

**Documentos**

ISSN 0100-9729  
janeiro, 1983

Número 19

**AGRICULTURA IRRIGADA  
PESQUISA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**

**Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA)**

Documentos  
Número 19

ISSN 0100-9729  
janeiro, 1983

AGRICULTURA IRRIGADA  
PESQUISA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO

Antonio José Simões, Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)  
Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido (CPATSA)

ISSN 0100-9729

Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido (CPATSA)

BR-428 Km 152

Rodovia Petrolina/Lagoa Grande

Caixa Postal, 23

Fone : (081) 961-0122\*

Telex: (081) 1878

56.300 - Petrolina, PE

Simões, Antonio José

Agricultura irrigada: pesquisa em sistema de produção. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1983.

32p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 19).

1. Sistema de Produção-Pesquisa-Área irrigada. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE. II. Título. III. Série.

CDD: 631.586

© 1983 EMBRAPA

## SUMÁRIO

ANTECEDENTES .....	5
METODOLOGIA DE TRABALHO PROPOSTA .....	8
1 <sup>a</sup> Etapa: descrição dos sistemas de cultivo e de produção em uso pelos agricultores, as sim como identificação dos fatores que limitam a produção .....	9
2 <sup>a</sup> Etapa: alimentação do sistema através de uma experimentação multifatorial e integra da que permita a otimização dos fato res de produção .....	10
3 <sup>a</sup> Etapa: testes dos sistemas a nível de produ tor, comparando-se os sistemas tradici onal e modificado pela ação da pesqui sa .....	25
4 <sup>a</sup> Etapa: programação linear - modelos de siste ma de produção .....	26
CONCLUSÕES .....	30
LITERATURA CONSULTADA .....	31

AGRICULTURA IRRIGADA  
PESQUISA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO

Antonio José Simões

ANTECEDENTES

Mesmo nas áreas irrigadas, nos países em via de desenvolvimento, observa-se o pouco impacto das tecnologias geradas pelas instituições de pesquisa no desenvolvimento agrícola.

De acordo com Laird (1977), as causas que explicam esta baixa adoção de tecnologia são muitas e incluem, além de outras:

- um sistema pouco eficiente para informar aos agricultores as novas tecnologias geradas;
- a escassez de recursos para compra de insumos;
- dificuldades de conseguir os insumos no momento oportuno;
- uma relação não favorável entre os preços dos insumos e dos produtos;
- o baixo nível educacional dos agricultores;
- a inadequabilidade das tecnologias recomendadas.

No que diz respeito às primeiras causas, em uma unidade de pesquisa não se registra uma expressiva ação, uma vez que foge ao controle desta decidir sobre crédito, educação do agricultor, mercado, etc. No entanto, a última deve ser objeto de preocupação dos serviços de pesquisa para que estes cumpram o seu papel adequadamente, dentro do processo de produção agrícola.

---

<sup>1</sup> Chefe Adjunto Técnico do CPATSA-EMBRAPA.

Entre as considerações que explicam a não adequação de tecnologias, podem ser citadas:

1. a tecnologia de produção agrícola recomendada não é a mais adequada para o sistema específico que usa o agricultor. Por exemplo:

- a) condena-se o uso do método de irrigação em quadros (inundação) nos aluviões do São Francisco e recomenda-se o uso de irrigação em sulcos retos quando estes necessitam de uma sistematização do terreno e na região não se dispõe de equipamentos para tal fim;
- b) recomenda-se um certo nível de fertilização ou lâmina de água sem ter-se definido precisamente a densidade da população dos cultivos.

2. A tecnologia recomendada não proporciona um lucro atrativo para o agricultor. Isto quase sempre ocorre pela falta de um adequado estudo econômico da nova tecnologia gerada.

3. Extrapolação indiscriminada da informação agrônômica que, gerada em um ponto, quase sempre numa Estação Experimental, é extrapolada indiscriminadamente de uma localidade a outra sem se levar em conta os fatores de "sitio" ou seja, aqueles fatores de produção ligados ao solo e ao clima, não controláveis pelo homem.

A explicação para o que foi dito anteriormente, parece residir na forma como foi organizada a pesquisa no passado, quando as instituições de pesquisa agropecuária orientavam suas ações seguindo os modelos de serviços similares aos países desenvolvidos, particularmente dos Estados Unidos.

Em geral, estes serviços contavam, e ainda contam, com uma rede de Estações Experimentais localizadas em áreas representativas das regiões agroclimáticas mais importantes de cada país.

A pesquisa agropecuária era organizada em função de di

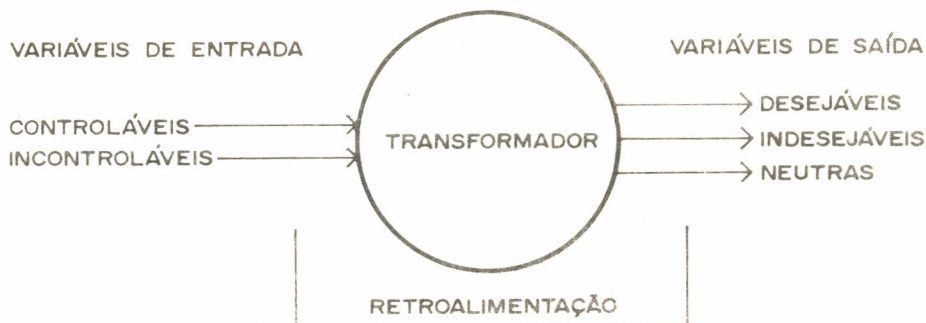
ferentes áreas disciplinares e por departamentos, tais como: de Melhoramento de Plantas, de Fitopatologia, de Entomologia, de Solos etc. Comumente, as metas de pesquisa e os planos de trabalho eram definidos pelos chefes dos departamentos e diretores de projetos ou em reuniões com a participação de todos os pesquisadores. Em determinadas circunstâncias convidavam-se representantes dos serviços de extensão ou especialistas.

Esta sistemática tem-se refletido até o presente, podendo-se afirmar que, na elaboração dos programas de trabalho, não se tem considerado as metas e os problemas de produção dos agricultores.

Consciente destes problemas a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), desde a sua criação, adotando o enfoque sistêmico de pesquisa, e numa tentativa de fazer os resultados experimentais chegarem o mais rapidamente ao agricultor, tem utilizado como lema: "A pesquisa começa com o produtor e termina com o produtor".

Antes de se discutir as diferentes etapas do enfoque sistêmico de pesquisa, é conveniente que se façam algumas considerações, mesmo resumidas, sobre a contribuição da análise de sistema à pesquisa agropecuária.

Um sistema pode ser definido como um conjunto de objetos que interagem de maneira regular e interdependente. Sempre que se estimula qualquer um dos seus componentes, todo sistema é afetado. Para melhor compreensão apresenta-se, a seguir, em forma esquemática, um sistema:



Pode-se, facilmente, observar a semelhança entre o es quema acima e o processo produtivo, o qual se caracteriza pela existência de um transformador, dotado de vida (plan ta ou animal) que transformam energia (fatores de produção) em produto (grãos, fibras, etc.).

Assim, pode-se considerar que um cultivo de milho, por exemplo, explorado em um determinado ambiente, sob um cer to manejo, constitui-se num sistema de cultivo, "Cropping System" dos americanos, assim como o conjunto de culti vos e atividades outras de uma propriedade agrícola constitui-se num sistema de produção, "Farming System".

Para se analisar um sistema, utilizam-se modelos apro ximativos que os representam. Na pesquisa agropecuária têm sido muito utilizados os modelos matemático-empíricos, regressão entre variáveis que podem ser otimizados e os modelos de programação linear que permitem se conhecer os valores das variáveis ou atividades no processo de pro dução otimizando o funcionamento do sistema.

Em resumo, pode-se afirmar que a principal contribui ção da análise de sistema à pesquisa agropecuária é o de evidenciar a necessidade de se estudar o maior número pos sível de variáveis, conjuntamente, em um experimento e a utilização dos modelos que descrevem quantitativamente a relação entre fator e produto, permitindo a determina ção dos níveis ótimos de operação sob diferentes condições de mercado, clima, solo e manejo.

## METODOLOGIA DE TRABALHO PROPOSTA

Esta metodologia compreende as seguintes etapas:

- descrição dos sistemas de cultivo e de produção em uso pelos agricultores, assim como a identificação dos fa tores que estão limitando a produção;

- solução dos problemas através de uma experimentação multifatorial, integrada, para continuamente alimentar os sistemas de cultivo em uso, formulando, assim, novos sis



temas. Deve-se trabalhar com experimentos em grupo, localizados em diferentes condições de solo e clima;

- teste dos sistemas de cultivos, a nível de produtor, comparando-se os sistemas tradicionais e os melhorados;

- uso da programação linear para otimizar o sistema de produção.

**1ª Etapa: descrição dos sistemas de cultivo e de produção em uso pelos agricultores, assim como identificação dos fatores que limitam a produção.**

O primeiro passo na definição das necessidades de pesquisa em uma área irrigada é recoletar informações detalhadas sobre a área de interesse, no que diz respeito a:

- tecnologias de produção nos diferentes cultivos explorados;
- rendimentos dos cultivos;
- características do solo;
- clima;
- dimensão das parcelas dos agricultores;
- disponibilidade de mão-de-obra;
- recursos financeiros dos agricultores e disponibilidade de crédito;
- informações sobre mercado;
- metas de produção dos agricultores;
- resultados anteriores obtidos com a pesquisa.

A maneira mais confiável de coletar grande parte destas informações é mediante um levantamento sócio-econômico de uma amostra estatística dos agricultores. Se não se dispõe deste levantamento, os pesquisadores podem obter as informações diretamente com os agricultores, consultando os arquivos das estações meteorológicas e mapas de solos da área, fazendo um reconhecimento direto dos solos, através dos extensionistas, etc.

Caso necessário, estas informações podem ser suplementadas com a realização de grupos de experimentos exploratórios, muito utilizados nos experimentos com fertilizantes através dos quais pode-se determinar, com precisão, aqueles fatores que estão influenciando os rendimentos dos cultivos. Um procedimento bastante útil é a condução dos experimentos fatoriais completos ou confundidos do tipo  $2^k$ , onde  $k$  = ao número de variáveis e o número 2 são os níveis das  $k$  variáveis.

Ainda dentro deste tema é de grande importância a definição das prioridades de pesquisa. Por exemplo: se a informação disponível indica que a variedade local de um cultivo tem pouca capacidade produtiva poder-se-ia tomar a decisão de concentrar-se os recursos iniciais no desenvolvimento de uma variedade mais produtora e deixar-se para uma segunda etapa as pesquisas com outros fatores, tais como fertilização, densidade de plantas, água, etc.

Por outro lado, se a informação disponível indica que a variedade local é altamente produtora, convém deixar de lado o melhoramento vegetal e concentrar a ação no estudo de densidade populacional de plantas, fertilização e outras práticas de produção.

**2ª Etapa: alimentação do sistema através de uma experimentação multifatorial e integrada que permita a otimização dos fatores de produção.**

Esta etapa compreende o estudo conjunto dos fatores, o ajuste dos modelos aproximativos, determinação dos ótimos econômicos a extrapolação dos resultados de pesquisa.

a) Estudo conjunto dos fatores controláveis da produção agrícola. Tradicionalmente, a pesquisa agrônômica tem sido orientada pelos princípios gerais da pesquisa científica, que se caracteriza por uma tendência a isolar e estudar separadamente as relações entre um ou somente poucos fatores e seus efeitos. Este procedimento tem sido herdado do estudo da física, onde predominam relações aditivas entre as partes de um fenômeno complexo, sem que as interações tenham importância.

Segundo Turrent Fernandez (1978), é do conhecimento geral que a resposta de uma cultivar a mudança nos fatores ambientais é do tipo inaditivo, isto é, eles interagem entre si, em seus efeitos sobre o desenvolvimento de um cultivo. A resposta de uma cultivar de milho, por exemplo, a aplicação de doses crescentes de um fertilizante em um solo de fertilidade nativa baixa, está definida pelo valor preciso de cada um dos outros fatores ambientais: a densidade de população, a variedade, a proteção contra as pragas e doenças e outros fatores controláveis; as chuvas, as propriedades físicas do solo e outros fatores incontroláveis. Uma mudança em qualquer destes fatores, alteraria a forma de resposta do milho ao fertilizante e, conseqüentemente, a sua dose ótima econômica.

Considere o leitor a Figura 1 em que se apresentam respostas hipotéticas de uma variedade de milho a um fertilizante em dois ambientes (a) e (b).

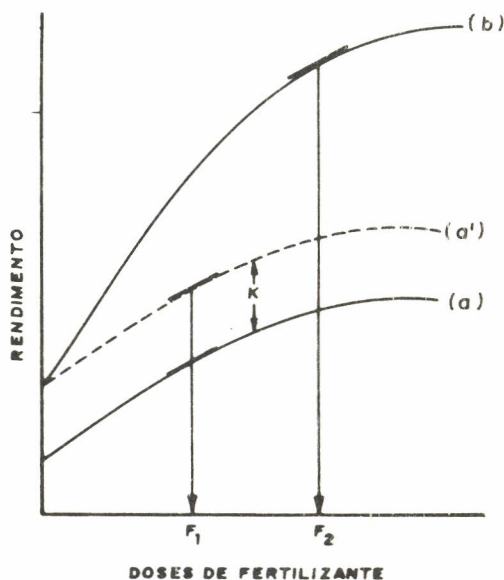


FIG. 1- Resposta hipotética de uma cultivar a doses crescentes de um fertilizante.

Em (a) os fatores ambientais controláveis, exceto o fertilizante, e os incontroláveis, mantêm-se constantes. Se um ou mais destes fatores controláveis e incontroláveis mudassem de valor - uma maior densidade de população, um solo mais profundo ou ambos - a função de resposta ao fertilizante se deslocaria de (a) para (b). Se o deslocamento fosse de (a) para (a'), dir-se-ia que os fatores que mudaram de valor e o fertilizante guardariam relações de aditividade, ou seja, não interagiriam. Tal seria o motivo pelo qual as funções de resposta (a) e (a') são paralelas entre si, de tal maneira que o efeito sobre o rendimento do milho, devido à troca de ambientes, seria uma constante  $k$ , a qualquer dose de fertilizante. A implicação disto seria que a dose ótima econômica do fertilizante,  $F_1$ , não se veria afetada como se pode observar na Figura 1.

Na realidade, quando ocorre uma mudança nos demais fatores ambientais, a função de resposta se desloca de (a) para (b) como resultado da inaditividade dos fatores de produção. A consequência disto é que a dose ótima econômica do fertilizante passa de  $F_1$  para  $F_2$ .

Para lidar com o fenômeno da inaditividade entre os fatores controláveis da produção, o agrônomo adota a suposição de que na vizinhança da estratégia agrônômica ótima da produção (aquela em que são otimizados todos os fatores controláveis da produção) os fatores controláveis se comportam como se fossem aditivos. Esta suposição dá lugar à pesquisa tecnológica do tipo disciplinar: o agrônomo especialista em fertilidade de solos concentra-se no problema da fertilização e mantém constantes os demais fatores controláveis da produção, a um nível que se aproxima à estratégia agrônômica ótima da produção. Por outro lado, o especialista em melhoramento genético usa, frequentemente, a tática extrema de eliminar totalmente as deficiências nutricionais, de manter suas cultivares livres da concorrência de ervas daninhas, de usar baixa densidade de população com a crença de que o material obtido, nestas condições, seguirá se comportando como tal com qualquer estratégia agrônômica de produção. De maneira si

milar abordam-se os problemas da proteção contra pragas, doenças, práticas culturais e os demais componentes da tecnologia da produção.

Este processo de pesquisa do tipo disciplinar culmina com a listagem das estratégias ótimas parciais, para integrar a estratégia agrônômica ótima. A experiência tem demonstrado a inexatidão deste enfoque de geração de tecnologia, principalmente para agricultura dependente de chuva, sendo mais crítico naquelas áreas onde a precipitação pluviométrica é baixa e com irregular distribuição. Para as áreas irrigadas, onde a água é um fator controlável, os efeitos desta metodologia são menos acentuados.

A solução para este problema metodológico consiste no estudo conjunto dos fatores controláveis da produção, podendo-se utilizar até sete variáveis em um experimento, limite bastante superior ao atualmente utilizado por grande parte de pesquisadores, que chega no máximo a três. Um exemplo é o plano 8A7 descrito por Cochran & Cox (1950). Neste plano são estudados seis fatores com 54 parcelas, as quais se dividem em três blocos. A lista de tratamentos corresponde a um Central composto. No mesmo livro de texto mostra-se como trabalhar com menos de seis fatores. Outro é a matriz Plano Puebla II, a matriz San Cristobal e a matriz mista, cuja lista de tratamentos para quatro e cinco fatores da produção são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, Turrent Fernandez & Laird (1980) e Turrent Fernandez (1979).

b) Modelos aproximativos para expressar a relação fator/rendimento. Como foi dito anteriormente, a produção agropecuária tem como característica fundamental a existência de um transformador dotado de vida (planta ou animal) que transforma energia em produto. A produtividade que se obtém e, em grande parte, função das condições ambientais na qual o transformador desenvolve o seu trabalho (fatores incontroláveis da produção). O homem pode modificar estas condições ambientais, porém está sujeito às restrições econômicas e também às ditadas pela natureza, como o clima, regime de chuvas, textura e profundidade do solo, etc, sobre os quais não pode exercer controle.

TABELA 1. Relação de tratamentos codificados e sem codificar da "Matriz Plan Puebla II" pa  
ra quatro fatores, separados em dois sub-blocos de 17 tratamentos.

Sub-bloco I

Número de ordem	Fator 1 Nitrogênio		Fator 2 Fósforo		Fator 3 Dens. população		Fator 4 Lâmina d'água	
1	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.3	270
2	+ 0.3	65	+ 0.3	65	- 0.3	162	- 0.3	270
3	+ 0.3	65	- 0.3	35	+ 0.3	198	- 0.3	270
4	+ 0.3	65	- 0.3	35	- 0.3	162	+ 0.3	330
5	- 0.3	35	+ 0.3	65	+ 0.3	198	- 0.3	270
6	- 0.3	35	+ 0.3	65	- 0.3	162	+ 0.3	330
7	- 0.3	35	- 0.3	35	+ 0.3	198	+ 0.3	330
8	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.3	330
9	0.0	50	0.0	50	0.0	180	0.0	300
10	- 0.9	5	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.3	270
11	+ 0.9	95	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.3	330
12	- 0.3	34	- 0.9	5	- 0.3	162	- 0.3	270
13	+ 0.3	65	+ 0.9	95	+ 0.3	198	+ 0.3	330
14	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.9	126	- 0.3	270
15	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.9	234	+ 0.3	330
16	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.9	210
17	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.9	390

Sub-bloco II

Número de ordem	Fator 1 Nitrogênio		Fator 2 Fósforo		Fator 3 Dens. população		Fator 4 Lâmina d'água	
1	+ 0.3	65	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.3	270
2	- 0.3	35	+ 0.3	65	- 0.3	162	- 0.3	270
3	- 0.3	35	- 0.3	35	+ 0.3	198	- 0.3	270
4	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.3	162	+ 0.3	330
5	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.3	198	- 0.3	270
6	+ 0.3	65	+ 0.3	65	- 0.3	162	+ 0.3	330
7	+ 0.3	65	- 0.3	35	+ 0.3	198	+ 0.3	330
8	- 0.3	35	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.3	330
9	0.0	50	0.0	50	0.0	180	0.0	300
10	- 0.9	5	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.3	270
11	+ 0.9	95	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.3	330
12	- 0.3	35	- 0.9	5	- 0.3	162	- 0.3	270
13	+ 0.3	65	+ 0.9	95	+ 0.3	198	+ 0.3	330
14	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.9	126	- 0.3	270
15	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.9	234	+ 0.3	330
16	- 0.3	35	- 0.3	35	- 0.3	162	- 0.9	210
17	+ 0.3	65	+ 0.3	65	+ 0.3	198	+ 0.9	390

Espaços de exploração  
 Nitrogênio : 0 - 100 kg/ha  
 Fósforo : 0 - 100 kg/ha  
 Densidade de população : 120 - 240 mil plantas/ha  
 Lâmina de água : 200 - 400 mm

TABELA 2. Relação de tratamentos codificados e sem codificar da "Matriz San Cristobal".

N	P	R	D	N	P	R	D
0	0	0	0	0	0	10	20
0	0	0	2	0	0	10	50
0	0	2	0	0	0	50	20
0	0	2	2	0	0	50	50
0	2	0	0	0	80	10	20
0	2	0	2	0	80	10	50
0	2	2	0	0	80	50	20
0	2	2	2	0	80	50	50
2	0	0	0	100	0	10	20
2	0	0	2	100	0	10	50
2	0	2	0	100	0	50	20
2	0	2	2	100	0	50	50
2	2	0	0	100	80	10	20
2	2	0	1	100	80	10	50
2	2	2	0	100	80	50	20
2	2	2	2	100	80	50	50
1	1	1	1	50	40	30	35
3	1	1	1	150	40	30	35
1	3	1	1	50	120	30	35
1	1	3	1	50	40	70	35
1	1	1	3	50	40	30	65

## Espaços de Exploração

N = Nitrogênio : 0 - 150 kg/ha

P = Fósforo : 0 - 120 kg/ha

R = Irrigação : 10 - 70% da água disponível

D = Densidade de população: 20 - 65.000 plantas

TABELA 3. Relação de tratamentos da "Matriz Mista" a cinco fatores de produção.

Tratamento	Parcelas grandes		Parcelas pequenas		
	Variedade	Manejo	N	P	Densidade de população
1	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	20	40.000
2	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	20	50.000
3	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	40	40.000
4	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	40	50.000
5	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	20	40.000
6	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	20	50.000
7	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	40	40.000
8	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	40	50.000
9	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	30	20	40.000
10	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	120	40	50.000
11	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	0	40.000
12	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	60	50.000
13	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	60	20	30.000
14	V <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	90	40	60.000
15	V <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	60	20	40.000
16	V <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	"	"	"
.	V <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	"	"	"
.	V <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	"	"	"
28	V <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	90	40	60.000
29	V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	60	20	40.000
30	V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	60	20	50.000
.	V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	"	"	"
42	V <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	90	40	60.000
43	V <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	60	20	40.000
44	V <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	60	20	50.000
.	V <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	"	"	"
56	V <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	90	40	60.000



Uma maneira de tentar representar o processo produtivo é mediante as relações fator/produto, denominadas pelos economistas como funções de produção, cuja forma geral é a seguinte:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3 \dots \dots \dots x_n) \quad (1) \quad \text{onde:}$$

Y = produto do processo (rendimento)

$x_i$  = fatores necessários ao crescimento das plantas tais como:

sementes, fertilizantes, profundidade e textura do solo, quantidade de chuva, etc.

Se fosse possível medir e controlar todos os fatores de produção poder-se-ia fazer previsões dos rendimentos com certa segurança. No entanto, algumas destas variáveis são exógenas no sentido de que não podem ser controladas pelos pesquisadores. Até mesmo as variáveis controláveis, em razão de seu grande número não é possível tê-las todas, em conjunto, num experimento. Daí costuma-se limitar o número de fatores em estudo, manter-se outros constantes e deixar-se outros atuarem aleatoriamente. Por esta razão a equação (1) toma a forma abaixo:

$$Y = f(x_1, x_2 / x_3 \dots \dots \dots x_g) + u \quad (2) \quad \text{onde:}$$

Y = rendimento

$x_1$  e  $x_2$  = fatores controláveis

$x_3$  a  $x_g$  = variáveis que na equação vem depois da linha vertical, são os fatores controláveis que se mantêm constantes.

u = variáveis não controláveis

Do anterior, surge o problema de encontrar o modelo matemático que melhor represente o processo produtivo. Para isto se dispõe de uma série de modelos aproximativos da

relação fator/rendimento correspondente a diferentes famílias de equações matemáticas. Estes modelos têm sido estudados há mais de um século. Heady & Dillon (1972) citam alguns dos mais relevantes trabalhos dos pioneiros neste campo entre os quais se devem mencionar os estudos de Mitscherlich, Briggs e Spillman os quais trataram de explicar a resposta dos cultivos à aplicação de fertilizantes ao solo, mediante funções empíricas.

Os modelos aproximativos são classificados em funções polinomiais, funções exponenciais e funções de potência.

Neste trabalho, somente são mencionados os modelos mais utilizados na ciência agrônômica.

### Funções Polinomiais

Muito utilizada na pesquisa agropecuária é a série de Taylor. O teorema de Taylor prevê as bases matemáticas para aproximar as funções até um grau de exatidão arbitrária. Sua forma geral é:

$$Y = \sum_{i=0}^n a_i (x - x_0)^i \quad (3)$$

$$Y = A_0 (x - x_0)^0 + A_1 (x - x_0)^1 + A_2 (x - x_0)^2 + \dots + A_n (x - x_0)^n \quad (4)$$

A forma mais simples de uma série de potência é a equação da reta,

$$Y = A_0 + A_1x \quad (5)$$

Se a esta equação se agrega um termo do 2º grau resulta:

$$Y = A_0 + A_1x + A_{11}x^2 \quad (6)$$

A forma resultante é um segmento da parábola. Este modelo de relações de produção resulta mais atrativo para o pesquisador a fim de aproximar uma função ao fenômeno que o configura. Frequentemente, no entanto, o pesquisador trabalha com funções que precisariam de uma expansão maior do polinômio.

Na equação anterior, substituindo-se  $x$  por  $x^{1/2}$  a equação resultante será:

$$Y = A_0 + A_1 x^{1/2} + A_{11} x \quad (7)$$

Esta equação denomina-se "equação raiz quadrada".

Gandarillas, trabalhando na resposta do trigo a quatro fatores ambientais controláveis encontrou cerca de 24 curvas de resposta da forma polinomial com dois expoentes fracionários:

$$Y = A_0 + A_1 x^m + A_2 x^n \quad (8)$$

Em suas conclusões, ele afirma que estes polinômios com o primeiro expoente variando de 0,6 a 0,75 e o segundo de 1,0 a 1,25 apresentaram melhor ajuste que os polinômios do 2º grau, mais comumente usados.

Este modelo apresenta a vantagem de variar tanto os coeficientes quanto os expoentes, razão porque, permite um melhor ajuste. Este modelo pode ser obtido com o procedimento PROC NLIN do Programa SAS 76 (Barr 1976).

### Funções Exponenciais

A curva de crescimento exponencial define-se matematicamente, com a equação:

$$Y = Ae^{cx} \quad (9) \text{ onde:}$$

$Y$  = rendimento

$a, c$  = parâmetros da equação

$e$  = base dos logaritmos neperianos.

Mediante transformação logarítmica a equação toma a forma linear:

$$\ell_n y = \ell_n a + cx \quad (10) \text{ fazendo:}$$

$$\ell_n y = y' \quad \ell_n a = a' \quad (11) \text{ tem-se:}$$

$$Y' = a' + cx \quad (12)$$

Outro modelo deste grupo é a equação de Mitscherlich,

ou lei dos incrementos decrescentes a qual matematicamente se expressa:

$$Y = A [1 - 10^{-c} (x + b)] \quad (13) \quad \text{onde:}$$

Y = rendimento de cultivo

A = produção máxima teórica esperada quando se aumenta indefinidamente a dose de um nutriente.

c = coeficiente de eficácia (c = 0,0088 kg/ha para  $P_2O_5$  e 0,0049 kg/ha para N)

b = teor de nutriente no solo

x = dose econômica aconselhada

### Funções Potenciais

Estes modelos definem-se genericamente como:

$$Y = Ax^b \quad (14) \quad \text{onde:}$$

Y = rendimento

A e b = parâmetros

x = variável

Sua forma linear é:

$$\log y = \log A + b \log x \quad (15) \quad \text{fazendo:}$$

$$\log y = y'$$

$$\log A = A_0$$

$$\log x = x'$$

$$y' = A_0 + bx' \quad (\text{equação da reta}) \quad (16)$$

A forma multivariada da função (14) pode ser escrita como a seguir:

$$Y = a_1 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3} \dots x_n^{b_n} \quad (17)$$

Conhecida como função COBB - Douglas. Esta função linearizada é de fácil manejo, fazendo-se:

$$l_n^y = Q$$

$$l_n^{x_1} = Z_1$$

$$l_n^{x_2} = Z_2$$

$$l_n^{a_1} = K \quad \text{tem-se:}$$

$$Q = K + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 \quad (18)$$

c) Ótimos econômicos. Sob a suposição de que a agricultura irrigada é eminentemente comercial, espera-se que os agricultores pretendam maximizar o seu lucro. Para um da do cultivo tem-se por exemplo:

$$LL = P_P Y - (P_a X_a + c) \quad (19) \quad \text{onde:}$$

LL = Lucro Líquido do agricultor

Y = rendimento do cultivo

P<sub>P</sub> = preço do produto

P<sub>a</sub> = preço do insumo, água por exemplo

X<sub>a</sub> = quantidade do insumo

c = custos fixos

Considerando-se que a água é a única variável e que a função (19) tem um máximo:

$$\frac{dLL}{dx_a} = \frac{dy}{dx_a} \cdot P_P - P_a = 0 \quad \text{logo:}$$

$$\frac{dy}{dx_a} = \frac{P_a}{P_P}$$

Ou seja, o lucro é maximizado se a derivada do rendimento com respeito à quantidade de água utilizada iguala-

-se a relação entre o preço da água e o preço do produto. Este princípio pode ser generalizado para outros insumos e quando se tratar de mais de uma variável. A seguir, ilustra-se com um exemplo o procedimento para determinação dos ótimos econômicos.

O experimento consistiu de quatro tratamentos de umidade de do solo e quatro níveis de fertilizante nitrogenado em um bloco ao acaso. Os tratamentos com nitrogênio foram: 80, 120, 160 e 200 kg/ha. Os tratamentos com água consistiram em aplicar as irrigações quando a umidade nos primeiros 30 cm de solo atingisse 0, 15, 30 e 45% de água disponível. As lâminas de irrigação em cada caso foram de 3,5 dm, 4,5 dm, 5,0 dm e 5,8 dm, respectivamente.

A função encontrada mediante a análise de regressão foi:

$$Y = - 40,128 - 6,716x_a - 0,0848F + 30,264x_a^{0,5} + 1,974F^{0,5} \quad (20)$$

$$R^2 = 0,90 \quad \text{onde:}$$

Y = rendimento de trigo em t/ha

$x_a$  = lâmina de água total consumida no cultivo em decímetro.

F = quantidade de nitrogênio aplicada em kg/ha

O preço por tonelada de trigo para o ano considerado foi de Cr\$ 1.300,00 e o preço de água Cr\$ 290,00 por 1.000 m<sup>3</sup>. O preço do fertilizante nitrogenado foi de Cr\$ 5,00 kg<sup>2</sup>.

A condição necessária para obter os ótimos segundo a equação (20) é:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_a} = - 6,716 + 15,132 x_a^{-0,5} = \frac{290}{1.300}$$

<sup>2</sup> Valores hipotéticos.

$$\frac{\partial Y}{\partial F} = -0,0848 + 0,987^{-0,5} = \frac{5}{1.300}$$

Como as segundas derivadas são negativas existe a condição suficiente para obtenção das máximas.

Resolvendo o sistema de equação tem-se:

$$x_a = 4,755 \text{ dm}$$

F = 124 kg/ha - os quais são as doses ótimas econômicas de nitrogênio.

Substituindo-se estes valores na equação original obtém-se:

Y = 5,402 t/ha que é o máximo rendimento ótimo econômico.

Em outro exemplo ilustrativo apresenta-se um experimento com o cultivo do trigo onde obteve-se a seguinte função:

$$Y = 13,3 x_1 - 9,266 x_1^2 + 10,69 x_2 - 8,216 x_2^2 \quad (21)$$

$$R = 0,99$$

Também, no mesmo experimento obteve-se a relação:

$$ET = 84,25 - 33,52 x_1 - 17,96 x_2^2 \quad (22)$$

$$R = 0,95$$

O significado das variáveis é:

Y = rendimento em toneladas por hectare

ET = lâmina evapotranspirada em cm

$x_1$  = proporção de água aproveitável no solo consumida antes da floração, antes de cada irrigação.

$x_2$  = proporção de água aproveitável no solo consumida antes de cada irrigação, durante e depois da floração.

O custo de água é de Cr\$ 380,00/1.000 m<sup>3</sup> e o preço por tonelada de trigo é de Cr\$ 2.900,00. Para tornar consistente as unidades deve-se dividir (22) por 10, para este

expressar a lâmina d'água em dm.

As derivadas parciais de ET com respeito a  $x_1$  e  $x_2$  são:

$$\frac{\partial ET}{\partial x_1} = 3,352 \quad (23)$$

$$\frac{\partial ET}{\partial x_2} = 1,796 \quad (24)$$

Por outro lado, as derivadas parciais de Y com respeito a cada variável independente na equação (21), são:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_1} = 13,3 - 18,53 x_1 \quad (25)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x_2} = 10,69 - 16,43 x_2 \quad (26)$$

Neste caso os ótimos econômicos obtêm-se da solução do produto de (25) e (26) pelos inversos de (23) e (24), respectivamente e igualando-se com a relação de preços tem-se:

$$\frac{\partial Y}{\partial ET} = - \frac{13,30}{3,352} + \frac{18,53}{3,352} x_1 = \frac{380}{2.900} \quad (27)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial ET} = - \frac{10,69}{1,796} + \frac{16,43}{1,796} x_2 = \frac{380}{2.900} \quad (28)$$

$$x_1 = 0,74$$

$$x_2 = 0,66$$

Substituindo-se estes valores na equação (21) obtêm-se o rendimento máximo ótimo econômico de 8.243 t/ha e substituindo-se na função da evapotranspiração (ET) obtêm-se:

$$ET = 47,45 \text{ cm}$$

Isto significa que se deve irrigar antes da floração



quando o nível de umidade disponível do solo é de 26% e depois da floração quando resta 34% da umidade aproveitável do solo.

Mais detalhes sobre o tema podem ser encontrados nos trabalhos de Palacios Velez (1977), Volke Haller (1982) e Heady & Dillon (1972).

d) **Extrapolação da informação agronômica.** Segundo Tejeda (1977) devido às características próprias dos fatores não controláveis da produção (clima e solo), a informação agronômica não pode ser explorada indiscriminadamente de um local para outro, salvo alguns fatores que apresentam estabilidade geográfica, como por exemplo: adaptação de variedades, uso de defensivos químicos, algumas práticas culturais, etc.

Nos projetos de irrigação do Nordeste, onde não há variação de clima dentro de um perímetro, o problema restringe-se em fazer as recomendações para cada tipo de solo (todos os projetos de irrigação do Trópico Semi-Árido brasileiro possuem mapeamento detalhado do solo).

Estas recomendações podem ser baseadas na resposta média dos cultivos, ou seja, a média das doses ótimas econômicas obtidas através dos experimentos realizados nos diferentes tipos de solo.

Na prática, recomenda-se que, em cada mancha de solo, coloquem-se três a quatro experimentos. Assim, a dose ótima econômica que se recomendaria seria a média das doses ótimas econômicas obtidas nos três ou quatro experimentos.

Se os diferentes solos que existem em um perímetro não estão influenciando na resposta dos cultivos, as doses ótimas econômicas recomendadas seriam a média das doses ótimas econômicas obtidas com todos os experimentos.

**3ª Etapa: testes dos sistemas, a nível de produtor, comparando-se os sistemas tradicional e modificado pela ação da pesquisa.**

Com estes testes busca-se o seguinte:

- obtenção dos coeficientes técnicos que permitam o uso da programação linear para otimização das áreas que devem ser exploradas pelos diferentes sistemas de cultivo;
- identificação de fatores que estejam limitando a produção que dariam origem a novos trabalhos de pesquisa, ou seja, alimentando constantemente o sistema, sempre buscando o seu aperfeiçoamento;
- servir de demonstração de resultados aos agricultores. Nesta etapa devem ser preparados "Dias de Campo" pelos extensionistas.
- avaliar, praticamente, em parcelas comerciais, a eficácia das tecnologias recomendadas.

A metodologia a ser seguida é a das parcelas de provas, muito utilizadas pelos extensionistas, onde se compararam os sistemas em uso pelos agricultores com aqueles melhorados pela pesquisa.

Este trabalho deve ser repetido nas parcelas de, no mínimo cinco produtores, para que se proporcionem graus de liberdade suficientes que permitam uma análise de variância do experimento.

As comparações entre sistemas tradicionais e modificações vêm sendo implementadas, há mais de três anos, pelos pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), em áreas do Projeto de Irrigação de Bebedouro. Um dos resultados deste trabalho, obtido em 1980, com a cultura do tomate industrial, apresenta-se na Tabela 4. Nesta Tabela pode-se observar os diferentes itens que comparam os custos de produção, assim como produtividades, custo unitário, relação benefício/custo, etc.

#### 4ª Etapa: Programação linear - Modelos de Sistema de Produção

Os modelos aproximativos vistos anteriormente explicam

TABELA 4. Relação dos custos e estimativas de alguns parâmetros do experimento em escala operacional com a cultura do "Tomate IPA 2".

Data de plantio : 26.06.80  
 Data de colheita : 30.09.80  
 Valores atualizados em : 17.07.81  
 Valor da ORTN em 17.07.81: Cr\$ 1.045,54

C U S T O S					
Sistema tradicional			Sistema modificado		
Item	Valor Cr\$	% sobre total	Item	Valor Cr\$	% sobre total
Sementeira	1.399,64	1,08	Sementeira	2.686,04	1,89
Preparo do solo	8.923,07	6,86	Preparo do solo	12.755,10	8,99
Adubação	41.139,46	31,62	Adubação	56.750,56	39,99
Transplântio/Re plântio	2.900,44	2,23	Transplântio/Re plântio	1.827,29	1,29
Irrigações	2.892,26	2,22	Irrigações	2.778,18	1,96
Tratos fitossa nitários	13.758,96	10,58	Tratos fitossa nitários	11.786,39	8,31
Tratos culturais	16.434,36	12,63	Tratos culturais	6.722,94	4,74
Colheitas	27.471,49	21,12	Colheitas	30.264,76	21,33
Água	2.280,00	1,75	Água	2.280,00	1,61
Subtotal	117.199,68	90,09	Subtotal	127.851,26	90,09
Juros	12.891,96	9,91	Juros	14.063,64	9,91
Total	130.091,64	100,00	Total	141.914,90	100,00
P A R Â M E T R O S					
Produtividade	36.356,00		Produtividade	39.282,00	
Preço de venda	8,00		Preço de venda	8,00	
Receita bruta	290.848,00		Receita bruta	314.256,00	
Receita líquida	160.756,36		Receita líquida	172.341,10	
Custo unitário	3,58		Custo unitário	3,61	
Relação benefício/ Custo	1,24		Relação benefício/ Custo	1,21	

Fonte: CPATSA

os diferentes sistemas de cultivo. Quando se trata de sistema de produção, estes podem ser representados por um modelo de programação linear que permite determinar-se os valores das variáveis ou atividades no processo de produção que otimizam o funcionamento do sistema.

Em geral, o modelo de programação linear que representa um sistema de produção, o qual pode ser um projeto ou a parcela de um produtor, é composto por uma função linear das variáveis denominadas "função objeto", a qual está sujeita a um conjunto de igualdades e desigualdades lineares chamadas de "restrições".

Dando seqüência à metodologia de geração de tecnologia descrita neste trabalho deve-se construir o modelo tomando as variáveis de decisão como o número de hectares que se deve semear com cada cultivo. O objetivo será a maximização dos benefícios para o agricultor.

A solução para este problema pode ser gráfica ou através do "Método Simplex" o qual exige muitos cálculos manuais.

Recentemente, o Departamento de Diretrizes e Métodos (DDM) da EMBRAPA, colocou à disposição dos pesquisadores do PROFAZENDA, desenhado dentro de um sistema Computadorizado, para auxiliar o produtor rural a tomar decisões quanto à utilização de seus recursos e na organização de suas atividades de produção, processamento e venda de produtos, levando em consideração os princípios básicos da Administração Rural.

Especificamente, o programa objetiva oferecer ao produtor informações a respeito de:

- quais os fatores, a área e/ou a quantidade a ser produzida de cada um deles?
- quais os fatores e insumos, seu tipo e quantidades de cada um deles a serem usados?

O programa possui ainda as seguintes características:

- na fase atual trabalha com até dez cultivos;
- os dados de entrada para o modelo são obtidos na própria pesquisa e com informações adicionais dos produtores, pesquisadores e extensionistas.

## CONCLUSÕES

Com o procedimento para geração de tecnologia, apresentado neste trabalho, pretende-se a maximização do lucro do produtor das áreas irrigadas, através da aplicação de princípios da Análise de Sistemas e da Economia à pesquisa Agropecuária.

Ademais, esta metodologia de trabalho busca melhorar a taxa de adoção de tecnologia dos agricultores, através de sua grande participação na condução do Programa de Pesquisa. Pode-se observar a intensa presença do produtor em todas as etapas do processo, desde o levantamento sócio-econômico, passando pela experimentação multifatorial e multilocal até o teste dos sistemas tradicionais com os melhorados.

Os experimentos conduzidos na própria parcela do agricultor permitem detectar as variações dos fatores de produção ligados ao clima, ao solo e ao manejo, os quais, grupos convenientemente, definirão para quais áreas os resultados experimentais serão aplicáveis.

## LITERATURA CONSULTADA

- BARR, A.J.; GOODNIGHT, J.H.; SALL, J.P. & HELWIG, J.H.  
A user's guide to SAS 76. Raleigh, North Carolina, SAS  
Institute, 1976. 329p.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. **Experimental designs**. New York,  
J. Wiley, 1950. 454p.
- HEADY, E.O. & DILLON, J.L. **Agricultural production  
functions**. Ames, Iowa State University Press, 1972.  
667p.
- LAIRD, R.J. **Investigacion agronomica para el desarrollo  
de la agricultura tradicional**. Chapingo, Mexico,  
Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados,  
1977. 175p.
- PALACIOS VELEZ, E. **Introduccion a la teoria de la operacion  
de distritos y sistemas de riego**. Chapingo, Mexico,  
Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados,  
1977. 427p.
- PALACIOS VELEZ, E. & MARTINEZ GARZA, A. **Respuesta en el  
rendimiento de los cultivos a diferentes niveles de  
humedad del suelo; un enfoque metodológico de  
investigación**. Chapingo, Mexico, Colegio de  
Postgraduados, 1978. 149p.
- TEJEDA, H.R. **Investigacion agronomica y construccion de  
modelos de sistemas de productividad**. Brasília, DF,  
EMBRAPA, 1977. 1v.
- TURRENT FERNANDEZ, A. **Evidencia sobre la necesidad de  
desarrollar una investigacion tecnologica multifactorial  
integrada, para la agricultura de temporal**. Chapingo,  
Mexico, Colegio de Postgraduados, 1978. 37p. (Colegio  
de Postgraduados, Rama de Suelos, 4).
- TURRENT FERNANDEZ, A. **Uso de una matrix mixta para la  
optimizacion de cinco a ocho factores controlables de la**

produccion. Chapingo, Mexico, Colegio de Postgraduados, 1979. 65p. (Colegio de Postgraduados. Rama de Suelos, 6).

TURRENT FERNANDEZ, A. & LAIRD, R.J. **La matriz experimental plan Puebla, para ensayos sobre practicas de produccion de cultivos.** Chapingo, Mexico, Colegio de Postgraduados, 1980. n.p. (Colegio de Postgraduados. Rama de Suelos, 1).

VOLKE HALLER, V. **Optimizacion de insumos de la produccion en la agricultura.** Chapingo, Mexico, Colegio de Postgraduados, 1982. 6lp.