilizam equipamentos complexos e cujos resultados são expressos em fórmulas complexas - químicas ou matemáticas.

Experimentos de campo com as culturas, ou experimentos de nutrição de bovinos ou aves, por exemplo, são considerados como experimentos de pesquisa aplicada.

Na verdade, muitas vezes, os dados provenientes desses experimentos, mesmo aqueles provenientes de observações de natureza geral, são usados extensivamente na formulação de generalizações de grande valor. Webber (1943), segundo SALMON e HANSON (1964), enfatizou o fato de que “nenhum experimento feito de forma cuidadosa foi utilizado para determinar, com precisão, a resistência das diferentes espécies de *citrus* ao frio (geada), mas que numerosas observações efetuadas em diferentes partes do mundo sobre os danos da geada resultaram em uma avaliação razoável do grau de resistência à geada e ao frio das diferentes espécies de *citrus*”.

Outra falha muito comum nos argumentos para mais pesquisa básica é a admissão de que a descoberta de um princípio importante assegura, automaticamente, o seu uso prático. Na verdade, na maioria dos casos, grande quantidade de pesquisa adicional, aplicada, é, normalmente, necessária.

A descoberta do valor do milho híbrido, inicialmente, não foi de utilidade para os agricultores americanos, até que se encontrou uma forma prática de produzir sementes híbridas em grande escala, e, também híbridos superiores bem adaptados às condições locais. A produção de novos híbridos de milho continua de importância até hoje.

As implicações práticas das Leis de Mendel continuam sendo utilizadas em todas as áreas de melhoramento dos seres vivos.

Nestes dois casos muito mais tempo e energia têm sido gastos no desenvolvimento de aplicações práticas do que no desenvolvimento da teoria.

Níveis de pesquisa - Em vez de tentar classificar a pesquisa em categorias dependentes de sua possível utilização imediata, será tentado descrever as classes de acordo com as dificuldades de diferentes ordens.

No caso da pesquisa agrícola, em nível mais simples de dificuldades, segundo SALMON e HANSON (1964), seriam enquadradas as pesquisas de cultivares, fertilizantes, densidade e data de plantio, comparação de vários métodos de cultivo, preparo do solo, alimentação do gado, práticas de manejo e outras designadas, primariamente, para explorar princípios conhecidos e obter respostas aos problemas mais imediatos dos agricultores. Elas incluiriam aquilo que é usualmente conhecido como pesquisas de natureza prática ou pesquisa aplicada (SALMON e HANSON, 1964).

Em um segundo nível, um pouco mais profundo na complexidade, seriam as observações e experimentos planejados com a finalidade de avaliar até que grau determinadas práticas são melhores do que outras. As causas, as razões de ser, poderão estar relacionadas ao clima, precipitação pluvial, tipo de solo, ataque de insetos e doenças. Muitas vezes, mas não sempre, ambos os tipos de informação podem ser obtidos dos mesmos experimentos. Esse processo é o que, na verdade, está sendo feito por muitas unidades experimentais e instituições de pesquisa.

Muitas vezes ocorre que determinadas pesquisas são de natureza básica, e essa pesquisa básica pode, usualmente, ser efetuada conjuntamente e também como parte dos mesmos experimentos executados para proporcionar respostas a problemas práticos.

No terceiro nível, estariam as pesquisas planejadas para determinar as razões fisiológicas ou químicas para a explicação de vários fenômenos, tais como a resistência a insetos e pragas; a herança e o mecanismo da resistência a pestes, doenças e azares climáticos, e sua influência sobre as plantas e os animais; a relação dos danos provenientes de pestes e sua relação com o meio, a partição em componentes mais simples relacionados com danos provenientes da seca, a resistência ao frio e a outros fatores, são exemplos; as inter-relações de antibióticos, hormônios, aminoácidos e a ação dos elementos menores e sua importância na nutrição do gado constituem outros exemplos.

Uma grande concentração de esforços de pesquisa nessas áreas está sendo realizada pelas instituições de pesquisa da Agricultura e da Pecuária. Tais pesquisas são relativamente caras e difíceis, sempre limitadas e, às vezes, não executadas por falta de recursos e de pessoal suficientemente treinado.

Em outro conjunto, ainda mais profundo e de maior complexidade, estão as pesquisas designadas a proporcionar melhor conhecimento da fotossíntese, natureza do gene, relação da configuração molecular com a toxicidade dos inseticidas, problemas de engenharia genética, problemas dependentes da configuração das moléculas ou porções de moléculas e suas interações. Tais estudos devem ser deixados às Instituições que dispõem de facilidades, equipamentos e pessoal altamente especializado.

Na última categoria devem ser incluídas aquelas pesquisas que não são dirigidas e que não há restrições de qualquer natureza e algumas de suas fases estão relacionadas com a Agricultura. Elas devem ser entregues a pessoas altamente dotadas, isto é, pesquisadores de altíssimo nível, com sólidos conhecimentos básicos e com treinamento em problemas afins.

Exemplos deste tipo de pesquisa são: procura, identificação e síntese do pigmento ou pigmentos responsáveis pelo fotoperiodismo em plantas; pesquisas genéticas e bioquímicas das complexas inter-relações do DNA (ácido desoxirribonucleico) e RNA (ácido ribonucleico) com a síntese de proteínas com a resistência a doenças e pragas, etc.

Atualmente, grande quantidade de pesquisas vem sendo desenvolvida em todos os níveis nos Estados Unidos, Alemanha, Canadá, Austrália, França, Japão, Inglaterra e outros países que podem financiá-las e, se são chamadas pesquisas básicas ou aplicadas, o fato é de menor importância.

Importante para qualquer país é que o nível da pesquisa a ser executada seja apropriado à solução dos problemas pesquisados.

5. PESQUISA INDIVIDUAL E PESQUISA MULTIDISCIPLINAR

Em uma instituição de pesquisa há certos tipos de problemas que são mais bem resolvidos individualmente por pesquisadores bem qualificados.

Em uma instituição de pesquisa agrônômica, os ensaios sobre as diferentes técnicas culturais de uma determinada cultura podem ser bem planejados e desenvolvidos por pesquisadores especialistas, com a colaboração de colegas de outras unidades experimentais.

Entretanto, os trabalhos de melhoramento, com vistas ao aumento de produtividade e resistência a pragas ou moléstias importantes, só podem ser bem equacionados, se com o melhorista, também houver colaboração de especialistas da área de fitopatologia, entomologia, virologia, nematologia, etc., conforme a natureza e a gravidade do problema. Trabalhos de melhoramento, com vistas ao aumento da produtividade e, simultaneamente, ao melhoramento dos teores de proteína, óleo, aminoácidos, etc., só podem ser levados a bom termo se as equipes multidisciplinares compostas de melhoristas, fisiologistas, químicos e outros trabalharem em conjunto com os especialistas situados nas unidades experimentais. Essa premissa também é verdadeira, no caso de melhoramento de plantas fibrosas, em que, além da produção da fibra, é importante a melhoria de certas propriedades como comprimento da fibra, finura, resistência, etc.

Em pesquisas de nutrição de plantas, devem ser associados especialistas da cultura, fisiologistas, especialistas de solos, especialistas de fertilidade, etc.

Só um trabalho de espectro amplo, de natureza cooperativa, pode levar à solução eficiente, pois, na maioria dos casos, as conquistas mais imediatas já foram conseguidas, e os aumentos em produtividade ou melhoria da qualidade do produto nas culturas já trabalhadas na Instituição, são bem mais difíceis de serem atingidas, diante da lei dos retornos, gradualmente decrescente, a serem alcançadas nas pesquisas posteriores.

Em 1950, na Universidade de Carolina do Norte, nos Estados Unidos, devido à importância do amendoim no Estado, foram iniciadas pesquisas com vistas à obtenção de mutações favoráveis ao aumento da produtividade da cultura, riqueza em óleo, proteína, etc. A pesquisa objetivava a obtenção de certas mutações como maior florescimento (correlacionado com a produtividade), maior número de internódios e internódios mais curtos (correlacionado com a emissão de ginóforos e facilidade de fixação dos frutos), folhas maiores (maior fotossíntese), maior produtividade, aumento de proteínas e de óleo, etc. Para esse fim, as cultivares foram irradiadas em “Oak Ridge” e os materiais estudados na Estação Experimental de Louisville, perto de Raleigh, NC. Faziam parte do projeto professores das áreas de Agronomia, Genética, Botânica, Fisiologia, Solos e Fertilidade. Algumas mutações de valor, dentre centenas, foram isoladas, em alguns anos de trabalho cooperativo.

6. A ESCOLHA E ENUNCIÇÃO DE UM PROBLEMA

Muitos cientistas e pesquisadores devem sua grandeza, não à sua destreza em resolver problemas, mas à visão em selecionar os problemas por resolver (BRIGHT WILSON, 1952).

6.1 Problemas nas ciências puras e aplicadas

Os seguintes tópicos devem ser levados em consideração.

- a) Como justificar a necessidade de resolução do problema a ser pesquisado?
- b) Por que uma escolha pode ser melhor do que outra?
- c) Deve haver interesse genuíno pela solução do problema?
- d) Pode a escolha do problema a pesquisar ser feita por Chefes e Diretores?
- e) Por que deve o pesquisador apresentar características próprias, como persistência, tenacidade, correção, dedicação, capacidade e honestidade?
- f) Quando deve o pesquisador abandonar o problema pesquisado?

Todos esses tópicos são da mais alta importância e devem ser firmemente considerados, ao se pretender executar pesquisas de interesses institucional e nacional.

Resumindo, pode-se dizer que uma condição importante para a solução de um problema é: deve interessar o investigador, fortemente. Sem interesse, os objetivos se perdem. O pesquisador desinteressado tem pequena probabilidade de elaborar novas ideias. A pesquisa científica, não sendo um processo rotineiro, requer pensamento original e criativo e só um cérebro constantemente preocupado com a solução do problema terá maiores condições de buscar profundamente a solução correta.

Muitas vezes problemas que foram abandonados, tornam-se exequíveis de resolução, pela aquisição de novos equipamentos ou equipamentos mais sofisticados, de maior poder resolutivo, não existentes no passado.

Também é quase certo que a exploração de novas áreas da ciência pura leve à defrontação de problemas novos que precisam de solução.

6.2 Problemas nas áreas das ciências aplicadas

A Definição do problema - Uma definição incompleta ou mal feita do problema leva ao desperdício de tempo e diminui a capacidade de executar um bom trabalho. Devido à escassez de pessoal e dos recursos

disponíveis, situação quase que permanente nas instituições de pesquisa, esse fato deve ser evitado quando se deseja alta qualidade nos trabalhos de uma instituição.

Caracterizadas a importância e a oportunidade da solução do problema, frequentemente, uma parcela do tempo do pesquisador dedicada ao exame e reexame da questão, por vários ângulos, com a avaliação das informações relevantes, provenientes de outras pesquisas do conhecimento disponíveis na literatura, permite a redefinição ou definição restrita aos limites adequados, que abre o caminho correto para a solução daquele problema.

Alocação dos problemas - A alocação mais frequente e natural é aquela efetuada pelos pesquisadores, que conhecem em maior profundidade os problemas de sua área e a forma de resolvê-los.

Casos de necessidade de escolha pelas autoridades superiores existem, excepcionalmente, quando surgem problemas graves, pelo menos na fixação das prioridades e na escolha da lista dos problemas a serem atacados.

A conclusão dos analistas é que a escolha mais eficiente é aquela que provem dos próprios pesquisadores das áreas relacionadas com o problema, sendo desejável que haja interesse, o estímulo e apoio material, moral e financeiro das autoridades responsáveis. A análise, visando a eliminação de furos “*gaps*” existentes, no processo produtivo, poderá acarretar importantes impactos no desenvolvimento de determinadas culturas. O Prof. W.W.C. Tingley, citado por BEVERIDGE (1950), diz a respeito de comitês, criados nas instituições com vistas à análise dos problemas a serem pesquisados. “Eu acredito que um comitê científico pode efetuar uma atividade útil e única. Ele pode apontar os pesquisadores melhores adaptados para atacar um determinado problema, conseguir colocá-los juntos no trabalho, proporcionando-lhes as facilidades que eles precisam, e deixar que os mesmos lidem com o problema. O comitê pode revisar o progresso obtido, de tempos em tempos, e efetuar ajustamentos; porém se pretendem fazer mais que isso, eles causarão danos”

Alocação de meios - Para uma alocação ótima dos recursos, quase sempre escassos, é desejável que tenham sido bem escolhidas as áreas prioritárias, os problemas por ordem de importância e que estes venham a ser apoiados firmemente com os recursos em pessoal e material.

A alocação do tempo do pesquisador dedicado à solução dos problemas deve levar em consideração uma escolha adequada da porcentagem a ser dedicada para as pesquisas aplicadas e para as pesquisas de natureza fundamental.

A alocação dos recursos institucionais deve ser feita de forma que assegure a execução dos problemas prioritários e os demais que tenham interesse institucional.

Resumindo, existe uma consciência já estabelecida a defender o ponto de vista que todas as instituições de pesquisa aplicada devem alocar 15% a 20% de seus recursos para a execução de trabalhos fundamentais, em pesquisas de longa duração, naquelas áreas cujos problemas por resolver, são mais pertinentes.

Análise crítica - Toda instituição de pesquisa deve gastar parte dos seus recursos em tempo e dinheiro, na revisão dos projetos existentes e nos novos a serem feitos, na avaliação dos resultados conseguidos, e se possível, verificar o porquê dos resultados. É preciso estar atento para aspectos tais como:

- a) Teria ocorrido a perda de um número exagerado de projetos, mal terminados, interrompidos, ou não executados?
- b) Teriam muitos problemas sido transferidos de um grupo de pesquisadores para outros?
- c) Teria havido muitos problemas que foram resolvidos de forma satisfatória e os resultados, engavetados?
- d) Teria havido problemas que foram atacados, mas que em uma análise criteriosa se teria chegado à conclusão de que foram mal formulados?
- e) Teriam surgido muitos novos problemas levantados pela própria equipe de pesquisadores?

- f) Estariam sendo produzidas novas técnicas, alhures, e teriam sido as mesmas divulgadas e absorvidas pelas equipes da instituição?
- g) Estariam os métodos utilizados, em consonância com os métodos mais modernos existentes e em uso em instituições credenciadas?
- h) Está o corpo técnico em contínua evolução profissional e com preparo adequado?
- i) Como está sendo encarado o treinamento dos pesquisadores novos?

Todos estes são assuntos relevantes e devem estar sempre na preocupação dos altos escalões da instituição, pois o produto final do trabalho de pesquisa do corpo técnico, se não for relevante, eficiente e objetivo, pode acabar redundando em um sistema de organização pouco prestigiada, com resolução de problemas pouco eficiente. Desde que o produto final da pesquisa (projetos resolvidos, publicações técnicas e científicas, etc) não é facilmente mensurável, é preciso que os escalões superiores estejam constantemente alertados para uma atuação constante, com vistas a garantir a excelência da Instituição.

Custo dos experimentos - O custo de uma ponte rodoviária, de uma usina, de um prédio, etc, pode ser avaliado, com bastante precisão. O custo de um experimento, entretanto, não pode ser avaliado com a mesma precisão. Mesmo no planejamento de um experimento bem elaborado, as questões de custos são, frequentemente, ignoradas completamente, o que não pode ocorrer. Deve-se estimar, mesmo que aproximadamente, o custo provável e a probabilidade de que os resultados experimentais levem à solução dos problemas pesquisados.

O tempo de duração do experimento deve ser estimado e adequado à situação. Considerações do tipo tradicional, tais como, a atitude de que a ciência deve pairar acima de considerações monetárias são, basicamente, errôneas.

Como o custo da pesquisa é cada vez mais caro e os recursos insuficientes, há necessidade de se tomar os fatores econômicos em consideração, por mais difícil que venha a ser. Certamente, não há escusas para efetuar uma pesquisa a um custo mais alto, quando existe uma forma de fazê-la a um custo menor.

É difícil decidir se um determinado projeto deve ser executado ou não, considerando somente seu custo provável. Deve-se considerar inicialmente sua importância, prioridade e possibilidade de sucesso. Na pesquisa aplicada é possível, às vezes, utilizar um critério definido para julgá-lo, pois é possível avaliar os benefícios resultantes de uma pesquisa conclusiva, a qual deve estar ligada a uma estimativa da chance de sua resolução com sucesso (BRIGHT WILSON, 1952).

Na ciência pura não é possível fazer isso exatamente nem é desejável. Aqui o custo também entra na comparação e serve para a tomada de decisão entre duas alternativas de solução, possíveis. O custo financeiro não deve ser o único fator a ser julgado, porém seria errado deixar de considerá-lo.

A estimativa dos custos deve incluir, não só os gastos diretos com o pessoal, material e equipamentos, devendo-se incluir também os custos indiretos, custos administrativos de apoio, etc., mesmo que não haja carga direta aparente no projeto. Muitos pesquisadores não têm boa noção dos custos indiretos e ficam chocados com sua magnitude, quando estimam seu valor. De modo geral, esses custos incluem aluguel, tarifas, reparos, salários, etc. e demais despesas de natureza administrativa, e podem resultar em acréscimos elevados quando adicionados aos custos básicos do projeto.

Questões de prioridade e outras afins - Ocorre, muitas vezes, que pesquisadores ao desenvolver nova área na ciência, passem a considerar aquela área como de sua propriedade e não recebam bem os que desejam adentrá-la. Entretanto, esse procedimento não pode ser aceito pela ética científica, pois, aceitá-la seria retardar o progresso da ciência. De modo geral, quando um trabalho de pesquisa já foi publicado, aceita-se que qualquer outro pesquisador possa ter acesso às informações advindas dessa publicação para a execução de

novas pesquisas, desde que, como norma, cite a fonte bibliográfica e efetue os agradecimentos de praxe.

Certos tipos de comportamento são moralmente indefensáveis. Visitar colegas que estão efetuando pesquisas, obter informações ainda não publicadas e tentar publicá-las rapidamente, certamente, é uma atitude condenável.

Deve-se considerar que, qualquer cientista está livre para realizar pesquisas baseadas em trabalhos já publicados, mesmo porque o pesquisador original já vem levando grande vantagem do tempo empregado na área. Também deve ser considerado que outros pesquisadores podem já estar trabalhando na mesma linha de pesquisa e aí surge o problema para a instituição, da duplicação ou triplicação dos planos de trabalho.

Devem-se evitar duplicações desnecessárias, principalmente devido à escassez de recursos e de pessoal especializado. Entretanto, quando surgem problemas graves, que possam por em risco a sobrevivência de uma cultura, por exemplo, é desejável que se montem equipes multidisciplinares e até multi-institucionais, com vista à solução mais rápida do problema.

Certamente, a ciência pura e também a ciência aplicada estão repletas de problemas importantes por resolver, o que possibilita ao pessoal especializado disponível ser bem utilizado na solução de uma gama maior dos problemas existentes.

Sugestões para a pesquisa bibliográfica - No estudo de um problema, ainda na fase da elaboração do plano de pesquisa, esforços devem ser feitos na aquisição da maior quantidade de informações disponíveis sobre o assunto.

A busca dessas informações pode começar, muitas vezes, por uma consulta a uma enciclopédia específica, depois por consultas em livros relacionados ao assunto, seguida de consultas aos artigos relacionados à área de interesse, nas revistas especializadas. Diante da grande quantidade de artigos publicados sobre o assunto, nos diversos países, é importante confiar nos artigos mais recentes de especialistas categorizados, cujos trabalhos se encontram nas revistas especializadas de maior renome. Nestas, compara-se a citação de outros artigos relacionados com o problema, normalmente referências mais recentes, que então podem ser buscadas.

Uma seleção criteriosa e não uma cobertura total é a forma mais factível de abordar o problema e é o que pode ser feito, principalmente nas áreas de pesquisa aplicada, pois nos países em desenvolvimento, de recursos escassos, as Bibliotecas e coleções de revistas especializadas são limitadas. Felizmente, com a internet, é possível procurar os artigos que se deseja, nas Bibliotecas de diferentes países.

A busca infinda - A ciência, pela sua própria natureza, é uma estrutura que cresce pela adição de novas descobertas no topo do edifício do conhecimento, resultante das conquistas efetuadas pela legião de pesquisadores. Um pesquisador que ignore o que já se descobriu anteriormente tem pouca chance de efetuar uma contribuição de valor em sua área de atuação.

Conseqüentemente, antes de se iniciar novo projeto, é essencial tomar ciência do estado atual do conhecimento existente. As horas despendidas na busca de informações possibilitam a formulação de hipóteses mais plausíveis.

Diante das hipóteses efetuadas, de forma criteriosa, fica possível efetuar-se a escolha adequada dos tratamentos, o que possibilita maior chance de obtenção de resultados comprobatórios das hipóteses, através de experimentos efetuados com delineamentos experimentais bem elaborados.

É por isso que existe uma convicção bem estabelecida de que, as horas dedicadas a uma pesquisa bibliográfica bem feita podem encurtar em meses e até em anos, a obtenção da solução dos problemas pesquisados.

7. A ESCOLHA E ENUNCIACÃO DE UM PROBLEMA

Os métodos de pesquisa podem ser separados em duas categorias: aqueles que são gerais e se aplicam a diferentes campos da pesquisa, e os técnicos ou especiais, diferentes para cada campo.

Serão considerados aqui só os métodos gerais. Os mais importantes são:

- 1) Método indutivo - dedutivo ou método científico;
- 2) Método empírico;
- 3) Método experimental;
- 4) Análise de caso;
- 5) Método de amostragem;
- 6) Método estatístico;
- 7) Método histórico;
- 8) Método sintético.

7.1 Método científico

Uma das principais diferenças entre os seres humanos e os animais é a capacidade que o homem possui de pensar em termos abstratos. Por exemplo, o homem é capaz de observar certo número de objetos diferentes e abstrair suas características comuns.

Ao tentarmos chegar a uma definição geral de ciência, podemos proceder dessa maneira, isto é, podemos considerar as várias ciências como um grupo e abstrair as características que as distinguem de outras disciplinas.

Excluindo as disciplinas formais (matemática e lógica), podem-se dividir as outras disciplinas em três grupos: dentro do círculo interno estaria representado aquilo que comumente se chama ciência; o círculo seguinte abrange várias disciplinas às quais, em geral, não se aplica a classificação de ciências; o círculo externo abrange várias disciplinas como filosofia, religião, etc, chamadas disciplinas metafísicas.

As ciências que estão dentro do círculo interno certamente diferem entre si. Mas em que se assemelham? Do mesmo modo, em que se assemelham as disciplinas dos outros círculos? Uma característica comum das ciências é que todas usam a mesma abordagem geral para a solução de problemas: o método científico.

As disciplinas que estão dentro dos dois primeiros círculos diferem das metafísicas em relação ao tipo do problema estudado.

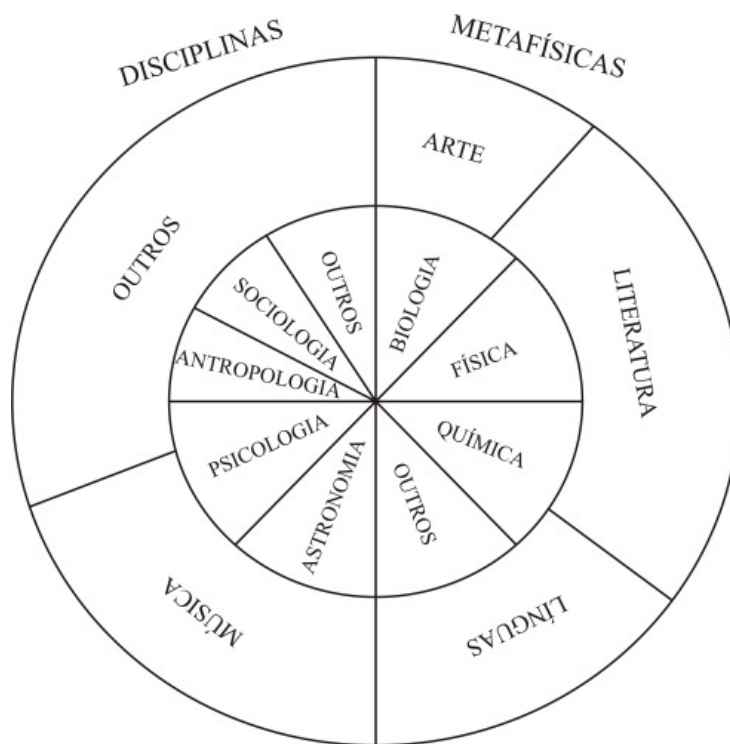


Figura 2. Representação pictórica dos vários tipos de ciência, estando na área interior as ciências experimentais, na zona intermediária as disciplinas não experimentais e, na parte exterior, as disciplinas metafísicas (Filosofia, Religião, etc.).

As pessoas que se dedicam ao estudo das matérias englobadas nos dois círculos interiores procuram considerar apenas problemas que possam ser solucionados; as do terceiro círculo (filosofia, por exemplo), em geral, lidam com problemas ainda julgados insolúveis.

Um problema solucionável é aquele em que existe uma pergunta que pode ser respondida pela capacidade normal de raciocínio do homem.

Um problema insolúvel coloca uma questão que é, em essência, impossível de ser respondida. Por exemplo, o problema do aparecimento do Universo está ainda insolúvel, apesar da teoria do “*big bang*” ter sido até há pouco típico das áreas especulativas relacionadas à religião e à filosofia clássica.

Estas considerações nos levam à seguinte definição: “Ciência é a aplicação do método científico a problemas solucionáveis”.

Vejamos agora o que é o **método científico**.

O método indutivo-dedutivo ou chamado “método científico” é o que tem sido, provavelmente, de mais utilização nas ciências experimentais. Na sua forma mais simples compreende quatro etapas distintas (SALMON e HANSOM, 1964):

- 1) Coleção de fatos por observação ou experimentação;
- 2) Formulação de uma hipótese que explique os fatos normalmente em termos de causa e efeito;
- 3) Deduções, a partir da hipótese ou da teoria, que podem ser postas à prova (teste da hipótese) e que sejam verdadeiras, se a hipótese for verdadeira;
- 4) Verificação das deduções por novas observações ou novos experimentos.

Se as deduções são comprovadas, a hipótese é aceita; de outra forma, ela deverá ser modificada ou descartada.

O processo de formular uma hipótese ou teoria é chamado indução.

7.2 Exemplo de processo indutivo

Supor que, em etapas sucessivas, observam-se os seguintes números representando um determinado fenômeno:

$$\begin{array}{cccccc} 2 & - & 4 & - & 6 & - & 8 & - & 10 & - & 12 \\ (1.^{\circ}) & & (2.^{\circ}) & & (3.^{\circ}) & & (4.^{\circ}) & & (5.^{\circ}) & & (6.^{\circ}) \end{array}$$

Vamos supor que esses números foram estimados para doses crescentes de um estimulante.

Para a 7.^a dose qual seria o valor esperado?

A hipótese é: dentro dos 6 primeiros estímulos verificam-se respostas do tipo $2n$, sendo n a intensidade do estímulo. Na pressuposição de que haja a relação funcional e ela se mantenha, espera-se que o valor seja 14 para o 7.^o estímulo, ou seja, $x = 2n$

Uma hipótese alternativa que se adapta aos dados existentes é:

$$x = 2n + (n-1)(n-2)(n-3)(n-4)(n-5)(n-6).$$

Se para o 7.^o estímulo obtivermos 14, a hipótese $2n$ fica mais forte que a outra.

Se obtiver 734 a outra hipótese fica mais forte.

Supor que se obteve 15. Nenhuma das hipóteses se manteve.

Fazer nova hipótese:

A resposta pode ser explicada pela relação:

$$x = 2n + \frac{1}{(n-1)! / [(n-1)(n-2)\dots(n-6)]}$$

Ela explica os seis primeiros resultados e mais o 7.^o.

Fazer nova determinação (8.^o estímulo): para ver a relação, segundo a última aproximação, se mantém ou não, o processo continua nessa ordem.

O começo de uma hipótese pode não ser mais que um pressentimento, um vislumbre ou uma suposição. Ela pode vir a ser a “hipótese de trabalho” inicial do pesquisador.

Um exemplo simples do método científico foi o descobrimento da pressão atmosférica e o desenvolvimento do barômetro (WEATHERALL, 1970).

Sabia-se que o bombeamento da água era eficiente porque havia uma tendência da água substituir rapidamente o ar removido pela bomba. “A natureza detesta o vácuo”, dizia-se. Era do conhecimento dos físicos que a água podia ser bombeada até uma altura de 33 pés, mas não mais (Etapa 1).

Ocorreu a Torricelli, discípulo de Galileu, que esses fatos poderiam ser explicados pela pressão da atmosfera na superfície da água (Etapa 2).

Se fosse verdade, a pressão deveria também elevar o mercúrio dentro de um tubo, mas tão somente até 1/14 da altura da água, porque o mercúrio é, aproximadamente, 14 vezes mais pesado do que a água (Etapa 3).

Esse fato foi facilmente verificado pela medida da altura da coluna de mercúrio em um tubo fechado de um lado e aberto do outro e invertido, isto é, com a ponta aberta mergulhada em um vaso contendo mercúrio (Etapa 4).

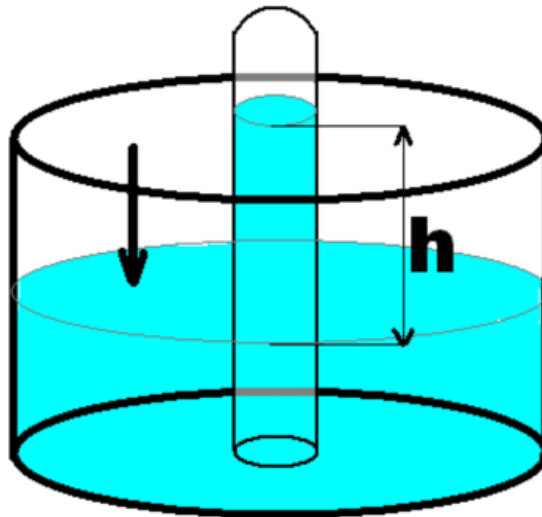


Figura 3. Representação do experimento de Torricelli, evidenciando o efeito da pressão atmosférica sobre a superfície dos líquidos.

Também parecia evidente que a pressão atmosférica seria menor nas montanhas do que ao nível do mar. Essa dedução foi verificada, proporcionando uma evidência adicional à veracidade da hipótese original.

Outro exemplo do método científico, na biologia, foi a dedução feita por Wilstatter das características da clorofila baseada na composição química dos seus derivados, quando tratados com ácidos e bases. “Tão perfeitas foram suas deduções que nada mais foi aprendido quando o pigmento puro e natural foi, mais tarde, preparado e analisado”.

O terceiro exemplo, na área da pesquisa agrícola, é o milho híbrido, primeiramente proposto em 1908.

Sabia-se que o milho era uma cultura extremamente variável (Etapa 1). Shull sugeriu que um campo de milho deveria consistir-se de grande número de híbridos entre linhas puras de vários graus de complexidade e capacidade de produção (Etapa 2); se as linhas puras obtidas a partir desses híbridos fossem isoladas pela autofecundação, e se só as melhores linhas fossem cruzadas, a produção deveria aumentar (Etapa 3). Essa premissa, mais tarde, foi verificada (Etapa 4) (SALMON e HANSON, 1964).

As descobertas não são tão simples, visto que, parcialmente, as hipóteses e os princípios estabelecidos não são verificados. Significa que as hipóteses devem ser modificadas ou abandonadas, novas deduções e novas tentativas feitas para verificá-las e assim sucessivamente. Hoje em dia aceita-se a teoria atômica, mas não da forma como foi inicialmente proposta por Dalton.

Nenhuma pessoa bem informada acredita na herança dos caracteres adquiridos como foi proposto por Lamarck, mas sim na herança dos caracteres adquiridos como resultado de mutações ou cruzamentos.

A ciência não é estática; a teoria do gene partícula é hoje a teoria do gene radical químico inserido nas moléculas do DNA. As teorias mudam, evoluem e estão sujeitas a transformações.

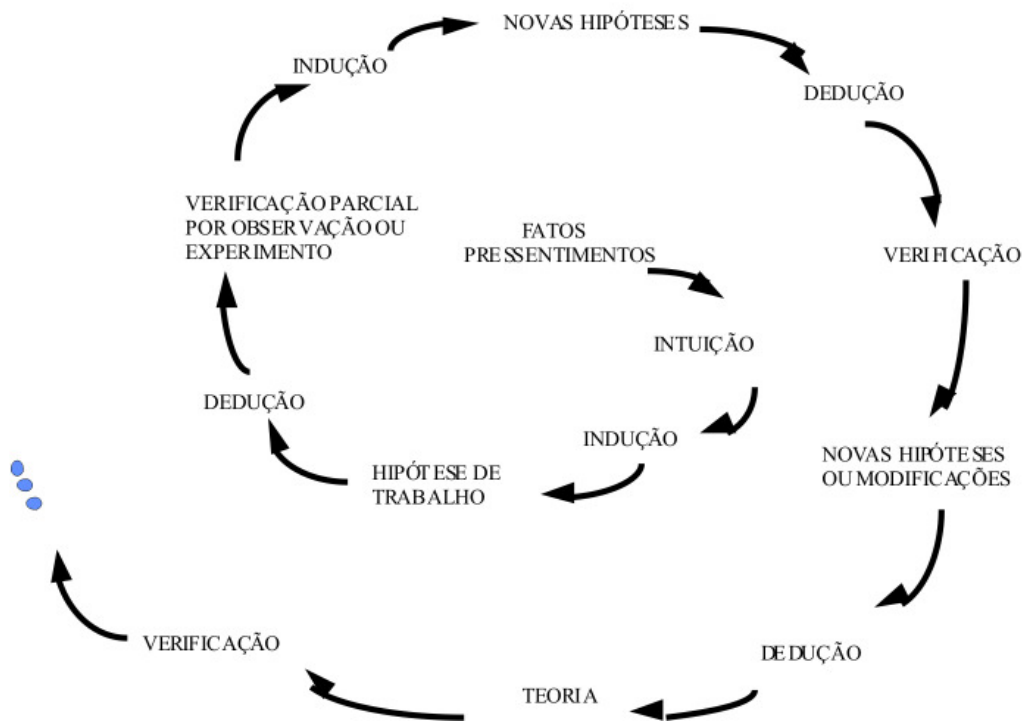


Figura 4. Representação do desenvolvimento em espiral das várias etapas do método científico, ficando na parte interna a área do conhecimento já advindo das pesquisas efetuadas.

A área de conhecimento explicado pela teoria vai se alargando, abrangendo cada vez mais o âmbito do saber ou a área de explicação do fenômeno em estudo.

7.3 Método empírico

O método empírico busca determinar, pelo teste de inúmeros produtos, aquele eficiente para a solução do problema pesquisado. É um método de tentativa e erro, em busca de um acerto final.

O exemplo clássico do método empírico é a descoberta do “Salvarsan” por Ehrlich, para o tratamento da sífilis. O produto ficou conhecido como “606” por representar o número de compostos químicos diferentes testados, antes de ser encontrado um produto eficiente. “Neosalvarsan” ou “914” foi descoberto do mesmo jeito. Dizem que Midgeley e seus associados experimentaram mais de 33.000 produtos químicos diferentes antes de descobrir a propriedade “anti bate pino” do chumbo tetraetil, aditivo da gasolina (SALMON e HANSON, 1964).

Dizem que mais de 7.000 produtos foram testados em Orlando, Flórida, no laboratório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, na busca de um acaricida eficiente.

O “peneiramento” de milhares de compostos de estrutura química conhecida, mas de valor tóxico desconhecido, levaram à descoberta da fenotiazina, DDT e do BHC.

O método empírico é utilizado principalmente em processos de peneiragem (*screening*) e também quando são frágeis as suposições para firmar uma hipótese.

A busca de novos antibióticos tem sido feita por processos semelhantes e a chance de sucesso é como a de encontrar uma agulha em um palheiro.

7.4 Combinação do método científico com empírico

A chamada tentativa empírica, na verdade, não é inteiramente empírica.

Ehrlich efetuou a maior parte dos testes com compostos de arsênico, que se sabia ser tóxico para os seres vivos; Edison, na busca de filamentos para sua lâmpada elétrica, concentrou-se em produtos à base de carbono, principalmente fibras de bambu.

O procedimento mais comum nos casos de “peneiramento” de produtos é começar a investigação de observações empíricas e partir para induções e deduções tão cedo as hipóteses possam ser formuladas.

7.5 Método experimental

O método experimental foi preconizado por R. Bacon (1214-1294) e depois por Francis Bacon (1561-1626).

Conant (1961), citado por SALMON e HANSON (1964), considera Robert Boyle (1627-1691) como o verdadeiro pai do método experimental, pois foi ele quem preconizou o uso de experiências e relatórios bem feitos acerca das pesquisas em andamento.

POINCARÉ (1929) afirma que “o experimento é a única fonte da verdade”. GOULDEN (1942) insiste em que “o progresso na pesquisa pode ser feito por meio de experimentos adequadamente conduzidos” (SALMON e HANSON, 1964).

Isso pode parecer exagero, pois, ciências como a astronomia e a geologia não podem efetuar experimentos. Em outras áreas, também, observações cuidadosas da natureza possibilitaram resultados científicos de valor, como mostram os trabalhos de Lineu, Harvey e Darwin.

Entretanto, ninguém pode negar que a experimentação tem sido a grande propulsora das ciências experimentais em anos recentes.

7.6 Método estatístico

O método estatístico é o mais enfatizado recentemente. Neste, conceitos estatísticos modernos são utilizados como guia no planejamento dos experimentos e na interpretação dos resultados experimentais.

O desenvolvimento de funções de distribuição, o cálculo das medidas de posição (média, mediana, etc.) e de dispersão (desvio-padrão, erro da média), o uso de teste adequado das hipóteses estatísticas, a tomada de decisão dessas hipóteses em termos probabilísticos, a produção de esquemas experimentais para assegurar maior exatidão e precisão nas observações, a metodologia para a análise da relação funcional entre as observações (variáveis, dependentes representando os fenômenos estudados) e a variável ou variáveis independentes (representando as variáveis possivelmente causais), a estimação dos parâmetros dos modelos estudados (que explicam os fenômenos) encontram-se em livros de Estatística (PIMENTEL GOMES, 1985; STEEL e TORRIE, 1980).

Na verdade, os métodos estatísticos possibilitam o tratamento dos dados através de técnicas matemáticas.

Convém assinalar que o método estatístico não é em si, um método completo e sim a ferramenta para ser usada em complemento ao método científico e experimental. Seu poder analítico é tal que muitos acreditam que a pesquisa agrícola e, principalmente, os experimentos de campo em que as conclusões são tomadas sem a ajuda dos métodos estatísticos, são falhas, podendo levar a resultados enganosos.

O ponto de vista atual é o de que os métodos estatísticos devem ser considerados como uma ferramenta complementar do método científico, para ser usada **se, quando e onde** for necessária. Como outras ferramentas, pode ser bem ou mal utilizada, dependendo da capacitação dos que a empregam (estatísticos e pesquisadores).

Bem utilizada é um efficientíssimo processo de análise que possibilita a tomada de decisões racionais, baseadas em um valor probabilístico.

7.7 Método de caso(s)

Um dos métodos mais antigos de pesquisa é o da análise de casos (um ou mais de um). É usado extensivamente na medicina, na veterinária e na pesquisa econômica na agricultura.

Talvez o caso mais famoso seja aquele do estudo da digestão, feito pelo médico William Beaumont (1785-1853) em seu paciente, o índio canadense Alexis St. Martin.

Uma descarga acidental de espingarda perfurou o ventre e o estômago do paciente. Na cicatrização formou-se uma fístula que possibilitou ao médico acesso ao estômago do paciente e, dessa forma, o estudo da digestão. Pedacos de alimentos (carne, pão etc.) puderam ser introduzidos e depois retirados para análise das transformações havidas, análise do suco gástrico, etc.

O método deu origem a processos semelhantes para estudo nos animais domésticos (bois, carneiros, etc.) no âmbito da medicina veterinária.

Esse método é útil para pesquisas do tipo usina-piloto, pesquisa de armazenamento de grãos em grandes silos e nos casos de doenças raras, em medicina e veterinária.

Os resultados conseguidos pelo método de casos devem ser examinados com precaução, pois pela exiguidade dos dados existentes (uma ou poucas repetições), podem ocorrer resultados não representativos ou a produção de eventos raros que passam a ser encarados como resultados típicos.

Por exemplo, os resultados de pesquisas de conservação de grãos em grandes silos ou proteção contra os danos de insetos feitas na parte Central dos Estados Unidos (área de baixo teor de umidade) não podem ser estendidos para os Países Tropicais, de temperatura e umidade diferentes. Quanto maior o número de casos estudados e quanto maior a amplitude de variação (temperatura e umidade), menos prováveis serão os erros nas conclusões da pesquisa feita.

7.8 Método de amostragem

Neste método, um grande número de casos é examinado, mas de forma menos intensiva que no método de casos. Se usado de forma apropriada, ele evita os erros que poderiam ocorrer no exame de casos não representativos, porém, falta aos resultados aquele detalhamento característico do método anterior, podendo ocorrer de certa falta de informações.

Os dados de Censos representam um exemplo extremo, em que todos os indivíduos da população pesquisada são incluídos. Para se tornar exequível limita bastante as informações solicitadas, ficando com o mínimo indispensável à obtenção das características mais importantes.

O método é usado especialmente na pesquisa em economia agrícola para determinar, por exemplo, o que os agricultores fazem, a quantidade de terra cultivada, as culturas, o tipo de gado, número, etc., para depois levar em conta, na análise, o tamanho da propriedade, o estado socioeconômico do agricultor, etc.

É também muito usado na pesquisa agrônômica e hortícola no estudo da prevalência e distribuição de pragas e moléstias, etc.

Com o uso do método de amostragem detalhada foi efetuada nos Estados Unidos, em 1921, uma pesquisa cujos resultados proporcionaram informações de alto valor no que diz respeito a ocorrência, distribuição, ecologia e relações praga-hospedeiro. A distribuição de variedades de trigo nesse país é amostrada a cada cinco anos, desde 1919.

7.9 Método histórico

O método histórico é, algumas vezes, empregado na agricultura para relacionar os métodos atualmente empregados com os utilizados no passado e poder avaliar o progresso feito. Para tanto, usa a literatura, os dados estatísticos e outras evidências quando disponíveis.

O método tem sido usado extensivamente para determinar a origem e distribuição geográfica de várias espécies de animais domésticos e plantas, incluindo a origem da agricultura.

Pesquisas desse tipo não podem ser feitas de outra maneira. Estudos sobre a agricultura, do período colonial dos Estados Unidos foram feitos dessa forma (SALMON e HANSON, 1964).

O desaparecimento ou quase de certas culturas em determinadas áreas como o índigo e o arroz em vários Estados do sul dos Estados Unidos; do trigo em Wisconsin e Iowa; a emergência de novas culturas como o linho no Texas e na Califórnia permite ajudar a prever o que poderá ocorrer no futuro se souberem quais as condições ecológicas e as razões de natureza econômica que causaram as mudanças.

O plantio e a distribuição futura de determinadas culturas poderão ser previstos utilizando as informações existentes no presente e as obtidas do passado.

7.10 Método sintético

O método sintético é aquele utilizado pelo engenheiro que projetou uma ponte para condições novas (adversas) ou para situações nunca antes encontradas. Ele analisa as condições a que a ponte vai estar exposta (ventos, diferenças de estação climática, possível tremor de terra, etc.); Utilizando materiais, inclusive alguns novos, se for o caso, e aplicando os princípios de engenharia e os coeficientes de resistência desses materiais para atender às novas especificações, projeta uma estrutura que não tem precedentes.

Um método similar é aquele seguido pelo químico, que, conhecendo a estrutura da molécula responsável pela toxicidade contra certos insetos, sintetiza novos inseticidas mais eficientes que os então existentes. O método sintético tem sido usado na criação de cultivares sintéticos de milho, criação de novas raças bovinas como a Canchin (Charolês x Nelore) e Santa Gertrudes (Hereford x Brahma).

Os economistas agrícolas estudam as organizações da propriedade agrícola, o estado atual da agricultura, as perspectivas econômicas das culturas, etc. e propõem novas combinações ao empreendimento que são mais eficientes (lucrativas), etc.

O método sintético é reconhecido raramente como tal nas demais áreas da pesquisa agrícola. Na atualidade, está sendo aplicado, por exemplo, quando novas variedades são recomendadas para áreas ou fazendas onde, previamente, nunca tinham sido usadas, visto que, pela experimentação, soube-se comprovar o bom comportamento delas em experimentos de condições ecológicas afins.

A seringueira, pela origem, é planta proveniente da selva amazônica. Como tal, grande ênfase foi dada há alguns anos para novos plantios na zona litorânea da Bahia e na região amazônica. As cultivares altamente produtivas utilizadas eram suscetíveis ao mal das folhas.

Estudos feitos em seringueira pelo IAC, em São Paulo, no litoral e no planalto, evidenciaram claramente a melhor opção climática para o planalto paulista. Um zoneamento climático feito para o Brasil indicou o Planalto Central brasileiro como de condições ideais para o cultivo da seringueira. Plantios feitos em São Paulo, Mato Grosso, Minas e Goiás estão comprovando a grande possibilidade para o plantio de cultivares mais produtivas e capazes de suprir as nossas necessidades.

Fertilizantes foram recomendadas para certas propriedades ou certas áreas (calcário e fósforo para a soja no cerrado, por exemplo) porque já se sabia por meio de experimentos que o solo dessas áreas era deficiente nesses elementos essenciais; experimentos feitos com diferentes culturas evidenciaram a exequibilidade de cultivo após a correção química efetuada com calcário e fertilizantes.

Um experimento de café feito pelo IAC, no horto de Batatais, usando um fatorial que empregava esterco, N, P, K, calcário e micronutrientes demonstrou a exequibilidade da cultura cafeeira no cerrado. Hoje grandes plantios de café, soja, arroz, etc foram estabelecidos no cerrado de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, e a adubação e os corretivos utilizados transformaram essas terras deficientes em terras de cultura.

8. ETAPAS DO MÉTODO CIENTÍFICO

A finalidade imediata do pensamento científico é a de efetuar previsões corretas dos eventos na natureza. A finalidade última é a sobrevivência e o bem-estar do homem.

Alguns eventos permitem previsões bastante precisas: a data e a duração de um eclipse podem ser calculadas em frações de um segundo. Outros eventos só podem ser previstos como uma probabilidade: a previsão do tempo, por exemplo, pode ser a de que existam três chances em dez de que vai chover amanhã em São Paulo.

O homem tem sempre valorizado a habilidade de prever futuros eventos, pois assim pode se proteger contra suas consequências.

Em 1913, Niels Bohr usou a palavra modelo na descrição e representação do átomo de hidrogênio. Foi um termo feliz porque a palavra modelo inclui certas partes que o protótipo possui e exclui outras partes que o protótipo não possui (BRIGHT WILSON, 1952).

Os cientistas consideram o termo útil e o utilizam para representar teorias desenvolvidas bem antes de Niels Bohr ter criado o termo.

O modelo é submetido à comprovação experimental e quando funciona bem, espera-se que exista uma boa concordância do modelo “com a coisa que está lá”, isto é, com a realidade; sabe-se, porém, que uma verificação direta é impossível. Se existir discordância, o modelo é alterado e posto de acordo com os novos resultados, devendo o modelo modificado explicar os fatos velhos e os novos.

Um biólogo pode fazer previsões úteis quando considera o sistema nervoso de um animal mais simples como modelo para o estudo do sistema nervoso do homem.

O conhecimento científico, isto é, os fatos experimentais e o modelo conceitual adotado no momento, estão constantemente sujeitos à revisão.

Assim, o método científico:

- 1) Postula um modelo com base nas observações experimentais existentes ou em medições feitas;
- 2) Avalia as previsões do modelo contra novas observações ou medições;
- 3) Ajusta ou substitui o modelo atual, quando novas observações ou medições assim o exigem (adaptação).

Essa última etapa faz retornar à etapa primeira, o processo seguindo indefinidamente, porém, conseguindo

cada vez mais alargar “o âmbito das previsões”.

O pensamento científico é cumulativo, isto é, o modelo atual inclui todas as partes “de sucesso” dos modelos anteriores. Um exemplo que mostra a evolução é o caso do modelo usado para explicar o sistema solar: os gregos consideravam a terra como centro do universo e as estrelas fixas na esfera celeste. A descoberta de planetas que se deslocavam no céu, obrigou a uma modificação no modelo. O movimento para frente e para trás dos planetas obrigou à criação dos “epiciclos” e modificação no sistema de Ptolomeu.

Evidências posteriores de que os planetas giravam ao redor do sol, levaram à criação do sistema de Copérnico, com o sol no centro do sistema e os planetas girando em órbita circular ao redor do sol.

As pesquisas e a análise feitas por Kepler e as observações dos planetas e das estrelas feitas por Tycho Brahe levaram à produção de três leis, por Kepler (DAMPIER, 1945):

- 1) Cada planeta se move em uma órbita elíptica ao redor do sol, este ocupando um dos focos da elipse.
- 2) A linha ligando o planeta ao sol, forma, em iguais intervalos de tempo, áreas iguais.
- 3) O quadrado do período (tempo de execução da órbita completa) é proporcional ao cubo da maior distância do planeta ao sol.

Nova mudança no modelo foi feita por Newton. As leis de Kepler se referiam especificamente ao movimento dos planetas em órbitas elípticas. As leis de Newton são quatro e constituem uma generalização para todos os tipos de movimento:

- 1) Um corpo quando em repouso, permanece em repouso, ou quando em movimento, permanece em uma linha reta, em velocidade constante, a não ser que se encontre sob a ação de uma força externa.
- 2) A aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força aplicada e inversamente proporcional à sua massa inercial ($a = F/m$)
- 3) Se um corpo A exerce uma força F no corpo B, então o B exerce sobre o A uma força que é igual em magnitude, mas oposta em direção à força F.
- 4) Quaisquer dois objetos no universo são atraídos na direção um do outro de acordo com uma força que é igual ao produto gravitacional das duas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros dos dois objetos ($F = kmm'/d^2$)

À primeira vista, a primeira lei de Newton parece contrariar o senso comum: uma bola atirada ao solo rola, mas perde velocidade aos poucos e depois para. O que ocorre é que se esquece da existência da força de atrito (resistência ao movimento).

Um corpo como a Lua não se move em linha reta devido à atração da terra; como no espaço não há praticamente atrito, continua a mover-se sempre em velocidade aproximadamente constante.

Nos dias de hoje, uma modificação no modelo de Newton é necessária para explicar a atração entre partículas que se deslocam com velocidades próximas da luz. Pela nova teoria (Einstein - teoria da relatividade) o valor da massa M é função de M_0 (seu valor absoluto), V é a velocidade do corpo e C é a velocidade da luz.

$$M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

Entretanto, nos casos comuns de velocidades menores (inclusive no caso dos foguetes), as leis de Newton, continuam válidas.

Um exemplo na área de dilatação dos gases foi a Lei de Boyle, expressa pela relação $PV = C$, ou seja, para uma temperatura fixada, a pressão dos gases, P, é inversamente proporcional ao volume V, isto é, $P_1 / V_1 = P_2 / V_2$ ou $PV = C$, sendo C uma constante.

Posteriormente, Dalton generalizou a lei de Boyle de dilatação dos gases, propondo a lei: $PV = RT$ em que R

é uma constante para cada tipo de gás, mantendo a Lei de Boyle, válida para diferentes temperaturas e diferentes tipos de gases.

A versão moderna é que $RT = P \times \left(\frac{A}{V^2} \right) (V - B)$

em que A e B são constantes típicas, devidas à natureza dos gases; foram introduzidas para ajustar pequenas discrepâncias constatadas com os modernos equipamentos e com a maior precisão das medidas (WEATHERALL, 1970).

9. OBSERVAÇÃO E DESCRIÇÃO

Observação implica seleção. Uma floresta pode ser observada como floresta, mas não facilmente como dez mil árvores. Uma árvore também pode ser observada no seu todo, mas não como um conjunto de milhares de folhas, flores, ramos, tronco e raízes.

O poder de observação do homem é limitado e é necessário limitar o que se vai observar, ou seja, aquela porção que possibilita ser abrangida pelos nossos sentidos.

Uma escolha inadequada e ampla dá lugar à obtenção de itens, tão remotamente conectados com o fenômeno em estudo que será praticamente impossível estabelecer boas relações entre os fenômenos.

Assim, quando se quer observar a potencialidade de novos híbridos de trigo, por exemplo, são fatores importantes: altura, número de perfilhos, número de espigas, tamanho e peso das espigas, número de espiguetas, número e peso dos grãos, sua qualidade como farinha, etc. Outras características tais como data de florescimento, fim do espigamento, duração do ciclo da planta, etc., são importantes para avaliar a precocidade e a data de maturação, para calcular a época de colheita, etc.

A observação leva à descrição. Um agrônomo descreve a folha de arroz com algum detalhe; um botânico faz uma descrição muito mais detalhada de todas as características da folha.

Uma das mais importantes operações feitas pelo pesquisador é efetuar anotações claras, precisas e adequadas, já que a memória é falível e a recordação dos eventos é esmaecida pelo tempo.

BEVERIDGE (1950) diz o seguinte: durante o andamento da pesquisa, a anotação cuidadosa de todos os aspectos envolvidos, constitui uma regra elementar, porém de grande importância. Muitas vezes, de forma surpreendente, há necessidade de se retornar aos detalhes, cuja significância passou despercebida enquanto o experimento estava em andamento. As notas guardadas por Pasteur, em suas diferentes pesquisas, constituem um belo exemplo de anotação cuidadosa a respeito de cada detalhe. Elas proporcionaram um registro de valor incalculável a respeito de que foi feito e do que foi observado; a tomada de anotações constitui uma técnica de grande utilidade para uma expedita e cuidadosa observação.

Outro aspecto importante é o que se conhece como viés (bias). É quase impossível alguém ser completamente livre de pré-concepções. É necessário e importante ter em mente uma hipótese antes de efetuar uma observação, pois é quase impossível observar sem saber o que observar.

É importante arranjar as observações de tal forma que as distorções (viés), sejam minimizadas, evitadas ou compensadas. O uso da casualização dos tratamentos do experimento e certos tipos de delineamentos podem controlar (compensar) certos tipos de “bias”, se existirem. O uso das metades de cada folha para testar duas concentrações de um vírus, por exemplo, elimina as diferenças entre plantas (constituição genética), de idade da folha, o gradiente de temperatura e diferenças de insolação na estufa, realçando as possíveis diferenças devidas aos tratamentos.

Um pesquisador não deve temer que outros pesquisadores observem os fenômenos em estudo. Ele deve receber com boa vontade, a repetição de seus estudos ou uma confrontação de resultados, pois possibilita uma confirmação ou não dos resultados obtidos.

No caso de observações astronômicas, cada astrônomo observa o eclipse uma única vez. É importante que um grupo de astrônomos o observe de diferentes pontos e ângulos. O uso de fotografias em grande escala possibilita estudos mais detalhados, posteriormente.

Uma característica da observação científica é a tendência de ser quantitativa. Números são utilizados quando possível. Mesmo para certas qualidades intratáveis como “dureza”, são estabelecidas escalas um tanto arbitrárias. Assim, o mineralogista estabelece uma escala: 10 para o diamante, 8 para topázio, 7 para quartzo, 6 para a ortoclase, etc. Se o mineral B risca C, mas A risca B, então a dureza de B se encontra entre A e C.

Entretanto, há casos qualitativos, tais como: doente e são, infeccionado e não infeccionado; com possibilidade de análise estatística (paramétrica e não paramétrica), ao se atribuir a uma das classes o valor um e a outra, o valor zero.

Outra característica é a possibilidade de uso de instrumentos como ajuda aos sentidos. Coisas muito pequenas como micróbios, não podem ser analisados a olho nu, mas com o auxílio de microscópios; os estudos de astronomia só podem ser feitos com telescópios, lunetas e outros equipamentos adequados; hoje o cientista, nos diferentes campos da ciência, lança mão de uma gama muito grande de equipamentos; são importantes não só os equipamentos sofisticados, como os mais simples, o metro, o estetoscópio, a balança, o polarímetro de campo, o pluviômetro, etc.

Hipóteses - No estudo dos fenômenos, depois de selecionar uma parte da natureza e efetuar observações com vistas a obter explicações sobre determinado fenômeno de interesse, vai-se formular a “hipótese”.

A construção da hipótese ou hipóteses começa durante a fase das observações.

Uma hipótese simples pode ser uma mera generalização das observações; uma hipótese mais complexa pode postular conexões entre os fenômenos, ou, elaborar cadeias de causa e efeito.

A analogia é uma ferramenta poderosa na construção de hipóteses, porém a imaginação é da mais alta importância.

Os pesquisadores diferem enormemente no seu poder de construir hipóteses úteis, e é neste ponto que o gênio se mostra, inteiramente (BRIGHT WILSON, 1952).

A possibilidade de construir hipóteses baseia-se na pressuposição de que existe alguma ordem na natureza. Esse conceito não é o mesmo que admitir que todas as partes da natureza são ordenadas.

Se duas hipóteses se adaptam aos fatos observados, e, se uma delas é claramente mais simples, é usual que o cientista venha a aceitar a mais simples, até que evidências posteriores causem sua rejeição.

O aspecto mais importante a considerar é que uma hipótese é uma pressuposição a respeito da natureza das coisas. Até que seja posta em prova através de experimentos, não passa de uma hipótese e não pode ser confundida com uma lei (BRIGHT WILSON, 1952).

Indução - O método básico da ciência é o da generalização ou indução. A indução é o processo de efetuar inferências acerca da classe total de eventos possíveis (população) a partir de observações feitas sobre uma parte representativa dos seus membros (amostra).

É um processo difícil de justificar, filosoficamente, mas que cada ser humano utiliza continuamente em sua vida diária. Algumas vezes pode falhar, mas não tem substituto melhor.

Um exemplo diário é o caso do indivíduo que vai para a cidade. Ele olha para o céu; se existir céu limpo e nuvens claras, ele simplesmente vai para a cidade; se existirem nuvens escuras ameaçadoras, ele logo pega o guarda-chuva. Nem sempre vai chover, mas ele, por princípio, se precaverá carregando o seu guarda-chuva.

Ele simplesmente efetuou um processo inferencial.

Nas ciências experimentais, a hipótese científica é quase sempre posta em correspondência com uma hipótese estatística e esta última é posta à prova através do teste estatístico. Tomada a decisão estatística, volta-se à decisão correspondente da hipótese científica original.

Com relação à sustentação da hipótese, considera-se que uma predição de sucesso representa forte suporte para a hipótese, de maior valor que o conjunto de dados já conhecidos do pesquisador quando da elaboração dessa hipótese.

Esse conceito está de acordo com a atitude seguinte: uma hipótese não só deve explicar satisfatoriamente a massa de dados que contribuíram para a sua criação, mas deve ser compatível com o resto do corpo da ciência.

Em Física, particularmente, mas também na Química, na Genética, Biologia e outros campos, há hipóteses que não são fáceis de testar através da experimentação direta; em vez disso, deduções obtidas a partir da hipótese são testadas.

Como o processo dedutivo está sujeito a condições necessárias e suficientes (no caso de modelos matemáticos), para que se constate a veracidade de certas asserções, surgem dificuldades como as que se seguem:

Muitas deduções testáveis a partir das hipóteses são consequências necessárias das hipóteses, mas não suficientes para garantir sua veracidade.

Por razões desse tipo, poucos cientistas aceitariam que qualquer hipótese, mesmo a extensivamente estudada, represente a expressão final de uma verdade universal. Ela é, muito provavelmente, excelente aproximação para um conjunto finito de circunstâncias, mesmo com as fronteiras não estando ainda bem demarcadas. À medida que novos estudos são feitos, seguramente, uma generalização maior será conseguida e a substituirá.

Bom exemplo é a lei da conservação da energia, na qual grande confiança era depositada. Os trabalhos de Einstein mostraram que essa lei tinha que ser modificada para possibilitar a explicação da transformação da matéria em energia.

10. NECESSIDADE DA EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Um experimento consiste, usualmente, em fazer com que um evento ocorra sob condições estabelecidas em que a maior quantidade possível de influências estranhas é eliminada, tornando possível uma observação cuidadosa, de tal forma que as relações entre os fenômenos possam ser evidenciadas (BEVERIDGE, 1950).

Antes de planejar o experimento, o pesquisador deve, obviamente, ter bom entendimento da natureza do problema e de qualquer evidência relevante a ele associada. Mesmo uma lei ou uma teoria imperfeita podem proporcionar teoremas, valores limitantes e certas implicações de considerável utilidade para estar abrangida na área de investigação. Também é essencial que o experimento seja planejado tomando por base uma ou várias hipóteses.

É possível, pela complexidade, dividir o problema em partes mais simples e procurar resolver as partes, separadamente. A aproximação à solução final pode ser conseguida em experimentação por partes (Bright Wilson, 1952).

Durante o andamento da pesquisa, a anotação cuidadosa de todos os detalhes constitui uma regra elementar, porém de grande importância. Muitas vezes, de forma surpreendente, há necessidade de se retornar a detalhes cuja significância passou despercebida enquanto o experimento estava em andamento. As notas

guardadas por Luiz Pasteur em suas diferentes pesquisas (doenças do bicho da seda, estudos da fermentação da cerveja, doenças nos animais como o carbúnculo, estudos da raiva, produção de vacinas e outros) constituem um belo exemplo do uso de anotações cuidadosas feitas a respeito de cada detalhe. Elas proporcionaram um registro de valor incalculável a respeito do que foi feito e de que foi observado; a tomada de anotações constitui uma técnica de grande utilidade para uma expedita e cuidadosa observação (BEVERIDGE, 1950).

Experimento crucial - É aquele que proporciona a solução definitiva. O exemplo clássico é o de verificação da eficiência da vacina contra o carbúnculo. Pasteur desenvolveu a vacina e a experimentou em oito carneiros. A celeuma sobre sua eficácia era grande, e os veterinários franceses, principalmente, não acreditavam no valor da proteção.

A prova final constou da vacinação de mais de vinte animais, sendo alguns bois e os restantes, carneiros, contra outros tantos, não vacinados. Depois de alguns dias, todos foram submetidos à inoculação com amostras de sangue de um animal contaminado. Morreram todos os animais não vacinados e nenhum dos vacinados.

Na verdade, são raros os experimentos cruciais. Usualmente, a evidência, a favor ou contra uma lei ou uma teoria é construída a partir de várias direções e a aceitação final pela comunidade científica é o resultado de grande massa de observações, algumas das quais podem ser contraditórias.

É importante planejar experimentos que sejam, tanto quanto possível, cruciais com relação às hipóteses em consideração (BRIGHT WILSON, 1952).

Finalidade do experimento - Nas ciências experimentais, sem uma ideia clara acerca das hipóteses, é provável que, com a escolha de tratamentos não totalmente relevantes, se chegue no fim do experimento à não-comprovação do que se pretende. Uma análise criteriosa feita sobre uma hipótese cuidadosamente estabelecida irá tornar possível a seleção de um grupo de tratamentos relevantes, assegurando que as observações feitas vão responder às questões propostas. Para isso, os dados experimentais devem ser representativos da população, que pretendem caracterizar.

A escolha dos tratamentos (espaço amostral adequado), do delineamento experimental, dos métodos de amostragem, a análise estatística e a estimação dos parâmetros do modelo são áreas da Estatística de grande utilidade na pesquisa. Esses pontos são apresentados, de forma detalhada nos livros de Estatística e Delineamentos de Experimentos, por exemplo, PIMENTEL GOMES (1980), STEEL e TORRIE (1980), COCHRAN e COX (1957) e outros.

11. PRECAUÇÕES NA EXECUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Escolha da amostra - Em uma investigação científica o **problema da amostragem** é um dos que precisam ser resolvidos em primeiro lugar.

A amostra deve ser representativa da população que se pretende caracterizar. No estudo sobre a conveniência de adicionar o leite na refeição dos escolares, certas questões podem surgir em função da hipótese estudada.

O que se vai medir? O aumento de peso? A melhoria da saúde? A melhoria da dentição? A diminuição do número de cáries? A melhoria do desempenho escolar?

Se a finalidade é a suplementação da dieta de escolares carentes, os colégios de elite, com filhos de pais ricos, devem ser excluídos. Deve-se dar mais peso aos colégios de periferia frequentados por alunos mais pobres.

Uso de controle - Em muitos casos, a inclusão de controle é fundamental. Em experimentos médicos a pesquisa de novos medicamentos deve ser feita com a inclusão de controles. É preciso comparar novas

drogas com uma droga conhecida e de efeito comprovado. No caso, também, deve ser incluído o controle (placebo), isto é, tratamento constante da aplicação de produto semelhante ao testado, porém, inócuo.

Em pesquisa de adubação fosfatada, com várias doses de novo adubo fosfatado, há necessidade da introdução de um tratamento com uma dosagem equivalente do adubo fosfatado conhecido (superfosfato). Seria até melhor introduzir várias dosagens equivalentes em termos de P_2O_5 para os dois fertilizantes e, no fim, comparar as duas curvas de resposta, deduzindo a eficiência e até as dosagens mais econômicas de cada um dos adubos.

Escolha do material experimental - Uma escolha criteriosa e sábia do material experimental pode reduzir grandemente as dificuldades da pesquisa. Sabe-se que os estudos clássicos de genética feitos por T.H. Morgan foram tremendamente facilitados pela escolha de um inseto de reprodução acelerada (a mosca das frutas, do gênero *Drosophila*). Com esse material foi possível obter uma geração de moscas a cada duas semanas, e, assim, estudar os problemas mais rapidamente.

O sucesso na demonstração de que a febre amarela era devida a um vírus apoiou-se na descoberta que certas espécies de macacos eram suscetíveis à doença. A escolha desses animais para a execução de experimentos facilitou a solução do problema.

Entretanto, deve ser enfatizado que a conveniência experimental do material não pode sobrepor a outras considerações de importância. A facilidade de execução do experimento pode não responder a questões relevantes.

Causa e efeito - Falando no sentido restrito, cada evento (ou acontecimento), é, seguramente, único; dessa forma, não será observado de novo. Porém, sob o ponto de vista prático, pode-se pensar que alguns eventos mostram semelhanças e, se certos aspectos são selecionados para estudo, torna-se apropriado falar de eventos similares, e, mesmo como figura de expressão, eventos idênticos.

É também óbvio que, nesse contexto, certos eventos vêm aos pares e que se um deles ocorre, o outro o acompanha ou segue.

Ao primeiro dos eventos se chama causa e ao segundo, efeito.

Percebe-se que um evento é a causa do outro quando a supressão do primeiro deles sempre causa a supressão do segundo. Se isso não ocorrer, é que ambos podem ser efeito de um terceiro evento.

Um objetivo prático da ciência é o de prever importantes eventos e aumentar o controle do homem sobre a natureza.

A Procura de causas - A parte difícil do processo de busca da(s) causa(s) de um fenômeno está na construção de hipóteses para serem comprovadas (testadas). Quando foi sugerido que a picada de um mosquito infectado pudesse ser a causa da malária, essa hipótese pode ser facilmente testada. A evidência para essa relação de causa e efeito deveria existir de longa data; apesar disso, a ligação entre os dois fenômenos só mais recentemente foi descoberta.

Alguns métodos foram propostos para estabelecer relação de causa e efeito.

1 - **Método da concordância** - Esse método estabelece que se em todas as circunstâncias em que um evento ocorre está sempre presente um certo fator, esse fator pode ser a causa do evento.

Se na presença de eventos **a, b, c, d** se produz o fenômeno **A** e na presença de **d, e, f, g**, também se produz **A**, então **d** pode ser a causa de **A**.

Na verdade, pode ter passado despercebida a existência dos eventos **h** e **i** nos dois casos, e esses eventos serem os relevantes; então, o método falha.

Citam, como piada, o fato de um pesquisador ter tomado, durante três festas, whisky com soda na primeira, gim com soda na segunda e vodka com soda na terceira. Nos três casos teve dor de cabeça na manhã seguinte e, como pesquisador, concluiu que a soda era responsável pela dor de cabeça.

Apesar das limitações do método, não se deve deixar de enfatizar sua grande utilidade em sugerir hipóteses.

2 - Método da diferença - Este método estabelece que: se dois conjuntos de circunstâncias diferem por um único fator e, se na presença do fator, o fenômeno se produz e na outra circunstância não se produz, o fator a mais é a causa do fenômeno.

Se na presença de a, b, c, d, e, f, o fenômeno A se produz e na presença de a, b, c, d, e, não se produz, f é a causa do fenômeno.

3 - Método da variação concomitante - Esse método estabelece que se na circunstância a, b, c, d, f₁, em que f tem intensidade f₁ se verifica o fenômeno A₁ e na circunstância a, b, c, d, f₂ se verifica o fenômeno A com intensidade A₂, então o fator f é a causa do fenômeno A.

Esse método representa uma versão alargada da combinação dos outros dois métodos.

Por exemplo, se dois lotes de ratos são alimentados de forma idêntica e em um dos lotes aos alimentos é adicionada certa droga, e os ratos desse lote morrem a seguir, é um suporte na evidência da hipótese de que a droga foi a responsável pela morte dos ratos. Entretanto, o resultado pode ser devido ao acaso; quem sabe, os ratos iam morrer de qualquer maneira. A dificuldade está conectada com a expressão “idênticas circunstâncias”. As duas circunstâncias não são sempre exatamente iguais; no melhor dos casos podem diferir no tempo, no espaço ou em ambos, e, na verdade, podem diferir, praticamente, em um número muito grande de outros aspectos.

O método de executar os experimentos utilizando delineamentos experimentais, análise estatística e conclusões probabilísticas é particularmente desenvolvido para lidar com essas dificuldades e em conseguir resultados satisfatórios.

Mais de oitenta anos de sua utilização evidenciam sua excelência e seu papel de relevância na metodologia experimental.

12. USO DE EQUIPAMENTOS NA PESQUISA

O uso de equipamentos é comum nas pesquisas puras e aplicadas.

Em determinadas ciências, como a física e a química, esse uso é obrigatório em todas as fases da pesquisa. Em outras ciências eles podem ser utilizados em maior ou menor escala.

Alguns aspectos importantes relacionados com o uso de equipamentos serão considerados de forma sucinta. Um bom apanhado sobre o assunto encontra-se em BRIGHT WILSON (1952).

A importância da facilidade de acesso e da desmontagem - Apesar de milhões de motores de automóveis serem, anualmente, construídos e funcionarem satisfatoriamente, aparece a necessidade de reparos, mesmo em motores novos. Se for verdadeiro para produtos padronizados, também na pesquisa é preciso ter acesso às partes interiores de um equipamento experimental.

Nem sempre o equipamento experimental foi projetado eficientemente e, em muitos casos, surge a necessidade de alterações. Muitos equipamentos, tais como canos, fios, equipamentos elétricos, etc., apesar de necessitarem de suporte bem fixado, têm que ser presos de forma que possam ser removidos, se necessário.

Questões de conveniência operacional - Os equipamentos têm que ser projetados de forma que os painéis fiquem situados em posição e altura confortáveis, diante da grande quantidade de leituras cuidadosas que precisam ser efetuadas.

Controle automático - Equipamentos grandes, sofisticados e complexos, que requerem ajustamentos de várias variáveis (pressão, temperatura, tensão, etc) devem, se possível, ser de manejo fácil e possibilitar o controle de forma automatizada.

Segurança - Precauções com a segurança são importantes, não só para prevenir acidentes como para proporcionar “senso de segurança” ao operador.

Equipamentos para uso em pesquisas de campo - Equipamentos grandes são de difícil transporte; equipamentos compactos, que possibilitem facilidade de operações e leituras em campo aberto são desejáveis (metro, polarímetro de campo, balança, etc.).

É ineficiente tentar operar um equipamento que está calibrado de forma inadequada, porque muitas repetições terão que ser feitas visando ao ajuste adequado do equipamento.

Controle de fatores perturbadores - A finalidade básica de um experimento é testar o efeito de certas variáveis selecionadas. Para conseguir esse feito de forma adequada, outras variáveis que poderiam influenciar ou perturbar os resultados precisam ser neutralizadas. Assim, essas variáveis estranhas devem ser mantidas controladas, para evitar distúrbios.

A temperatura do local poderá flutuar, bem como os campos elétricos e magnéticos, variações da intensidade da luz, os sinais de alta frequência, as ondas do som, os raios-x, as radiações precisam ser mantidas sob controle.

A proteção dos equipamentos contra vapores corrosivos, poeira, umidade, etc., deve ser uma preocupação constante.

Calibração e padrão - Medições de natureza absoluta são limitadas pela precisão da calibragem dos equipamentos e pelos padrões básicos adotados.

O pesquisador inexperiente pode vir a se aborrecer com os resultados das leituras nos equipamentos como espectrógrafos, medidores de pH, contador Geiger, etc., se confiar demais na calibração do fabricante do equipamento. Os equipamentos devem ser testados realizando leituras e utilizando dosagens padronizadas antes de se iniciar as leituras com o material experimental.

A calibração deve levar em conta a exatidão requerida para a solução do problema em estudo.

Outros temas relacionados com problemas ou precauções no uso de equipamento são tratados por BRIGHT WILSON (1952).

Controle do equipamento - Muitas vezes, um novo equipamento não funciona de forma adequada porque uma variável importante está fora de controle. Uma dessas variáveis mais comuns é a temperatura; outra é a voltagem. Uma lista de outros fatores que podem prejudicar está relacionada a seguir: isolamento e filtragem; balanceamento; compensação; regulação.

Deteção de um evento - Existem situações em que o pesquisador, na busca e identificação de certos fenômenos, tenha de procurá-los em diferentes pontos do campo pesquisado.

BRIGHT WILSON (1952) aponta as etapas seguintes:

- 1) Saber tanto quanto possível acerca do objeto procurado;
- 2) Provar, se possível, que o objeto existe na área de busca;
- 3) Usar o mais eficiente método de detecção;
- 4) Estar certo que você verá o objeto, se ele for encontrado;
- 5) Estar certo de que você não verá o objeto se ele não estiver lá;
- 6) Fazer a busca sistemática e não desordenadamente;
- 7) Descobrir, se possível, uma maneira de determinar a direção aproximada do objeto em cada ponto de busca;
- 8) Em muitos problemas multidimensionais é usualmente necessário desenvolver um tipo de trajetória unidimensional;
- 9) Marcar, se possível, o ponto de partida e anotar o caminho seguido;
- 10) Usar um processo convergente;
- 11) Procurar o lugar mais provável em primeiro lugar;
- 12) Distribuir o tempo disponível, facilidades ou esforços em proporções razoáveis em diferentes regiões;
- 13) Considerar a probabilidade finita de perder o objeto e passar por ele sem perceber;
- 14) Considerar todos os efeitos que o procedimento de busca possa ter sobre o objeto buscado.

Esses procedimentos parecem bastantes óbvios em objetivos militares (defesa antissubmarina, detecção de aviões inimigos, etc.).

Entretanto, existem analogias como busca para a localização de pontos iniciais de ataque de uma doença ou praga em uma grande região. A busca de “quazars” e de novas galáxias são outros exemplos, na área de astrofísica.

Obtendo o máximo das informações - Pode parecer impossível que se possa aprender muito sobre uma estrela, um mero ponto de luz no céu. Entretanto, utilizando todas as informações disponíveis os astrofísicos já determinaram, para muitas estrelas, distância, massa, velocidade, tamanho, período de oscilação, campo magnético, temperatura, e, até, informações sobre sua composição química.

Qualquer que seja a natureza do fenômeno em observação, é muito provável que se possa produzir uma parte adicional de informações úteis, mesmo sem mudar as condições das observações. Pela mudança de condições, maiores oportunidades podem surgir.

Se a teoria ou os conhecimentos existentes indicam que mudanças feitas em variáveis mais difíceis de trabalhar possam produzir informações úteis, é desejável que se tente novas oportunidades, até em casos em que possa haver maior perigo. Progressos no estudo dos “vírus filtráveis” ilustram o valor de usar novas técnicas, tais como o microscópio eletrônico e o sombreamento dos pequenos indivíduos em observação com ouro, etc.

O experimentador deve, não somente esmiuçar os aspectos relevantes das novas observações, que podem contribuir para a solução do problema em estudo, mas também estar alerta para a detecção de novos fenômenos, de todos os tipos.

As descobertas devidas ao acaso e que têm contribuído tanto para a humanidade vêm sendo normalmente efetuadas por pesquisadores treinados, sobretudo no campo pesquisado. O caso da penicilina, descoberta por Fleming, é um exemplo.

Pela complexidade da ciência, é muito difícil esperar de um pesquisador de “fora da área” que saiba distinguir o que é facilmente explicável ou que consiga ir ao âmago do fenômeno, se o mesmo é um fenômeno novo.

13. MODELOS, MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

O desejo de descrever os fenômenos em termos de conceitos familiares levou os cientistas, principalmente na área da física, a um amplo uso de modelos mecânicos.

A tendência é de substituir esses modelos, quando possível por fórmulas matemáticas abstratas. Um cientista de sucesso sabe que todos os modelos são um tanto deficientes e que certos aspectos não se aplicam ao problema. Um químico que faz um modelo de madeira de um composto orgânico, não espera que outros acreditem que o átomo de carbono do metano, por exemplo, seja preto e os átomos de hidrogênio, sejam de cor azul. Ele sabe o que é relevante no modelo e o que é irrelevante. Inicialmente, a molécula de metano era representada por CH_4 . Posteriormente, foi feita a representação pelas valências no plano, do tipo ao lado, o carbono, tetravalente, se ligando a cada átomo de hidrogênio. Mais tarde passou-se a representar, por uma figura no espaço, o tetraedro (WEATHERALL, 1970).

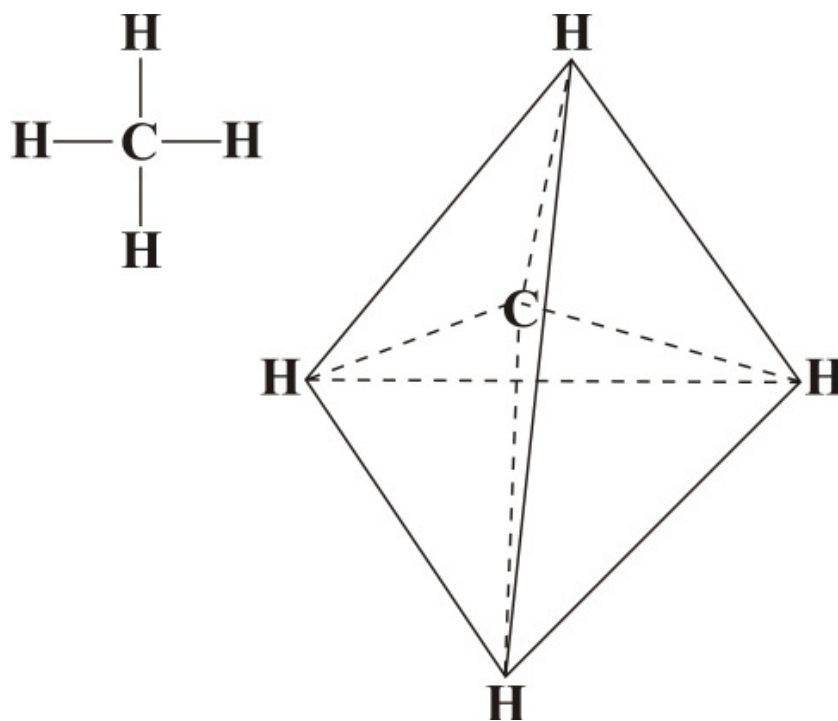


Figura 5. Evolução das moléculas de metano (CH_4) em três representações. A situação atual é de difícil representação porque os elétrons giram em torno do núcleo em várias órbitas mudando constantemente os planos das órbitas executadas.

A matemática difere das ciências naturais por ser baseada em axiomas (definições) que pode ou não se adaptar a qualquer parte da natureza. A Geometria Euclidiana é uma parte legítima da matemática, haja ou não, no Universo, entidades com as propriedades de pontos, linhas e planos euclidianos.

Se alguma porção da Ciência tem princípios que coincidem com os axiomas de determinado ramo da Matemática, então, todos os teoremas, com base nesses axiomas, podem ser traduzidos em consequências lógicas dos princípios estabelecidos daquela ciência (BRIGHT WILSON, 1952). Exemplo:

Considerar uma classe de entidades com as seguintes propriedades:

Existe definido um modo associativo de combinar duas entidades A e B, de tal forma que produza uma terceira entidade C, escrevendo-se $C = AB$.

O modo de combinar é tal que, AB pode ser diferente de BA. Desse modo, tanto AB como BA, podem ser membros da classe.

Existe ainda uma entidade I na classe, que tem propriedade tal, que, para cada A, se verifica que $AI = IA = A$ (I é a unidade).

Finalmente, para cada A, deve existir uma entidade A^{-1} de classe, tal que, $A^{-1}A = AA^{-1} = I$. Então A^{-1} é o inverso de A.

Ora, a simetria de operações de um cristal, tais como, rotação de eixos de simetria, reflexões no plano de simetria, etc, são entidades que satisfazem esses axiomas no modo de combinação de sucessivas operações do cristal.

Dessa forma, todas as consequências desses axiomas são aplicáveis às propriedades de simetria do cristal. Por exemplo, pode ser rigorosamente provado que, se as possíveis operações de simetria do cristal são limitadas a rotações acerca de dois, três, quatro e seis eixos, reflexões nos planos e operações sucessivas destes, então, são possíveis trinta e dois conjuntos diferentes de operações de simetria, as trinta e duas classes de cristal.

O sistema de axiomas citado é a base do ramo da matemática conhecida por teoria dos grupos e tem muitas aplicações em ciência, na qual as entidades são várias operações de simetria, permutações, matrizes e transformações lineares; por exemplo, certos tipos de delineamento experimental também foram obtidos aplicando o conceito de permutações, etc.

Estatística - Na experimentação agrônômica de campo, o modelo estatístico utilizado para o delineamento experimental em blocos ao acaso, é do tipo:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij} \quad (\text{população})$$

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij} \quad (\text{amostra})$$

No modelo, Y_{ij} é a produção obtida no canteiro ij, M representa a média geral ao redor da qual os valores flutuam, T_i representa o efeito do tratamento i e B_j , o efeito do bloco j e E_{ij} o erro experimental.

São aceitas umas tantas pressuposições; os efeitos do tratamento e do bloco são aditivos; os componentes E_{ij} são variáveis aleatórias, independentes, distribuídas normalmente ao redor da média zero, com a mesma variância; há independência entre os E_{ij} e entre os outros componentes, a covariância entre eles sendo, portanto, nula. Para a amostra, idênticas pressuposições são feitas. Essas pressuposições se verificam na pesquisa, pelo menos de forma aproximada, assegurando a veracidade das conclusões da análise estatística e do teste das hipóteses feitas com avaliação probabilística das conclusões.

Com relação aos resultados do experimento nos valores Y_{ij} , m é a média do experimento, t_i é o valor obtido no experimento para o efeito do tratamento i, b_j é o valor do bloco j, e e_{ij} o erro experimental.

Um resumo de métodos estatísticos, com aplicações na área da pesquisa é apresentado em livros de Estatística (PIMENTEL GOMES, 1985).

14. INCENTIVOS E RECOMPENSA PARA O PESQUISADOR

O principal incentivo da pesquisa é a satisfação da sua curiosidade, ao seu instinto criativo, o desejo de saber se sua conjectura levou-o à criação de um novo conhecimento e também o desejo de sentir o reconhecimento pelos resultados advindos.

O desejo de ver o seu nome em um artigo impresso e o reconhecimento obtido na comunidade científica é, indubitavelmente, um dos mais importantes incentivos na pesquisa (BEVERIDGE, 1950).

O ser humano com mentalidade de pesquisador fica fascinado com o desafio intelectual que as coisas

sem explicações representam e se delicia em exercitar sua mente na busca de uma solução. Um exemplo muito apreciado na vida cotidiana é o da solução de palavras cruzadas; outro exemplo é o de aplicar o raciocínio na tentativa da descoberta do assassino em um filme policial.

Einstein, citado por BEVERIDGE (1950) considerava a existência de três tipos de pesquisadores - aquele que adentrava a área da pesquisa porque ela oferecia uma oportunidade de exercitar o seu talento como o atleta que tem prazer em por em prova sua habilidade; outro grupo é representado por aqueles que consideram sua área de trabalho como um meio de vida e que, dificilmente poderão ser bons profissionais, e, que, provavelmente, teriam mais desempenho em outras atividades, e finalmente, os verdadeiramente devotados, mais raros e capazes de contribuir para a área do conhecimento.

Outros tópicos como administração de pesquisa, pesquisa bibliográfica, confecção de relatórios, preparo de artigos científicos, etc., são partes de um seminário efetuado no Instituto Agrônomo de Campinas, em 1970.

15. EXEMPLOS DA EXECUÇÃO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS

Exemplo 1 - Um exemplo da utilização do método de amostragem na pesquisa agropecuária é transcrito a seguir:

Supor que se deseja saber que porcentagem de lavradores com propriedades próximas de 20 alqueires adubam o milho.

Qual seria o tamanho da amostra a ser desenvolvida para garantir com um erro de 5%, a estimativa dessa porcentagem?

Em termos técnicos, deseja-se saber qual é o valor de N (número de propriedades a serem entrevistadas) para garantir a estimativa P da porcentagem, isto é com erro inferior a E = 5%.

Sabe-se que pela distribuição binomial $\sigma_P = \sqrt{\frac{PQ}{N}}$.

Uma aproximação da distribuição binomial pela distribuição normal é, no caso, plenamente satisfatória.

O valor Z (valor da curva normal), que demarca a área de 5% ($\alpha = 5\%$) é $Z = 1,96$, com o erro $\alpha/2 = 0,025$ em cada cauda da distribuição.

Para simplificar, vamos supor que se sabe que a porcentagem P deverá situar-se entre 30% e 60%.

Vai-se assumir para a determinação de N, o valor intermediário $P = 50\%$.

Então, aproximadamente (1,96 ~ 2,0) proporciona $\left(2 \cdot \sqrt{\frac{PQ}{N}}\right) = 5$ ou

$$N = \frac{4PQ}{25} = \frac{4(2500)}{25}, \text{ e então: } N = 400.$$

A resposta é a seguinte: deve-se entrevistar, então, cerca de 400 propriedades de forma que a amostragem a ser feita venha a cobrir proporcionalmente, as diferentes regiões do Estado de São Paulo, a estimativa estando sujeita a um erro de 5%.

Exemplo 2 - Experimento de avaliação do efeito da muda de cana sadia e sua resposta à adubação.

Na área agrônômica um exemplo de utilização do método experimental consistiu na pesquisa visando avaliar a resposta da cana de açúcar proveniente de variedades livres do vírus da degenerescência das soqueiras à adubação. A doença causava perda na produção das soqueiras; pesquisa da Seção de Virologia do IAC descobriu um tratamento adequado à neutralização desses vírus.

O objetivo da pesquisa era o de avaliar o ganho em produção advindo da adubação de canas sadias livres de vírus em relação à cana infectada, de grande importância para os usineiros.

O experimento efetuado visava, além disso, comparar outras situações, havendo interesse nas seguintes hipóteses:

- A) Existe uma resposta à adubação da cana sadia, viável economicamente?
- B) A cana sadia é mais produtiva que a cana infectada na presença de doses adequadas de fertilizantes?
- C) A resposta média dos dois tipos de cana à adubação é significativa?
- D) Existe uma resposta média importante atribuível à sanidade da muda?
- E) Existe efeito aditivo dos fatores seleção e adubação ou há interação?

Para esclarecer o assunto, foi montado pela antiga Seção de Cana-de-Açúcar do IAC um experimento com seis repetições, quatro tratamentos casualizados na forma de um fatorial 2 x 2, com os seguintes tratamentos:

- A) Cana selecionada plantada sem adubação;
- B) Cana selecionada, adubada de acordo com a adubação recomendada;
- C) Cana infectada sem adubação;
- D) Cana infectada adubada.

Os dados obtidos são apresentados na tabela 1:

Tabela 1. Tratamentos, repetições e dados experimentais obtidos em experimento de cana-de-açúcar

Tratamentos	Repetições						Totais dos Tratamentos
	1	2	3	4	5	6	
A – Seleção sem adubo	48,0	40,8	58,4	56,5	48,7	53,0	T1 = 305,4
B – Seleção adubada	78,8	88,1	88,3	86,2	89,2	71,8	T2 = 502,4
C – Infectada sem adubo	60,2	39,8	46,3	46,6	50,6	45,7	T3 = 289,2
D – Infectada adubada	77,5	72,2	68,8	77,0	79,4	71,6	T4 = 446,5

No experimento, procurava-se avaliar o efeito da seleção contra o vírus, e, também, o efeito da adubação. Efetuados os cálculos estatísticos obteve-se a tabela a seguir, resultado da análise da variância (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância do experimento com cana-de-açúcar com diferentes tratamentos

Fonte de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Entre Tratamentos	3	5512,62	1837,54	47,80**
Dentro de Tratamentos	20	768,07	38,40	
Total	23	6280,69	273,07	

** Teste F significativo a 1% de probabilidade.

O valor crítico de F para 3 e 20 graus de liberdade e para o erro tipo I com $\alpha = 0,05$ é $F_c = 3,10$. Obteve-se $F = 47,80$, significativo a 1%; a hipótese de nulidade (não há diferença entre as médias dos tratamentos) é rejeitada. A hipótese alternativa: existem diferenças, é aceita.

O cálculo da diferença mínima significativa (dms) proporciona:

$$dms = t \sqrt{\frac{2 s_D^2}{r}} = 2,086 \sqrt{\frac{2 (38,40)}{6}} = 7,47 .$$

O valor crítico para o teste de t de Student, adotado, para o erro tipo I de 0,05 foi 2,086. Duas médias que diferirem por valores maiores que o da diferença mínima significativa serão consideradas como estatisticamente diferentes.

As médias obtidas foram, respectivamente:

$$\bar{X}_1 = 50,9 \quad \bar{X}_2 = 83,7 \quad \bar{X}_3 = 48,2 \quad \bar{X}_4 = 74,4$$

A resposta à hipótese **a)** é dada pela diferença $\bar{X}_2 - \bar{X}_1 = 83,7 - 50,9 = 22,8$.

O aumento foi, portanto, significativo. Se o valor dessa diferença for razoavelmente maior que o custo da adubação empregada, então o resultado será economicamente satisfatório.

A resposta à hipótese **b)** é dada pela comparação: $\bar{X}_2 - \bar{X}_4 = 83,7 - 74,4 = 9,3$.

O resultado foi significativo a $\alpha = 0,05$ e, portanto, a cana sadia, adubada proporcionou um aumento significativo de produção em relação à cana infectada adubada.

A resposta à hipótese **c)** é dada pela comparação: $(\bar{X}_2 - \bar{X}_1) + (\bar{X}_4 - \bar{X}_3)$.

O cálculo pode ser feito pelo teste:

$$F = \frac{(T_2 + T_4 - T_1 - T_3)^2}{s^2 \times 4 \times r} = \frac{(374,3)^2}{38,40 \times 4 \times 6} = 152,02$$

O valor de F crítico para $\alpha = 0,01$ e para um e vinte graus de liberdade é $F_c = 8,10$. Então, o efeito médio da adubação foi altamente significativo.

A resposta à hipótese **d)** é dada pela comparação $(\bar{X}_1 + \bar{X}_2) - (\bar{X}_3 + \bar{X}_4)$

Pelo teste F, alternativo:

$$F = \frac{(T_1 + T_2 - T_3 - T_4)^2}{s^2 \times 4 \times r} = \frac{(305,4 + 502,4 - 289,2 - 446,5)^2}{38,40 \times 4 \times 6} = \frac{5198,41}{921,60} = 5,64$$

O valor crítico de F para 1 e 20 graus de liberdade e $\alpha = 0,05$ é $F_c = 4,35$. Então, o resultado foi significativo a 0,05.

A resposta à hipótese **e)** é dada pelo teste F:

$$F = \frac{[(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)]^2}{s^2 \times 4 \times r} = \frac{(39,7)^2}{38,40 \times 4 \times 6} = 1,71$$

O teste F foi não significativo. A resposta foi: a interação foi não significativa; o efeito dos dois fatores, seleção e adubação foram aditivos.

Exemplo 3 - O exemplo que vai ser analisado se refere a um experimento de combate à cochonilha “*Cerococcus catenarius*”, efetuado em 1958. Um lote de cafeeiros estava altamente infectado pela praga. Foram escolhidos oito tratamentos compostos de inseticidas, óleo mineral e um controle (sem tratamento), e para avaliação, somente ramos bastante infectados e estabelecidas seis repetições. Após as pulverizações, foram contados os números de Cochonilhas vivas existentes em ramos obtidos de duas plantas tratadas (Tabela 3).

Os números de insetos vivos contidos nos cinco galhos foram:

Tabela 3. Dados experimentais representando o número de cochonilhas vivas em decorrência dos tratamentos efetuados

Tratamento	Repetições						Totais
	I	II	III	IV	V	VI	
A	1	0	0	0	0	0	1
B	0	8	1	0	2	0	11
C	0	0	0	7	1	0	8
D	133	150	87	22	152	199	743
E	1	0	22	37	1	0	61
F	2	38	44	0	0	3	87
G	4	1	1	97	2	2	107
H	106	296	178	53	178	219	1030
Totais	247	493	373	216	336	423	2048

Os tratamentos escolhidos foram:

A, B e C – três inseticidas diferentes aplicados como tal e sem misturas de óleo.

D – óleo mineral.

E – mistura dos tratamentos A e D.

F – mistura dos tratamentos B e D.

G – mistura dos tratamentos C e D.

H – testemunha, sem receber tratamento.

Foram calculadas as variâncias dentro de cada tratamento que evidenciaram grandes diferenças de variabilidade e ainda, o desvio-padrão, as médias e os coeficientes de variação.

Os resultados estão relacionados na tabela 4.

Tabela 4. Variâncias de cada tratamento (s_i^2), erro de cada tratamento (s_i), média do tratamento (\bar{X}_i) e coeficiente de variação de cada tratamento (CV_i)

Tratamento	s_i^2	s_i	\bar{X}_i	CV_i
A	0,16	0,4	0,16	250 %
B	9,76	3,12	1,83	170%
C	7,86	2,80	1,33	210%
D	3787,76	61,54	123,83	49%
E	246,96	15,71	10,16	154%
F	426,30	20,64	14,50	142%
G	1505,36	38,76	17,83	217%
H	7234,66	85,06	171,66	44%

Diante da heterogeneidade das variâncias comprovável por um dos testes de Bartlett, Cochran ou Hartley, optou-se por utilizar os erros próprios (de cada tratamento) no cálculo dos intervalos de confiança.

Os intervalos de confiança são calculados abaixo: $\bar{X}_i - t s_{\bar{X}_i} \leq \mu_i \leq \bar{X}_i + t s_{\bar{X}_i}$; então:

$$\begin{aligned}
 \text{A} \quad & 0,16 - 2,53 \frac{0,4}{\sqrt{6}} \leq \mu_A \leq 0,16 + 2,53 \frac{0,4}{\sqrt{6}} & 0 \leq \mu_A \leq 0,576 \\
 \text{B} \quad & 1,83 - 2,53 \frac{3,12}{\sqrt{6}} \leq \mu_B \leq 1,83 + 2,53 \frac{3,12}{\sqrt{6}} & 0 \leq \mu_B \leq 5,105 \\
 \text{C} \quad & 1,33 - 2,53 \frac{2,80}{\sqrt{6}} \leq \mu_C \leq 1,33 + 2,53 \frac{2,80}{\sqrt{6}} & 0 \leq \mu_C \leq 8,886 \\
 \text{D} \quad & 123,83 - 2,53 \frac{61,54}{\sqrt{6}} \leq \mu_D \leq 123,83 + 2,53 \frac{61,54}{\sqrt{6}} & 59,22 \leq \mu_D \leq 188,435 \\
 \text{E} \quad & 10,16 - 2,53 \frac{15,71}{\sqrt{6}} \leq \mu_E \leq 10,16 + 2,53 \frac{15,71}{\sqrt{6}} & 0 \leq \mu_E \leq 52,556 \\
 \text{F} \quad & 14,50 - 2,53 \frac{20,64}{\sqrt{6}} \leq \mu_F \leq 14,50 + 2,53 \frac{20,64}{\sqrt{6}} & 8,931 \leq \mu_F \leq 20,069 \\
 \text{G} \quad & 17,83 - 2,53 \frac{38,73}{\sqrt{6}} \leq \mu_G \leq 17,83 + 2,53 \frac{38,73}{\sqrt{6}} & 0 \leq \mu_G \leq 58,521 \\
 \text{H} \quad & 171,66 - 2,53 \frac{85,06}{\sqrt{6}} \leq \mu_H \leq 171,66 + 2,53 \frac{85,06}{\sqrt{6}} & 82,363 \leq \mu_H \leq 260,954
 \end{aligned}$$

As seguintes conclusões são possíveis:

- 1) Os tratamentos A, B, C, E e G não diferiram entre si (os intervalos de confiança se interpenetraram).
- 2) Os tratamentos D e H foram inferiores aos tratamentos A, B, C, E F e G (os intervalos de confiança são disjuntos).
- 3) Os tratamentos D e H não diferiram entre si.
- 4) Como os dados se referem a insetos que sobreviveram às aplicações dos inseticidas, os tratamentos A, B, C, E, F e G foram mais eficientes que os tratamentos D e H.
- 5) O tratamento F foi menos eficiente que os tratamentos A, B e C.
- 6) A adição de óleo mineral nos tratamentos E, F e G prejudicou o desempenho desses tratamentos em relação aos tratamentos A, B e C.

Exemplo 4 - No IAC foi instalado a partir de 1962-1963 um experimento de rotação de culturas em que se procurou avaliar o efeito de dois tipos de rotação (com todas as fases) e a produção contínua de milho, algodão, amendoim, cana-de-açúcar e arroz. Essas culturas foram adubadas anualmente com a mesma dose de NPK além do cultivo de milho (sem adubação) e outro tratamento com NPK e calagem (Ca + Mg) só no primeiro ano, Lombardi Neto et al (2002).

Sendo o milho a planta escolhida para avaliar as diferenças de fertilidade do solo, o objetivo da análise parcial apresentada abaixo se refere só às variações de tratamentos com o milho.

Tabela 5. Valor médio de cada um dos quatro tratamentos do milho produzido anualmente em 11 anos do ensaio de rotação de culturas

Tratamentos	Produção de milho (kg/ha)										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
1- Milho sem adubo	1425	1313	1950	1028	945	950	583	800	698	504	279
2- Milho adubado	2880	2275	3503	2242	528	2312	767	1678	1622	1075	900
3- Milho adubado + Calcário	4230	3938	5358	5470	3075	4600	2753	3907	4275	3645	3325
4- Milho da rotação adubado + Calcário	5425	3455	4812	5350	3250	5298	2528	4362	4738	5500	5792

Foi efetuada a análise da variância anual de todos os tratamentos com milho e também do algodão e de outras plantas.

A comparação $(\bar{X}_2 - \bar{X}_1)$ para o milho avalia o efeito da adubação NPK em relação ao milho sem adubo.

A comparação $(\bar{X}_3 - \bar{X}_2)$ avalia o efeito advindo da calagem (Ca + Mg) efetuada em complemento à adubação NPK calagem só aplicada no 1º ano, em relação à adubação NPK anual.

A comparação $(\bar{X}_4 - \bar{X}_3)$ avalia o efeito adicional proporcionado pela rotação Milho, Algodão, Amendoim com as três fases: Milho, Algodão, Amendoim / Algodão, Amendoim, Milho / Amendoim, Milho, Algodão, sendo somente considerada a produção de milho da rotação, no ano.

Para analisar estatisticamente as citadas comparações, aplicou-se o teste de R.A. Fisher de Combinação de probabilidades (FISHER, 1932, pg. 97). Esse autor demonstrou que se aplicar o teste **t** de Student ou outro tipo de teste e avaliar a probabilidade exata do resultado, **P(t)**, obtém-se - **2lnP(t)**, resultado correspondente ao teste de Qui-quadrado (χ^2) com 2 graus de liberdade.

$$t = \frac{(\bar{X}_i - \bar{X}_j)}{s_E \sqrt{\frac{2}{r}}}$$

Por esse motivo, efetuou-se o teste de t em que $s_E \sqrt{\frac{2}{r}}$, sendo r = 4 e s_E é o erro correspondente

ao Quadrado Médio do Resíduo da Análise da variância da cultura do milho do ano. A partir de t, calcula-se P(t) e daí se obteve -2lnP(t) e o χ^2 com 2 graus de liberdade.

Na tabela 6, estão listados os valores de χ^2 obtidos anualmente para cada comparação e sua significância.

Tabela 6. Valores de χ^2 e significância dos testes das várias hipóteses relacionadas com a produção do milho do ensaio de rotação

Comparações	Valores de Qui-quadrado (χ^2)										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
1) $(\bar{X}_2 - \bar{X}_1)$	9,42**	8,69*	13,82**	18,45**	0,12	9,92**	2,94	9,02*	13,82**	3,89	4,55
2) $(\bar{X}_3 - \bar{X}_2)$	8,83*	18,42**	18,42**	18,76**	15,42**	18,72**	18,42**	15,42**	18,42**	18,42**	18,42**
3) $(\bar{X}_4 - \bar{X}_3)$	7,73*	0,24	0,18	0,95	1,91	4,93	0,40	4,61	6,54*	18,42**	18,42**

Os valores críticos são: para χ^2 com $\alpha = 0,05$, $\chi^2_c = 5,99$ e para $\alpha = 0,01$, $\chi^2_c = 9,21$. Como os χ^2 são aditivos, $\Sigma \chi^2$ para a comparação **1)** é $\Sigma \chi^2 = 94,31^{**}$, para a comparação **2)** é $\Sigma \chi^2 = 187,05^{**}$ e para a comparação **3)** é $\Sigma \chi^2 = 64,32^{**}$. Os χ^2 críticos para 22 graus de liberdade (2x11) são para $\alpha = 0,05$ $\chi^2_c = 33,9$ e para $\alpha = 0,01$ $\chi^2_c = 40,3$.

Considerando o efeito total (dos 11 anos), verificou-se aumento altamente significativo para a comparação 1) $(\bar{X}_2 - \bar{X}_1)$, isto é, a adubação anual do milho em relação ao milho não adubado foi altamente significativa. Comparação 2) $(\bar{X}_3 - \bar{X}_2)$ foi também altamente significativa evidenciando o efeito benéfico da única calagem, persistente durante os 11 anos do experimento.

Comparação 3) $(\bar{X}_4 - \bar{X}_3)$ representando a diferença entre a produção do milho da rotação que recebeu anualmente NPK e calagem no primeiro ano e a produção do milho contínuo que recebeu NPK anualmente e só calagem no primeiro ano, foi também altamente significativa; esse efeito foi pouco sensível nos primeiros anos, acentuando-se, marcadamente, nos últimos três anos, o que permite supor que os benefícios deveriam se manter nos próximos anos se o ensaio tivesse tido continuação.

Exemplo 5 - Experimento visando à comprovação do efeito da vacinação no combate ao carbúnculo.

A vacina foi produzida por Luiz Pasteur e seus assistentes na França em meados do século XIX. KRUIF (1945) descreveu a vida de uma dezena de pesquisadores que ajudaram a humanidade na luta contra as pragas e doenças. Referindo-se a Luiz Pasteur (1822-1895), assim se exprimiu: Foi Professor de Química na Universidade de Estrasburgo, França. Nas suas pesquisas químicas descobriu as formas “cis” e “trans” de alguns compostos orgânicos. Quando surgiu a “Pebrina, protozoário, *Nosema bombycis*”, praga do bicho da seda, os criadores franceses solicitaram o auxílio de Pasteur, que, depois de perseverantes pesquisas, encontrou a solução para o problema, que consistiu em só aproveitar os ovos das borboletas sadias, provenientes das lagartas limpas das lesões visíveis nas lagartas contaminadas. Mais tarde ajudou os viticultores franceses a evitar fermentações espúrias que azedavam o vinho, transformando-o em vinagre; o processo consistiu em aquecer o mosto a 65 °C, o que eliminava os micro-organismos responsáveis pelo problema.

Depois, ajudou os cervejeiros da França a eliminar os agentes responsáveis pela produção de cerveja com gosto desagradável.

Posteriormente, preconizou o que hoje se conhece como “pasteurização” recomendando o aquecimento de certos alimentos como o leite, a lavagem de mãos, para prevenir a ação dos micróbios.

A seguir, descobriu a forma de produzir vacinas contra o carbúnculo, doença responsável por grandes prejuízos aos criadores de ovelhas e de gado, na França.

Finalmente, produziu a vacina contra a hidrofobia, salvando indivíduos mordidos por cães hidrófobos que, se não tratados, acabariam loucos, terminando a vida em grande sofrimento.

Pasteur e seus assistentes cultivaram os bacilos do carbúnculo em meio de cultura e notaram que depois de vários transplantes, perdiam a virulência e daí produziram “vacinas fracas” para imunizar pequenos animais e “fortes” que imunizavam coelhos e ovelhas.

Ao anunciar a descoberta da vacina surgiu uma grande celeuma, principalmente dos veterinários, pois havia os que acreditavam e os que punham em dúvida a eficiência da vacina. Tentou-se resolver a celeuma e escolheu-se um recinto, perto de Paris para local do pleito. Juntou-se na ocasião pela importância do assunto, cientistas, notáveis da política, jornalistas, criadores e curiosos. Foram incluídas no grupo 40 ovelhas e vacas, divididas em dois lotes iguais, sendo metade submetida à inoculação com a vacina e metade não.

Dias depois, todos os animais foram submetidos à inoculação com os bacilos do carbúnculo. Cerca de uma semana depois, as pessoas voltaram para verificar o que havia ocorrido. Todas as ovelhas e as vacas que não foram vacinadas morreram e os animais que receberam a vacina estavam como se nada houvesse acontecido, pastando tranquilamente.

A consagração foi unânime e dizem que até um dos veterinários mais importantes e anteriormente crítico veemente chegou a Pasteur e disse: se você me vacinar estarei disposto a receber a inoculação do carbúnculo.

Nessa época não havia procedimentos estatísticos para avaliar as conclusões em bases probabilísticas. Atualmente, com base nas 40 ovelhas isso é possível. Inicialmente, realiza-se o teste de χ^2 de independência dos dois fatores - vacinação e sobrevivência.

Na tabela 7, verificam-se os resultados.

Tabela 7. Experimento fatorial (2 x 2) para o teste de independência relativo ao efeito da vacina e da sobrevivência das ovelhas constantes do experimento de vacinação

Animais	Vacinados		Não vacinados		Totais
	Observados	Esperados	Observados	Esperados	
Vivos	(a) 20	10	(b) 0	10	20
Mortos	(c) 0	10	(d) 20	10	20
Totais	20	20	20	20	40

Se existisse independência entre os dois fatores, então, $p(a) = \frac{20}{40} \times \frac{20}{40} \times 40 = 10$.

O valor esperado para a célula (a) é, portanto, 10. Como os totais marginais são fixos, então (b) = 10, (c) = 10 e (d) = 10.

$$\chi^2 = \sum \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

sendo, fo é a frequência observada e fe a esperada.

$$\chi^2 = \frac{(20-10)^2}{10} + \frac{(0-10)^2}{10} + \frac{(0-10)^2}{10} + \frac{(20-10)^2}{10} = 40$$

Para 1 grau de liberdade e $\alpha = 0,05$, $\chi^2_c = 3,84$ e para $\alpha = 0,01$, $\chi^2_c = 7,88$.

O resultado $\chi^2 = 40$ foi, portanto, altamente significativo e o teste de independência entre os dois fatores é rejeitado, ou seja, vacinação não é independente da sobrevivência.

Pode-se avaliar a probabilidade de obter, por efeito do acaso, os resultados obtidos.

O teste adequado para isso é o teste exato de R.A. Fisher para tabelas 2 x 2. Esse teste usa a tabela já apresentada e P, a probabilidade desse resultado ser obtido pelo acaso, é:

$$P = \frac{(a+b)! (c+d)! (a+c)! (b+d)!}{(a+b+c+d)! a! b! c! d!}$$

Sendo, a = 20; b = 0; c = 0 e d = 20.

Fatorial 0! = 1; fatorial 20! = 1 x 2 x ... x 19 x 20

$$P = \frac{20! 20! 20! 20!}{40! 20! 0! 0! 20!} = \frac{1}{1380 \times 899 \times 2849 \times 39} = \frac{1}{1240620 \times 11111} \approx \frac{1}{13.784.000.000}$$

Essa probabilidade é bem próxima de zero e, portanto, a probabilidade de não ser devida ao acaso, é altíssima, isto é: vacinada a ovelha ela sobreviveu, a não vacinada, morreu.

Exemplo 6 - O experimento com cafeeiros teve o objetivo de estudar a influência da distância entre covas nas linhas de cafeeiros, todas no espaçamento de 3,50 m entre linhas. Trata-se de Ensaio de Espaçamento de Cafeeiros plantado na variedade Bourbon Vermelho na antiga Estação Experimental de Ribeirão Preto do

Instituto Agronômico, a produção abrangendo o período de 1940-1950 (LAZZARINI et al., 1967). A análise dos resultados vai ser efetuada pelo pacote estatístico SAS, versão 8, 1999.

O experimento comparou espaçamento de 3,5 m x 3,5 m (tratamento 1), espaçamento de 3,5m x 3,30 m (tratamento 2) etc, até o espaçamento 3,50m x 1,70m (tratamento 10). Os dados representam a média por canteiro dos 10 anos de colheita, para produções com duas plantas por cova.

O procedimento adotado consistiu na análise estatística visando avaliar a curva de resposta aos espaçamentos dentro da linha e a determinação da produção máxima (tratamento mais eficiente), sendo calculadas as regressões lineares, quadrática e cúbica.

O programa do SAS está relacionado em seguida:

Título: 'Experimento de Espaçamento de Cafeeiros de Ribeirão Preto';

Data prod;

Input X Y;

Cards;

1 107

2 127

3 122

4 153

5 159

6 180

7 181

8 204

9 244

10 274;

proc glm;

model Y = X X*X X*X*X;

run;

A análise da variância foi a seguinte:

Tabela 8. Resultados da análise de variância do Experimento de espaçamento de cafeeiros do total médio dos 10 tratamentos

Fonte	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Pr > F
Modelo	3	25509,98	8503,33	118,40	<0,0001
Erro	6	430,92	71,82		
Total Corrigido	9	25940,90			
R ² = 0,983 Coef. Variação = 4,84 s _i = 8.476 \bar{Y} = 175,10					

Tabela 9. Decomposição do modelo da curva de resposta nos componentes lineares (X), quadráticos (X*X) e cúbico (X*X*X) para o tipo I da soma dos quadrados

Fonte	GL	Tipo I S.Q.	Quadrado Médio	F	Pr > F
X	1	24389,60	24389,60	339,59	<0,0001
X*X	1	896,48	896,48	12,48	0,0123
X*X*X	1	223,89	223,89	3,12	0,1279

Tabela 10. Decomposição do modelo e da Curva de Resposta nos componentes lineares, quadráticos e cúbicos para o tipo III da Soma dos Quadrados

Fonte	GL	Tipo III S.Q.	Quadrado Médio	F	Pr > F
X	1	257,622	257,622	3,59	0,1071
X*X	1	109,458	109,458	1,52	0,2632
X*X*X	1	223,892	223,892	3,12	0,1279

Tabela 11. Decomposição das estimativas e o erro-padrão respectivo do intercepto e dos componentes lineares, quadráticos e cúbicos

Parâmetro	Estimativa	Erro-padrão	Valor t	Pr > F
Intercepto	86,100	16,448	5,23	0,0019
X	23,349	12,328	1,89	0,1071
X*X	-3,139	2,543	-1,23	0,2632
X*X*X	0,269	0,152	1,77	0,1279

Comparando-se os resultados observados com os esperados pela regressão, tem-se:

Tabela 12. Valores observados e preditos dos tratamentos do Ensaio de Espaçamento de Ribeirão Preto

Tratamentos	Valores observados	Valores preditos	Resíduos
1	107	106,58	0,421
2	127	122,39	4,605
3	122	135,16	-13,163
4	153	146,5	6,501
5	159	158,08	0,920
6	180	171,33	8,670
7	181	188,07	-7,07
8	204	209,82	-5,824
9	244	238,22	5,77
10	274	274,89	-0,894

Comparando os dados observados com os estimados pela regressão nas variáveis X, X² e X³, vê-se que à medida que o espaçamento entre covas diminui a produção aumenta, sendo a maior a do espaçamento mais estreito, de 3,50 m x 1,70 m (tratamento 10).

Esse resultado foi confirmado por novos experimentos com novas variedades; atualmente, a Catuaí, a mais usada, é de porte menor, sendo recomendado o uso de linhas em contorno (cortando as águas) e espaçamentos ainda menores de 2,0 m e 2,5 m entre linhas e 1,00 m a 1,50 m entre covas, resultados de bastante sucesso.

Exemplo 7 - O exemplo a seguir refere-se a um experimento visando verificar a exequibilidade da implantação de lavouras de café em solos muito pobres. Trata-se de um experimento de cultivo de café em Latossolo Vermelho-Amarelo (de cerrado) na região de Batatais, SP (LAZZARINI et al., 1975).

O experimento foi mantido em blocos ao acaso com 6 repetições, com os tratamentos seguintes:

Tratamentos:

- 1- Controle sem adubo
- 2- Esterco
- 3- Esterco + NPK
- 4- Esterco + NPK + calcário dolomítico (Ca + Mg).
- 5- NPK
- 6- NPK + calcário
- 7- NPK + micronutrientes
- 8- NPK + micronutrientes + calcário

Os canteiros possuíam covas com quatro plantas; a dose de esterco utilizada continha 20 litros do produto; os adubos, calcário e micronutrientes e sua técnica de aplicação são detalhados na publicação citada.

O tratamento sem adubação não chegou a produzir e em três anos todas as plantas tinham morrido.

A análise da variância constou de sete tratamentos; foram feitas as análises por biênio para reduzir bastante a oscilação da produção de um ano para o outro. O erro experimental teve, portanto, 30 graus de liberdade. As análises por biênio e suas conclusões constam da citada publicação.

A análise que vai ser apresentada é diferente da que constou no trabalho; procurou-se efetuar a análise pela técnica de combinação de probabilidades, segundo Fisher (1932), já detalhada no exemplo 4.

Os dados médios dos dois anos estão relacionados na tabela 13.

Tabela 13. Dados médios de dois anos (biênios) do Experimento de Adubação de Batatais, em solos de cerrado, evidenciando o efeito dos sete tratamentos sobreviventes

Tratamentos	Produção de café por biênios					Médias Bienais
	60/61	62/63	64/65	66/67	68/69	
5	194	121	490	755	372	386,4
7	382	128	385	1458	701	606,8
2	264	424	813	1628	351	696,0
6	535	722	1431	1000	531	843,8
3	740	1142	1733	2552	441	1321,6
8	1014	899	2368	2479	798	1511,6
4	928	1677	2271	2316	413	1520,0
dms	428	776	1585	971	530	
s_E / \sqrt{r}	151,3	256,7	489,7	343,4	187,4	

Sabe-se que a diferença mínima significativa, $dms = t s_E \sqrt{\frac{2}{r}}$, para 30 graus de liberdade t é aproximadamente 2.

As seguintes questões foram formuladas:

A) Haveria necessidade de calcário em complementação à adubação mineral (sabia-se que esta última era imprescindível, pela pobreza do solo)?

A comparação 6-5 proporciona o teste a ser feito.

B) A resposta ao calcário em complemento à adubação NPK + micronutrientes é necessária?

A comparação 8-7 proporciona a resposta.

Sabendo-se que os tratamentos 5, 6, 7 e 8 constituem um fatorial 2 x 2 para calcário e micronutrientes na presença da adubação NPK, pode-se calcular os efeitos principais e a interação. Assim:

C) O efeito médio devido ao calcário é dado pelo contraste $(8+6) - (7+5)$.

D) O efeito médio devido aos micronutrientes é dado pelo contraste $((7+8) - (6+5))$.

E) A interação entre calcário e micros na presença de NPK é obtida pelo contraste $(8-7) - (6-5)$.

F) Há diferença de produção entre NPK e esterco?

A resposta é dada pela comparação: $(5-2)$.

G) A adubação esterco + NPK é superior aos tratamentos NPK e ao esterco, quando estes são aplicados isoladamente?

A comparação é dada pelo contraste: $[2(3) - (2+5)]$

H) Excluindo o tratamento 1 (sem adubo) para todos os outros, toda diferença entre médias entre dois dos tratamentos, maior que a diferença mínima significativa será significativa ao nível de erro tipo I adotado de $\alpha = 0,05$ e/ou $\alpha = 0,01$.

No trabalho original há uma análise detalhada sobre a tecnologia empregada, bem como a análise química do solo original em seus elementos principais, detalha a quantidade dos adubos empregados, do calcário e dos micronutrientes em função do desenvolvimento e da idade dos cafeeiros e as conclusões agrônômicas mais importantes decorrentes da análise estatística.

O objetivo da análise a ser apresentada a seguir é mostrar o método utilizado para a verificação das hipóteses formuladas com base no teste de combinação de probabilidades de FISHER (1932), o que permite não somente as conclusões por biênio como também as conclusões sobre a produção dos cinco biênios.

Convém realçar que a experiência efetuada em solo de cerrado foi uma experiência pioneira, que abriu, pelas avaliações, espaço para sua utilização pelos agricultores e a possibilidade de estabelecimento da cafeicultura em solos muito pobres, pois até então, era tido como imprescindível, a necessidade de solos de florestas ou de alta fertilidade para haver sucesso na cafeicultura.

Ficou bem evidente no experimento que, sem auxílio de uma adubação, calagem, micronutrientes e se exequível, utilização do esterco, seria impossível o sucesso da cultura.

a) A avaliação da necessidade ou não da aplicação do calcário em complemento à adubação mineral é feita a seguir:

Como técnica de análise, vamos aplicar o teste da combinação de probabilidades de R. A. Fisher já considerada no exemplo 4, que permite a análise de experimentos perenes ou de grupo de experimentos. A diferença entre os tratamentos 6 e 5 proporciona a resposta à solução procurada (Tabela 14).

As etapas dos cálculos são as seguintes:

Tabela 14. Etapas para a avaliação pelo teste de combinação de probabilidade, da diferença dos tratamentos 6 e 5 que permite analisar o efeito do calcário

Biênios	60/61	62/63	64/65	66/67	68/69
\bar{X}_6	535	722	1431	1000	531
\bar{X}_5	194	121	490	755	372
$\bar{X}_6 - \bar{X}_5$	341	601	941	245	159
$s_E \sqrt{\frac{2}{6}}$	213,9	363,0	692,4	485,1	265,0
t	1,596	1,656	1,359	0,505	0,600
P(t)	0,062	0,055	0,093	0,309	0,273
In P(t)	-2,871	-2,900	-2,375	-1,174	-1,298
$\chi^2 = -2 \ln P(t)$	5,562	5,800	4,750	2,349	2,597

Para χ^2 com 2 graus de liberdade e erro tipo I de valor $\alpha = 0,05$, $\chi^2_c = 5,94$. Para os 5 biênios, $\Sigma \chi^2 = 21,06$; para 10 graus de liberdade (aditividade do χ^2) e para $\alpha = 0,05$, $\chi^2_c = 18,3$.

Então, os efeitos bienais foram não significativos, mas o efeito médio dado por $\Sigma \chi^2$ foi significativo a $\alpha = 0,05$ e, então, a adição de calcário à adubação NPK proporcionou um efeito médio adicional, estatisticamente significativo.

b) Usando a mesma técnica, pode-se calcular o efeito da adição do esterco ao tratamento NPK + calcário. Deve-se por em prova a diferença ($\bar{X}_4 - \bar{X}_6$). Os resultados constam da tabela 15.

Tabela 15. Etapas para a avaliação pelo teste de combinação de probabilidade, da diferença dos tratamentos 4 e 6 que permite analisar o efeito do esterco

Biênios	60/61	62/63	64/65	66/67	68/69
\bar{X}_4	928	1677	2271	2316	413
\bar{X}_6	535	722	1431	1000	531
$\bar{X}_4 - \bar{X}_6$	3931	955	840	1316	-98
$s_E \sqrt{\frac{2}{6}}$	213,9	363,0	692,4	485,6	265,0
t	1,603	2,631	1,216	2,710	-0,370
P(t)	0,61	0,0071	0,109	0,0057	0,350
In P(t)	-2,797	-4,948	-2,216	-5,167	-0,1049
$\chi^2 = -2 \ln P(t)$	5,594	9,896**	4,432	10,334**	1,10

Os valores de χ^2_c são 5,99 para $\alpha = 0,05$ e $\chi^2_c = 9,21$ $\alpha = 0,01$. Para 10 graus de liberdade e $\alpha = 0,05$, $\chi^2_c = 18,3$ e para $\alpha = 0,01$ $\chi^2_c = 23,2$. Como obtivemos $\Sigma \chi^2 = 32,35$ o valor foi altamente significativo. Ainda foram altamente significativos os valores correspondentes aos biênios 62-63 e 66-67.

Então, conclui-se que a adição do esterco foi altamente significativa.

c) A avaliação do efeito adicional dos micronutrientes é possível, pela comparação de \bar{X}_8 e \bar{X}_6 (Tabela 16).

Tabela 16. Etapas para a avaliação pelo teste de combinação de probabilidade, da diferença dos tratamentos 8 - 6 que permite analisar o efeito adicional de micronutrientes

Biênios	60/61	62/63	64/65	66/67	68/69
\bar{X}_8	1014	899	2368	2479	798
\bar{X}_6	535	722	1431	1000	531
$\bar{X}_8 - \bar{X}_6$	479	177	937	1479	267
$s_E \sqrt{\frac{2}{6}}$	213,9	363,0	692,4	485,6	265,0
t	2,239	0,487	1,353	3,046	1,008
P(t)	0,017	0,316	0,094	0,0024	0,161
ln P(t)	-4,075	-1,152	-2,364	-6,032	-1,826
$\chi^2 = -2 \ln P(t)$	8,150*	2,304	4,728	12,064**	3,652

$$\Sigma\chi^2 = 30,898^{**}$$

O valor da soma dos qui-quadrados ($\Sigma\chi^2$) obtido para os 5 biênios foi 30,898. Para $\alpha = 0,01$ $\chi^2_c = 23,2$; o resultado foi altamente significativo. Ainda, o biênio 60-61 proporcionou um resultado significativo a $\alpha = 0,05$ e o biênio 66-67 um resultado altamente significativo.

A conclusão de interesse prático é a seguinte: Se o cafeicultor vai aplicar a adubação NPK e a calagem somente, então, a aplicação de micronutrientes proporcionaria aumento de produção altamente significativo.

Resumindo, permita-nos recordar que as etapas da pesquisa e o método científico utilizado foram descritos com exemplos ilustrativos que enfatizaram a necessidade de bom planejamento, a execução aprimorada dos experimentos, para que os resultados almejados fossem alcançados com eficiência. O uso de métodos estatísticos de análises foi diferente nos vários exemplos e enfatizam quão importante é a aplicação do teste adequado em função da característica da pesquisa efetuada.

Acredita-se que os elementos considerados possam vir a ser úteis aos pesquisadores das várias áreas da ciência, ajudando-os nas atuais e nas futuras pesquisas a serem feitas.

REFERÊNCIAS

- BEVERIDGE, W.I.B. **The Art of Scientific Investigation**. New York: Vintage Books, 1950. 239p.
- BRIGHT W., JR, E. **An Introduction to Scientific Research**. New York: Mc Graw-Hill, 1952. 375p.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental Designs**. New York: John Wiley, 1957. 611p.
- CONANT, J. B. **Science and Common Sense**. New Haven: Yale University Press, 1951. 371p.
- CROCKER, W. Botany of the Future. **Science**, v. 88, p.387-394, 1938.
- CULLINAN, F.P. Looking ahead in horticultural research. **Proceeding of American Society for Horticultural Science**, v.64, p.526-534, 1954.
- DAMPIER, W.C. **História da Ciência**. Tradução de Alberto Candeias. Lisboa: Editorial Inquérito, 1945. 683p.
- FISHER, R. A. **Statistical Methods for Research Workers**. 4.ed. London: Oliver and Boyd, 1932. 97p.
- GOULDEN C.H. **The Fundamentals Experimentation**. In: THE SPRAGG Memorial Lectures on Plant Breeding (Third Series). East Lansing: Michigan State College, 1942. p.16-27.
- KRUIF, P. **Caçadores de Micróbios**, 3.ed. Rio de Janeiro: J.Olympio, 1945. 325p.
- LAZZARINI, W.; MORAES, F.R.P.; CERVELLINI, G.S.; TOLEDO, S.V.; FIGUEIREDO, J.I.; REIS, A.J.;
- CONAGIN, A.; FRANCO, C.M. Cultivo do café em Latossolo Vermelho-Amarelo da região de Batatais. Campinas, **Bragantia**, v.34, p.229-239, 1975.
- LAZZARINI, W.; MORAES, F.R.P.; MORAES, M.V; TOLEDO, S.V.; FIGUEIREDO, J.I. **Experimentação cafeeira: 1929-1963**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1967. 396p.
- LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S.C.F.; CONAGIN, A.; BERTONI, J. Rotação de culturas: análise estatística de um experimento de longa duração em Campinas (SP). **Bragantia**, v.61, p.127-141, 2002.
- PIMENTEL GOMES, FREDERICO. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.
- POINCARÉ, H. **The Foundations of Science: Science and hypothesis, The value of science, Science and method**. New York: The Science Press, 1929. 553 p.
- SALMON, S.C.; HANSON, A.A. **The Principles and Practice of Agricultural Research**. London: Leonard Hill, 1964. 384p.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometric approach**. 2.ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 633p.
- WEATHERALL, M. **Método Científico**. Trad. de Leonidas Hegeberg. São Paulo: Polígono, 1970. 300p.
- WEBBER, H. J. The commercial citrus regions of the world: their physiographic, climatic, and economic characters. In: WEBBER, H.J.; BATCHELOR, L.D. **The Citrus Industry**. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1948. v.I, p.71-127.

Instituto Agrônômico

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento
Av. Barão de Itapura, 1.481
13020-902 - Campinas (SP) BRASIL
Fone: (19) 2137-0600 Fax: (19) 2137-0706

www.iac.sp.gov.br



SECRETARIA DE
AGRICULTURA E ABASTECIMENTO

