

ANÁLISE AGROECONÔMICA DA ADUBAÇÃO EM SORGO GRANÍFERO E FORRAGEIRO -  
REDENÇÃO, CEARÁ - 1975/77.

Rodolfo José de Lira Gondim

C407143  
RV0000037974



Dissertação apresentada ao Departamento de Economia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências para obtenção do Grau de Mestre.

UFC/BU/BEA 04/05/1998



R799947  
C407143  
T631:8

Análise agro-econômica da adubação em sor

G635a

Fortaleza-Ceará  
JANEIRO de 1978

Aos meus pais

BELLINI e ARACI,

e aos manos

VLÁDIA, JÚNIOR, TECA, PAULINHO,  
ARACIZINHA, BALINHA, GRACINHA ,  
SOCORRO e ÁTILA.

DEDICO      COM      AMOR

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja agradecer a todas as instituições e pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho:

Ao Departamento de Economia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade oferecida para realização do Curso de Pós-Graduação;

Ao Banco do Nordeste do Brasil S/A., através do Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, pelos serviços de processamento dos dados e pelo apoio financeiro.

Ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, na pessoa do professor CLAIRTON MARTINS DO CARMO, pela cessão dos dados e pelas informações e sugestões valiosas;

Ao professor orientador PAULO ROBERTO SILVA e aos professores JOSÉ ALUÍSIO PEREIRA e ROGER WILLIAM FOX, um agradecimento especial e a dedicatória do trabalho, pelo estímulo incansável;

Aos professores conselheiros, pela colaboração;

Aos demais professores do Departamento de Economia Agrícola, pelos ensinamentos ministrados;

Aos colegas do curso de pós-graduação, pela convivência amigável;

Aos funcionários do Departamento de Economia Agrícola, pela amizade.

C O N T E Ú D O

	<u>Página</u>
LISTA DOS QUADROS .....	vii
LISTA DAS FIGURAS .....	ix
 <b>CAPÍTULO</b>	
I. - INTRODUÇÃO .....	1
1.1. - Generalidades .....	1
1.2. - Justificativa .....	2
1.3. - Objetivos .....	4
1.3.1. - Objetivo Geral .....	4
1.3.2. - Objetivos Específicos .....	4
II. - REVISÃO DE LITERATURA .....	6
III. - MATERIAL E MÉTODOS .....	9
3.1. - Material .....	9
3.1.1. - Fonte dos dados de produção .....	9
3.1.2. - Delineamento experimental .....	9
3.1.3. - Processo experimental .....	17
3.1.4. - Dados de preços .....	18
3.2. - Modelo Econômico e Estatístico .....	19
3.2.1. - Instrumentos analíticos básicos .....	20
3.2.2. - Especificação dos modelos .....	22
3.2.3. - Processo de ajustamento .....	24
3.2.4. - Seleção do modelo e das respectivas variáveis .....	24

<b>CAPÍTULO</b>	<u>Página</u>
IV. - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1. - Análise Estatística .....	26
4.1.1. - Análise de regressão para o sorgo gra nífero .....	27
4.1.2. - Análise de regressão para o sorgo for- rageiro .....	28
4.2. - Análise Agroeconômica .....	29
4.2.1. - Superfícies de produção .....	29
4.2.2. - Produtos físicos marginais .....	35
4.2.3. - Isoquantas e taxa marginal de substi- tuição técnica .....	37
4.2.4. - Isoclinas de nutrientes .....	39
4.2.4.1. - Linhas de fronteira .....	41
4.2.4.2. - Linha de expansão .....	41
4.2.5. - Ótimo físico versus ótimo econômico ..	42
4.2.6. - Análise comparativa entre adubação e não-adubação .....	46
4.2.7. - Análise de sensibilidade .....	48
4.2.8. - Análise da adubação em níveis reduzi- dos .....	57
V. - CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	60
5.1. - Conclusões Acerca dos Resultados das Análises Agroeconômicas .....	60
5.2. - Sugestões para Futuras Pesquisas de Sorgo ....	62
RESUMO .....	64
BIBLIOGRAFIA .....	67
APÊNDICE A - Determinação dos Preços dos Fertilizantes .....	70
APÊNDICE B - Derivação da Equação da Isoquanta .....	71
APÊNDICE C - Resultados da 1. <sup>a</sup> Análise de Regressão .....	73
APÊNDICE D - Resultados da 2. <sup>a</sup> Análise de Regressão .....	77

## LISTA DOS QUADROS

QUADRO		<u>Página</u>
01	Tratamentos Codificados para um Desenho Composto Central com Três Fatores .....	12
02	Tratamentos Codificados para um Desenho Rotativo com Três Fatores .....	13
03	Níveis dos Fatores Variáveis para o Delineamento Rotativo .....	14
04	Tratamentos para o Delineamento Rotativo com Três Fatores Variáveis .....	16
05	Níveis de Preços dos Fatores e dos Produtos .....	19
06	Produções Estimadas de Sorgo Granífero e Forrageiro Quando são Utilizados Diferentes Níveis dos Fatores de Produção .....	30
07	Combinações de Nitrogênio e $P_2O_5$ Requeridas para Produzir Níveis Especificados de Produção e Correspondentes Taxas Marginais de Substituição Técnica para os Ensaio de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77 .....	40
08	Comparação de Níveis de Produção e Lucro Obtidos com e sem Adubação nos ensaios de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77 .....	47
09	Combinações Ótimas de Nitrogênio e $P_2O_5$ , Taxas Marginais de Substituição Técnica e Níveis de Produção e Lucro Estimados para Diferentes Razões de Preços, Relativamente ao Ensaio de Sorgo Granífero em Redenção, Ceará - 1975/77 .....	49

## QUADRO

Página

10	Combinações Ótimas de Nitrogênio e $P_2O_5$ , Taxas Marginais de Substituição Técnica e Níveis de Produção e Lucros Estimados para Diferentes Razões de Preços, Relativamente ao Ensaio de Sorgo Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77 .....	53
11	Variações nos Níveis de Produção e Lucro em Relação ao Ponto Ótimo Devidas ao Uso de Quantidades Reduzidas de Nitrogênio e $P_2O_5$ , sob Diferentes Níveis de Preços do Produto e dos Fatores de Produção para os Ensaios de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77 .....	59

## LISTA DAS FIGURAS

FIGURA		<u>Página</u>
01	Configuração Geométrica do Desenho Rotativo para Três Fatores .....	15
02	Produção de Sorgo Granífero Estimada Quando Nitrogênio Varia e os Diferentes Níveis de $P_2O_5$ são Mantidos Fixos .....	31
03	Produção de Sorgo Granífero Estimada Quando $P_2O_5$ <u>V</u> aria e os Diferentes Níveis de Nitrogênio são Mantidos Fixos .....	32
04	Produção de Sorgo Forrageiro Estimada Quando Nitrogênio Varia e os Diferentes Níveis de $P_2O_5$ são Mantidos Fixos .....	33
05	Produção de Sorgo Forrageiro Estimada Quando $P_2O_5$ <u>V</u> aria e os Diferentes Níveis de Nitrogênio são Mantidos Fixos .....	34
06	Produtos Físicos Marginais de Nitrogênio Quando $P_2O_5$ é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Granífero .....	36
07	Produtos Físicos Marginais de $P_2O_5$ Quando Nitrogênio é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Granífero .....	36
08	Produtos Físicos Marginais de Nitrogênio Quando $P_2O_5$ é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Forrageiro .....	38
09	Produtos Físicos Marginais de $P_2O_5$ Quando Nitrogênio é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Forrageiro .....	38

FIGURA

Página

10	Isoquantas de Produção, Linhas de Fronteira e Linha de Expansão Derivadas da Função Quadrática para Sorgo Granífero .....	43
11	Isoquantas de Produção, Linhas de Fronteira e Linha de Expansão Derivadas da Função Raiz-Quadrada para Sor <u>go</u> Forrageiro .....	44



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1. - Generalidades

A cultura do sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench., mercê de uma combinação singular de caracteres que possibilitam sua exploração em áreas normalmente consideradas muito secas para a maioria das outras culturas graníferas, vem sendo introduzida no Nordeste brasileiro e se afigura como uma alternativa promissora para a atividade agropecuária regional.

O sorgo tem sido utilizado no Brasil principalmente como silagem para o gado bovino e como grão para a indústria de rações balanceadas, sendo destinada a maior parcela dessa produção à alimentação avícola. O desenvolvimento que se vem verificando naquela indústria lhe confere efetivamente, em termos regionais, a condição de maior mercado em potencial para o sorgo granífero, constituindo-se assim em importante fator de elevação da demanda de sorgo granífero nos próximos anos. Por sua vez, o sorgo forrageiro, devido ao substancial rendimento de massa verde, deverá representar importante papel na alimentação de gado bovino, quer como silagem para complementação de pasto na seca, quer como capineira para corte.

A adaptabilidade do sorgo às condições adversas de clima e solos predominantes nas zonas semi-áridas da Região pode proporcionar maior estabilidade da oferta e dos preços do produto, além de permitir a liberação de áreas agricultáveis em condições edafo-climáticas mais adequadas à exploração de outras culturas mais exigentes como o milho.

Atualmente, a difusão da cultura do sorgo vem sendo fomentada, representando uma das prioridades governamentais no âmbito da agropecuária do Estado do Ceará (5). Neste sentido, o governo estadual adotou recentemente a política de isenção do Imposto de Circulação de Mercadorias (I.C.M.), além de promover a doação de sementes selecionadas aos agricultores interessados.

Deve-se ressaltar, entretanto, que, com vistas à adoção de uma estratégia política e econômica efetiva, relativamente à cultura do sorgo, torna-se imperativo o suporte da Pesquisa Econômica, no sentido de se poder dispor de todo um arsenal de técnicas de produção devidamente testadas e prontas para serem utilizadas pelos produtores, possibilitando a exploração dessa atividade em níveis relevantes de produtividade.

Diversas pesquisas com sorgo granífero e sorgo forrageiro vêm sendo conduzidas através do Programa Trienal de Desenvolvimento da Cultura do Sorgo no Nordeste, abrangendo vários aspectos agrônômicos do processo produtivo do sorgo, entre os quais se destaca o Projeto "Determinação de Níveis de Adubação e Densidade em Sorgo Granífero e Forrageiro", em cujos dados (referentes ao triênio 1975/77 no município de Redenção-Ceará) baseia-se a análise agroeconômica que se pretende efetuar no trabalho em apreço.

## 1.2. - Justificativa

A análise do comportamento de uma cultura agrícola, dentro do contexto da viabilidade econômica, implica em que o lucro auferido dessa exploração deve ser maximizado, ou que os fatores envolvidos no processo produtivo devem ser de tal modo combinados que determinem a máxima eficiência econômica.

Do ponto de vista agrônômico, a tecnologia dos fertilizantes é amplamente recomendável, em razão dos elevados diferenciais de rendimento físico que proporciona, desde que, a par da correção das deficiências edáficas, tenha sido feita a contrapartida do melhoramento genético da planta, no sentido de torná-la apta a absorver e responder com rendimento aos princípios nutrientes utilizados. Na realidade, a incorporação de nutrientes não está sujeita somente ao binômio planta-nutriente. A resposta ao fósforo está relacionada com o pH do solo, com o nível de fosfato solúvel e com a umidade disponível. Similarmente, a resposta ao nitrogênio se relaciona com o nível de nitratos solúveis acumulado no solo na época do plantio, com a taxa pela qual os solos nitrificam mais nitrato solúvel, e com a distribuição das chuvas durante o ano.

Não obstante se reconheça a relativa pobreza dos solos das zonas semi-áridas do Nordeste (principalmente com relação aos macronutrientes nitrogênio e fósforo), potencialmente desfavoráveis ao cultivo do sorgo, cabe questionar se de fato é rentável a adubação química. Até o presente, essa indagação tem sido objeto de controvérsia: enquanto o sorgo apresenta a notável característica de tolerar os períodos de seca prolongada, a não-disponibilidade hídrica no solo dificulta o processo de absorção de nutrientes pela planta; além disso, as condições incertas do clima podem desencadear flutuações na oferta, e, por via de consequência, instabilidade nos preços do produto, que, por sua vez, determina variabilidade na renda líquida dos produtores.

Destarte, a adoção da prática da adubação deve estar condicionada a considerações sobre os custos envolvidos e o provável valor econômico da resposta a ser obtida em função de variações nos fatores considerados, relativamente aos limitados recursos de capital do agricultor.

O uso de fertilizantes é uma prática cultural pouco utilizada no Nordeste semi-árido, em decorrência da atuação de fatores diversos, entre os quais o alto preço relativo dos fertilizantes <sup>1/</sup>; a incerteza de preços, determinada pelas variações climáticas e pela estrutura deficiente de mercado; a tradição do agricultor em não utilizar fertilizantes; a falta de acesso efetivo ao crédito necessário ao investimento em insumos modernos; a estrutura fundiária obsoleta, onde o proprietário dificilmente utiliza o fator terra de modo eficiente; e a carência de uma política de seguro agrícola capaz de cobrir os danos causados pelas estiagens. No entanto, segundo JANVRY (13), o maior fator limitante da adoção da tecnologia de fertilizantes em regiões subdesenvolvidas é a "falta real de disponibilidade da tecnologia de fertilizantes ao nível do agricultor, no sentido de que informações técnicas e econômicas sobre seu uso são quase que totalmente inexistentes".

---

<sup>1/</sup> Mormente após a revogação da política de subsídio de 40% oferecido aos agricultores para a aquisição de fertilizantes.

O sorgo, apesar de vir sendo estudado e difundido, ainda carece de informações técnicas economicamente viáveis, para melhor orientação dos agricultores, visto que estes somente admitem uma mudança de técnica e de linha de produção se houver significativa vantagem comparativa. Em muitos casos, a diferença é tão estreita que eles preferem continuar na linha de produção tradicional (milho, por exemplo), com as técnicas mais obsoletas, pois são mais experientes e, supostamente, assumem menores riscos (o que é verdadeiro com relação ao preço, pelo menos enquanto não se estabilizar a oferta de sorgo, mas não o é relativamente ao fator clima, diante do qual o Nordeste semi-árido é considerado "inapto" para a cultura do milho).

Neste sentido, a estimativa de curvas de resposta possibilita a avaliação dos efeitos e a viabilidade econômica da adoção da tecnologia de fertilizantes (nitrogenados e fosfatados), em associação com diferentes populações de plantas, na produção de sorgo, bem como os níveis ótimos de sua utilização.

### 1.3. - Objetivos

#### 1.3.1. - Objetivo Geral

Investigar a viabilidade econômica do emprego de fertilizantes (nitrogênio e  $P_2O_5$ ), em associação com diferentes populações de plantas, na cultura do sorgo grânifero e do sorgo forrageiro, com base em dados experimentais.

#### 1.3.2. - Objetivos Específicos

- (a) Determinar a combinação ótima dos fatores e compará-la com a combinação que maximiza a produção de sorgo grânifero e sorgo forrageiro;
- (b) Comparar os níveis de produção e lucro obtidos sem adubação (nitrogênio e  $P_2O_5$  ao nível de zero) com os níveis de produção e lucro obtidos no item anterior;

- (c) Realizar análise de sensibilidade para verificar variações na produção e no lucro sob diferentes níveis de preços fator/produto;
- (d) Observar o comportamento da renda líquida, quando da utilização de níveis reduzidos dos fatores envolvidos;
- (e) Contribuir com informações e sugestões acerca da economicidade da exploração da cultura do sorgo, com a adoção da tecnologia de fertilizantes.

## CAPÍTULO II

## REVISÃO DE LITERATURA

BROWN et al. (3), analisando experimentos com adubação de milho em três tipos de solos, adotaram os modelos quadrático e raiz-quadrada e estimaram superfícies de resposta, isoquantas, isoclinas, produtos marginais e proporções de substituição marginal entre nutrientes. Para o solo "Barrington", a função raiz-quadrada foi a que apresentou melhor ajustamento, enquanto que, para os solos "Moody e Haynie", a função quadrática foi a escolhida, em virtude de seu melhor ajustamento.

SILVA (19), fazendo uso dos dados de experimentos de adubação Ca - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - N em feijão, conduzidos na Zona da Mata de Minas Gerais, utilizou e comparou os modelos quadrático e raiz-quadrada na determinação da combinação ótima de nutrientes e dos lucros correspondentes. Especificamente para o município de Viçosa, em que os ajustamentos dos dois modelos foram satisfatórios, "os resultados econômicos apresentados pela função quadrática foram os mais coerentes, sob o ponto de vista agrônomo, com a realidade da Região".

CAMPOS (4) realizou a análise agroeconômica de experimentos com tomateiro na região de Viçosa-MG, envolvendo variedades, adubação e população de plantas, tendo testado os modelos quadrático e raiz-quadrada. Ambos os modelos apresentaram bom ajustamento, tendo sido escolhida a função quadrática para a análise econômica em virtude de mostrar melhor ajustamento estatístico do que a função raiz-quadrada.

HEADY & PESEK (12), analisando dados experimentais de produção de milho em função dos elementos variáveis nitrogênio e fósforo, testaram os modelos Cobb-Douglas, quadrático e raiz-quadrada, e selecionaram a função raiz-quadrada por ser mais eficiente na estimativa da superfície de produção do que qualquer outra função examinada. Em seguida, desenvolveram relações econômicas para a derivação da combinação ótima dos recursos.

A superfície de produção quadrática e suas implicações na análise econômica de experimentos são discutidas por TEIXEIRA (23), que utilizou dados experimentais relativos à população de plantas e adubação nitrogenada em milho, de dois municípios mineiros. Concluiu que a maior limitação desse modelo consiste em que as produtividades marginais, isoclinas e curvas de procura derivada são lineares, só refletindo boa aproximação da realidade, quando as curvas esperadas têm concavidades bem abertas.

KLOSTER & WHITTLESEY (16), estudando a influência da água de irrigação e do nitrogênio na produção de trigo, com base em dados experimentais, estimaram as funções raiz-quadrada, quadrática e Cobb-Douglas. A função raiz-quadrada foi escolhida para a análise econômica e física dos dados de produção de trigo, em decorrência da magnitude do coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ), da lógica com que a função se ajustou aos dados, e do grau de significância de seus termos.

STEFANELO (21) testou os modelos Cobb-Douglas, quadrático, raiz-quadrada e potência "1,5" no ajustamento dos dados experimentais de fertilização e calagem em soja em diferentes locais do Rio Grande do Sul. O modelo quadrático foi o que melhor ajustamento apresentou na estimativa de superfícies de resposta, exceto em um local, em que o modelo raiz-quadrada foi o escolhido.

As funções quadrática e raiz-quadrada, dentre os diversos modelos empregados na análise agroeconômica de experimentos com fertilizantes, têm-se mostrado bem adequadas a tais ajustamentos, exibindo características consistentes com o que se espera sob o ponto de vista agrônomo:

- (a) possibilitam a especificação da combinação de nutrientes que determina o rendimento máximo por hectare;
- (b) podem apresentar retornos marginais decrescentes e negativos;
- (c) permitem a convergência das isoclinas para o ponto de produção máxima;

- (d) não mostram taxas marginais de substituição constantes entre os insumos; e
- (e) não pressupõem elasticidade de produção constante.

CAPÍTULO III  
MATERIAL E MÉTODOS

3.1. - Material

3.1.1. - Fonte dos dados de produção

Os dados utilizados neste estudo são de natureza secundária, tendo sido fornecidos pelo Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em decorrência do Projeto "Determinação de Níveis de Adubação e Densidade em Sorgo Granífero e Forrageiro", referente ao triênio 1975/77. Citado projeto faz parte do Programa Trienal de Desenvolvimento da Cultura do Sorgo no Nordeste, executado pelo Departamento de Fitotecnia com o patrocínio do Banco do Nordeste do Brasil.

O local onde foram conduzidos os experimentos, propriedade da Secretaria de Agricultura do Estado do Ceará, está situado no município de Redenção, distrito de Antônio Diogo, tendo sido selecionado em função da relativa proximidade e da conseqüente facilidade de acompanhamento e assistência, além de, principalmente, representar uma micro-região homogênea relevante para a pesquisa do sorgo no Estado.

3.1.2. - Delineamento experimental <sup>2/</sup>

Os ensaios foram delineados de conformidade com um desenho clássico - o delineamento composto central rotativo. O delineamento rotativo foi especificamente desenvolvido para a estimativa de superfícies de resposta, e se tem mostrado mais econômico em termos de utilização de recursos do que os delineamentos fatoriais completos e incompletos, tradicionalmente utilizados em pesquisa empírica para o ajustamento de funções de produção com fertilizantes.

---

<sup>2/</sup> Discussão baseada em ANDERSON (1), DILLON (6; 7), HEADY & DILLON (11), JOHN (14) e MYERS (18).

A característica da rotatividade significa que a variância da resposta estimada é uma função somente da distância desde o centro do desenho e não da direção relativamente ao centro. Em outras palavras, um desenho rotativo é aquele para o qual a qualidade do estimador  $\hat{y}$  é a mesma para dois pontos situados a igual distância do centro do desenho. Esta característica é intuitivamente desejável, de modo especial em estudos exploratórios de superfície de resposta, onde o pesquisador tem uma intensidade uniforme de interesse em todas as partes da seção da superfície, dentro da série de níveis dos fatores investigados.

Uma outra característica do desenho é que possibilita uma estimativa necessária do erro experimental a ser obtida por replicação do tratamento central, tal que não é essencial replicar o experimento todo, ainda que, sendo do desejo do experimentador, não haja razão por que outros pontos experimentais do desenho não possam ser replicados.

Os desenhos compostos centrais, rotativos e não-rotativos, são obtidos pela suplementação aos fatoriais de dois níveis, de pontos experimentais adicionais ou tratamentos colocados simetricamente em torno do centro do fatorial.

Para a construção de um delineamento composto central,  $(2K+1)$  tratamentos suplementares têm que ser adicionados ao fatorial básico  $2^K$ . Um desses tratamentos adicionais é colocado no centro do desenho e seu valor codificado é  $(0, 0, \dots, 0)$ . Os outros  $2K$  tratamentos adicionais são colocados aos pares ao longo dos eixos coordenados a distâncias de  $\pm \alpha$  do centro, e têm os valores codificados  $(\pm \alpha_1, 0, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, \pm \alpha_2, 0, \dots, 0)$ ,  $\dots$ ,  $(0, 0, 0, \dots, \pm \alpha_K)$ .

Como exemplo, considere-se o desenho composto central para o estudo de três fatores A, B e C, mostrado no QUADRO 01. Os 8 primeiros tratamentos são aqueles de um fatorial completo  $2^3$ . Os tratamentos de 9 a 15 aumentam esse fatorial, estando o 9º tratamento no centro do desenho, enquanto os tratamentos de 10 a 15 são os pontos experimentais suplementares não-centrais. O nível do fator  $\pm \alpha$  fica à escolha do experimentador, desde que  $|\alpha| > 1$ .

Como é típico dos desenhos compostos centrais, o desenho abaixo não contém um tratamento com os três fatores em seu nível mais baixo. Entretanto, tal tratamento pode ser utilizado <sup>3/</sup>.

Sendo  $\alpha$  a distância dos pontos suplementares ao centro do desenho e, utilizando-se um fatorial completo  $2^K$  como núcleo do desenho composto central, um arranjo rotativo resulta se  $\alpha$  é escolhido para satisfazer a equação:  $\alpha = 2^{K/4}$ . Assim, para três fatores, com um desenho fatorial completo  $2^K$  como núcleo, a rotatividade resultaria num valor de  $\alpha$  igual a 1,682.

Uma característica do desenho rotativo que deve ser destacada é o papel dos tratamentos centrais. Com nenhuma ou poucas replicações do tratamento central, a variância da resposta estimada tende a ser maior no centro do que em pontos adjacentes ao centro do desenho. Esta distorção é contornada pela utilização de um número adequado de replicações do tratamento central.

---

<sup>3/</sup> Para o desenho dos experimentos analisados neste trabalho, adicionou-se, nos anos de 1976 e 1977, um tratamento-testemunha, com os nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  num nível atual de zero, enquanto o fator população de plantas foi empregado em seu nível médio.

QUADRO 01 - Tratamentos Codificados para um Desenho Composto Central com Três Fatores.

Fatores Tratamentos	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1
4	-1	+1	+1
5	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	$-\alpha$	0	0
11	$+\alpha$	0	0
12	0	$-\alpha$	0
13	0	$+\alpha$	0
14	0	0	$-\alpha$
15	0	0	$+\alpha$

FONTE: HEADY & DILLON (11).

A construção do desenho rotativo é baseada na seleção de tratamentos locados nos vértices e centro de certas figuras regulares ou combinações de figuras dentro do espaço de K dimensões, onde K é o número de fatores estudados.

O desenho rotativo para três fatores pode ser representado pelo QUADRO 02. Os três fatores A, B e C são empregados em cinco níveis diferentes, sendo três níveis básicos e dois intermediários. As interpolações entre os níveis básicos dos fatores são calculadas através da fórmula:

$$I = N_c \pm X,$$

Onde:

I = valor interpolado;

$N_c$  = nível central;

$X = (N_c - N_i)/\alpha$ ;

$N_i$  = nível inferior;

$\alpha = 1,682$ .

QUADRO 02 - Tratamentos Codificados para um Desenho Rotativo com Três Fatores.

Fatores			A	B	C	
Tratamentos						
$a_1$	$b_1$	$c_1$	-1	-1	-1	
$a_1$	$b_1$	$c_3$	-1	-1	+1	
$a_1$	$b_3$	$c_1$	-1	+1	-1	Fatorial básico de dois
$a_1$	$b_3$	$c_3$	-1	+1	+1	veis (pontos de cubo)
$a_3$	$b_1$	$c_1$	+1	-1	-1	
$a_3$	$b_1$	$c_3$	+1	-1	+1	
$a_3$	$b_3$	$c_1$	+1	+1	-1	
$a_3$	$b_3$	$c_3$	+1	+1	+1	
$a_0$	$b_2$	$c_2$	-1,682	0	0	
$a_4$	$b_2$	$c_2$	+1,682	0	0	
$a_2$	$b_0$	$c_2$	0	-1,682	0	Tratamentos adicionados ao
$a_2$	$b_4$	$c_2$	0	+1,682	0	fatorial básico (pontos
$a_2$	$b_2$	$c_0$	0	0	-1,682	axiais)
$a_2$	$b_2$	$c_4$	0	0	+1,682	
$a_2$	$b_2$	$c_2$	0	0	0	Ponto central
$a_2$	$b_2$	$c_2$	0	0	0	Replicação do ponto central

FORTE: DILLON (6).

A configuração geométrica do desenho rotativo, apresentada na FIGURA 1, pode ser interpretada como um "mapa tridimensional do experimento", com cada tratamento codificado, especificando um ponto no plano dos três fatores e o tratamento central (0, 0, 0), sendo a origem do mapa. Assim sendo, além desse ponto central, têm-se os pontos de cubo, que em conjunto equivalem ao fatorial básico de dois níveis ( $2^3$ ); os pontos axiais, que são os tratamentos adicionados ao fatorial básico, e a(s) replicação(ões) do ponto central.

No delineamento dos experimentos que servem de base a este trabalho, três fatores de produção (N,  $P_2O_5$  e D), três níveis básicos de nitrogênio (00; 80; 160), de  $P_2O_5$  (00; 60; 120) e de população de plantas (100.000; 250.000; 400.000) foram utilizados, num total de dezesseis tratamentos, acrescidos de uma testemunha (N = 0;  $P_2O_5$  = 0; D = 267.000), perfazendo dezessete tratamentos.

O QUADRO 03 apresenta os diversos níveis de utilização dos fatores N,  $P_2O_5$  e D, e seus correspondentes valores codificados.

No QUADRO 04, faz-se a discriminação das várias combinações dos fatores arranjadas em tratamentos, especificando em cada tratamento os níveis de utilização dos fatores e seus correspondentes valores codificados. Note-se que a medida do fator população de plantas (Nº de plantas por hectare) foi alterada para quilogramas por hectare, com base na proporção média de 35.000 sementes para cada quilograma de grãos.

QUADRO 03 - Níveis dos Fatores Variáveis para o Delineamento Rotativo.

Valor Codificado		-1,682	-1	0	+1	+1,682
Medida do Fator						
N	(Kg/ha)	0,0	32,8	80,0	127,0	160,0
$P_2O_5$	(Kg/ha)	0,0	24,6	60,0	95,4	120,0
D	(Nº plantas/ha)	100.000	161.500	250.000	338.500	400.000

FONTE: UFCE/CCA/DF (24).

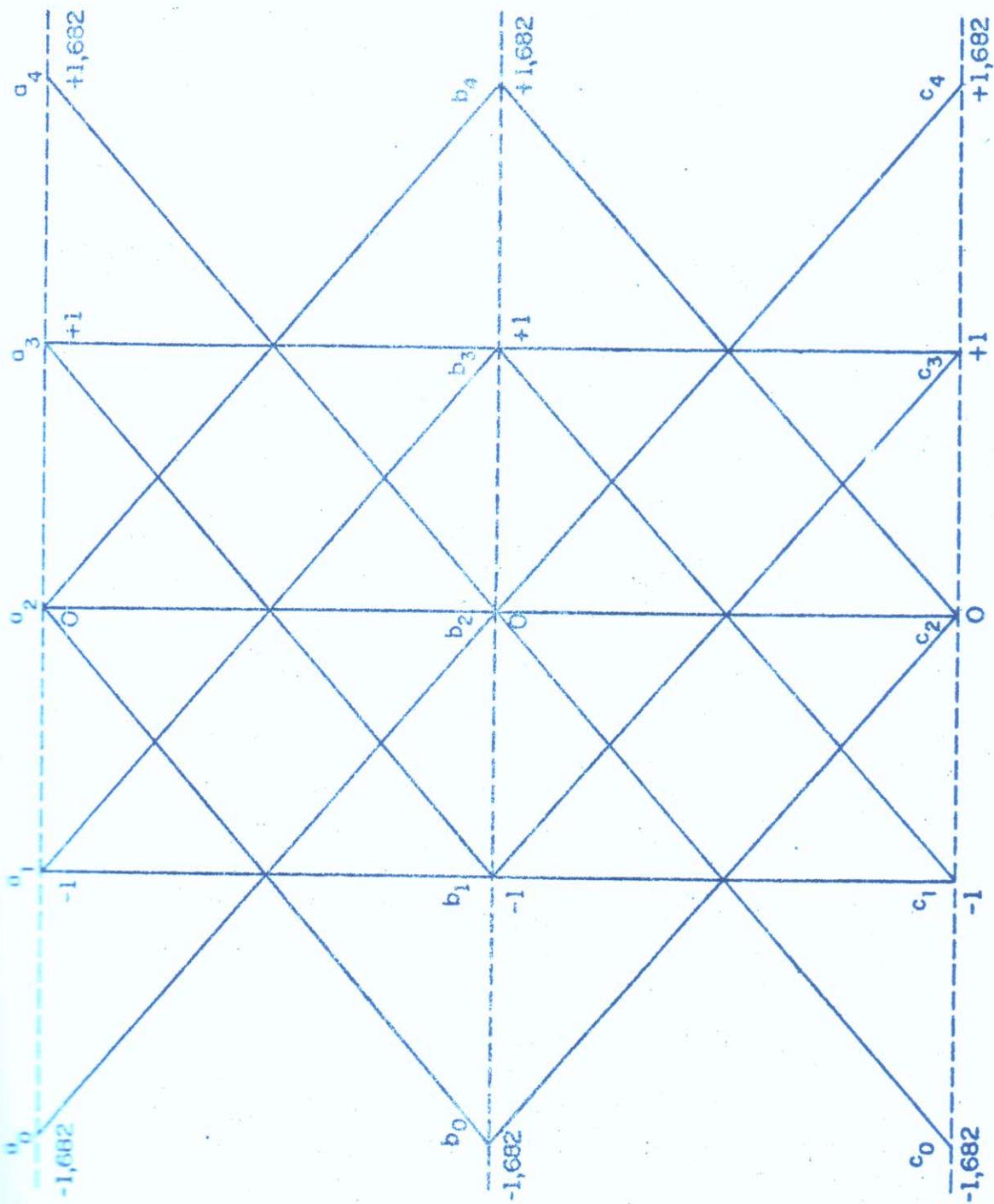


FIGURA 01 - Configuração Geométrica do Desenho Rotativo para Três Fatores.

QUADRO 04 - Tratamentos para o Delineamento Rotativo com Três Fatores Variáveis <sup>4/</sup>.

Tratamentos	Fatores	N (Kg/ha)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)		D (Kg/ha)	
A		-1	(32,8)	-1	(24,6)	-1	(4,6)
B		-1	(32,8)	-1	(24,6)	+1	(9,7)
C		-1	(32,8)	+1	(95,4)	-1	(4,6)
D		-1	(32,8)	+1	(95,4)	+1	(9,7)
E		+1	(127,2)	-1	(24,6)	-1	(4,6)
F		+1	(127,2)	-1	(24,6)	+1	(9,7)
G		+1	(127,2)	+1	(95,4)	-1	(4,6)
H		+1	(127,2)	+1	(95,4)	+1	(9,7)
I		-1,682	(0,0)	0	(60,0)	0	(7,1)
J		+1,682	(160,0)	0	(60,0)	0	(7,1)
L		0	(80,0)	-1,682	(0,0)	0	(7,1)
M		0	(80,0)	+1,682	(120,0)	0	(7,1)
N		0	(80,0)	0	(60,0)	-1,682	(2,9)
O		0	(80,0)	0	(60,0)	+1,682	(11,4)
P		0	(80,0)	0	(60,0)	0	(7,1)
Q		0	(80,0)	0	(60,0)	0	(7,1)
R			0,0		0,0		7,6

FONTE: UFCE/OCA/DF (24).

<sup>4/</sup> O delineamento rotativo é, pela primeira vez, utilizado em experimentação agrícola no Estado do Ceará, sendo os dados desta pesquisa os primeiros a serem gerados pelo citado delineamento. Entretanto, ainda existem dúvidas quanto à eficiência do desenho, já que não ocorreram ajustamentos satisfatórios dos dados anuais, quando tomados separadamente aos modelos econômicos de funções de produção dos tipos quadrático e raiz-quadrada. O ajustamento só foi conseguido mediante a agregação dos dados dos três anos consecutivos, como detalhado mais adiante. O planejamento de futuros experimentos, com base neste delineamento, poderá comprovar sua eficiência, principalmente no tocante à economia na utilização dos recursos de pesquisa.

### 3.1.3. - Processo Experimental

Os adubos empregados nos ensaios foram a uréia (45% N) e o superfosfato simples (20%  $P_2O_5$ ). Ensaios de adubação realizados em anos anteriores mostraram que o potássio não tinha nenhuma influência nos resultados, sendo excluído dos experimentos e substituído pela variável população de plantas. Os fertilizantes foram aplicados em sulcos laterais por ocasião do plantio.

Nos ensaios com sorgo granífero foi utilizada a variedade EA-955, enquanto que nos ensaios com sorgo forrageiro usou-se a variedade EA-116.

Os ensaios foram arranjados no campo de acordo com os dados que se seguem:

(a) Unidade experimental:

- nº total de unidades:

Ensaios de 1975: 32 (trinta e duas)

Ensaios de 1976 e 1977: 51 (cinquenta e uma)

- área total de cada unidade:  $6,0m \times 3,75m = 22,50m^2$ .

- área útil de cada unidade:  $6,0m \times 2,25m = 13,50m^2$ .

- nº de fileiras por unidade: 5 (cinco)

(b) Espaçamento: 0,75m entre fileiras x tratamento <sup>5/</sup>

(c) Número de tratamentos:

Ensaios de 1975: 16 (dezesseis)

Ensaios de 1976 e 1977: 17 (dezessete)

---

<sup>5/</sup> O número de plantas por fileira, bem como o número de plantas por unidade experimental, varia em função dos tratamentos, uma vez que a população de plantas é uma das variáveis investigadas.

## (d) Número de repetições:

Ensaio de 1975: 2 (duas)  
 Ensaio de 1976 e 1977: 3 (três)

## (e) Área dos experimentos:

Ensaio de 1975:  $32 \times 22,50 \text{ m}^2 = 720 \text{ m}^2$ .  
 Ensaio de 1976 e 1977:  $51 \times 22,50 \text{ m}^2 = 1.147,50 \text{ m}^2$ .

## 3.1.4. - Dados de Preços

A determinação dos preços dos fatores nitrogênio,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e população de plantas, e dos produtos, grãos (sorgo granífero) e forragem (sorgo forrageiro) foi feita baseando-se em informações coletadas junto ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da UFCE. Tomou-se a média dos preços registrados no período de 1975 a 1977, época em que foram conduzidos os experimentos. Os preços dos nutrientes nitrogênio e  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram obtidos a partir dos preços dos compostos utilizados na adubação dos experimentos, ou seja, respectivamente, a uréia, com 45% de nitrogênio, e o superfosfato simples, com 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Para o estabelecimento do preço do fator população de plantas, considerou-se o preço-base de um quilograma de sementes selecionadas. O preço do sorgo granífero foi determinado utilizando-se o "preço mínimo" estipulado para o ano de 1976, e que equivale, a grosso modo, à média do período 1975/77.

Com o propósito de atender à finalidade deste estudo, ao preço de cada fertilizante, adicionaram-se taxas correspondentes aos custos de aplicação e de transporte. No APÊNDICE A, apresentam-se detalhes sobre o procedimento utilizado.

Assim sendo, a partir da determinação desses preços médios, e visando-se à elaboração de um mapa de preços, estipularam-se quatro níveis de preços para os fatores de produção e produtos considerados. O nível 1 corresponde ao preço médio acrescido de 20% de seu valor; o nível 2 equivale ao próprio preço médio; o nível 3 corresponde ao preço médio menos 20% de seu valor, e o nível 4 corresponde ao preço médio menos 40% do seu valor. Esses níveis de preços são a seguir apresentados no QUADRO 05.

QUADRO 05 - Níveis de Preços dos Fatores e dos Produtos.

Nível de preços	Preço do fator (Cr\$)			Preço do produto (Cr\$)	
	Kg nitrogênio	Kg $P_2O_5$	Kg sementes	Kg grãos	Kg forragem
1	8,77	14,64	8,40	1,20	0,36
2	7,31	12,20	7,00	1,00	0,30
3	5,85	9,76	5,60	0,80	0,24
4	4,39	7,32	4,20	0,60	0,18

### 3.2. - Modelo Econômico e Estatístico

Foram estudadas neste trabalho as relações fator/produto e fator/fator com vistas à análise de resposta da cultura de sorgo grãífero ou forrageiro ao emprego de fertilizantes, associados a diferentes níveis de população de plantas. Esta análise tem como base econômica a teoria da produção no curto prazo, através de uma função de produção em proporções variáveis, posto que diferentes quantidades de fatores variáveis se encontram associadas a uma quantidade específica de recursos fixos, a fim de se obter quantidades diversas de produto.

Simbolicamente, a função de produção pode ser representada pela equação:  $Y = f (X_1/X_{i+1} \dots X_n)$ , onde Y representa a quantidade produzida de sorgo grãífero ou forrageiro,  $X_i$ , ( $i = 1, 2, 3$ ) as quantidades dos fatores variáveis nitrogênio,  $P_2O_5$  e população de plantas, e  $X_{i+1} \dots X_n$ , as quantidades dos fatores considerados constantes durante a realização dos experimentos, entre os quais os fatores terra, mão-de-obra, tipo de variedade, modo de aplicação dos fertilizantes, tratamentos culturais e fitossanitários, temperatura, pluviosidade etc.

Considerando-se que os conceitos da teoria da produção aqui aplicados se encontram explanados detalhadamente em diversos livros-texto, como HEADY (10), HEADY & DILLON (11) e outros, decidiu-se apresentar neste trabalho somente os conceitos dos principais instrumentos analíticos utilizados nas análises agroeconômicas.

## 3.2.1. - Instrumentos analíticos básicos

## 3.2.1.1. - Produto físico médio

O produto físico médio de um fator variável é definido como a razão entre o produto físico total (Y) e o nível do fator variável, em dado ponto de seu campo de variação, ou seja:

$$PFMe_{X_i} = \frac{Y}{X_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

## 3.2.1.2. - Produto físico marginal

O produto físico marginal é definido como a adição ao produto físico total decorrente do acréscimo de uma unidade do fator variável ao processo, mantendo-se constantes os níveis dos demais fatores de produção. A equação do produto físico marginal obtém-se pela derivação parcial do produto físico total em relação ao fator variável considerado, ou seja:

$$PFMa_{X_i} = \frac{\delta Y}{\delta X_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

## 3.2.1.3. - Elasticidade de produção

Este conceito refere-se ao incremento percentual na produção em decorrência de um aumento percentual no investimento variável, sendo aplicado na determinação dos estágios de produção. A elasticidade parcial de produção refere-se à mudança percentual na produção em consequência da variação percentual em um dos fatores, mantendo-se constantes os demais, e pode ser expressa como a razão entre o produto físico marginal e o produto físico médio do fator considerado, ou seja:

$$E_{P \ X_i} = \frac{PFMa_{X_i}}{PFMe_{X_i}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

## 3.2.1.4. - Isoquantas

As isoquantas são curvas que representam as diferentes combinações entre dois recursos que geram uma quantidade específica de produto. Sendo contínua a função de produção, existe uma infinidade de pontos ao longo de cada isoquanta. A equação da isoquanta é obtida expressando-se a equação do produto total como uma função de um dos fatores variáveis, a um dado nível de produção. No APÊNDICE B é apresentada a derivação da equação da isoquanta da função quadrática e da função raiz-quadrada.

## 3.2.1.5. - Taxa marginal de substituição técnica

A taxa marginal de substituição técnica (TMST) mede a redução em um fator por unidade de acréscimo no outro, de modo a manter a produção num nível constante. A taxa marginal de substituição técnica entre dois fatores em um ponto da isoquanta é igual ao valor negativo da inclinação da isoquanta naquele ponto; é também igual à razão entre as produtividades marginais dos dois fatores, ou seja:

$$TMST_{X_i, X_j} = \frac{\delta X_i}{\delta X_j} = \frac{PFMa_{X_j}}{PFMa_{X_i}} \quad (i \neq j) \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

## 3.2.1.6. - Isoclinas

Uma isoclina é o lugar geométrico de pontos ao longo do qual a taxa marginal de substituição técnica é constante. Quando as isoclinas apresentam taxa marginal de substituição técnica igual a zero e infinito, respectivamente, recebem a denominação de linhas de fronteira, pois delimitam a região econômica de produção.

O caminho de expansão é também uma isoclina especial que passa pelos pontos onde a taxa marginal de substituição técnica é igual à razão de preços dos fatores considerados.

## 3.2.1.7. - Eficiência técnica e econômica

A máxima eficiência técnica dos recursos fixos é atingida quando o produto total (Y) é máximo. Quanto aos recursos variáveis, a eficiência técnica de um dado recurso é maximizada quando o produto médio desse recurso é máximo.

Para se alcançar a maximização da eficiência econômica na utilização dos recursos, são necessárias as seguintes condições:

- (a) os fatores de produção considerados devem ser empregados no estágio racional de produção; e
- (b) o mais alto nível de tecnologia existente deve ser utilizado.

Como condição suficiente, o produto marginal de cada fator variável deve ser igual à respectiva razão de preços fator/produto. A combinação ótima dos recursos ocorre quando a razão entre o valor do produto marginal de um recurso e o preço desse recurso for igual a esta mesma razão para todos os recursos considerados, e igual à unidade. Assim, para o caso de três fatores variáveis, a combinação ótima é determinada quando:

$$\frac{VPF_{Ma X_1}}{P_{X_1}} = \frac{VPF_{Ma X_2}}{P_{X_2}} = \frac{VPF_{Ma X_3}}{P_{X_3}} = \dots = \frac{VPF_{Ma X_n}}{P_{X_n}} = 1$$

## 3.2.2. - Especificação dos modelos

Este item compreende a seleção das variáveis a serem ajustadas e o estabelecimento da inter-relação funcional existente entre as mesmas.

Serão ajustados dois modelos matemáticos de funções de produção para a obtenção de superfícies de resposta: a função quadrática e a função raiz-quadrada. Como são medidas somente as variações existentes na produção em decorrência da utilização de diferentes níveis de nitrogênio e  $P_2O_5$ , associados a diferentes níveis de população de plantas, apenas essas variáveis serão utilizadas para compor os modelos na análise de regressão.

Os modelos estatísticos estão especificados abaixo, e a seleção final do modelo será feita em consonância com a evidência empírica e os resultados estatísticos a serem alcançados.

(a) Função Quadrática

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 N + \hat{\beta}_2 N^2 + \hat{\beta}_3 P + \hat{\beta}_4 P^2 + \hat{\beta}_5 D + \hat{\beta}_6 D^2 + \hat{\beta}_7 NP + \hat{\beta}_8 ND + \hat{\beta}_9 PD + \epsilon_i$$

(b) Função Raiz-Quadrada

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 N + \hat{\beta}_2 N^{0,5} + \hat{\beta}_3 P + \hat{\beta}_4 P^{0,5} + \hat{\beta}_5 D + \hat{\beta}_6 D^{0,5} + \hat{\beta}_7 (NP)^{0,5} + \hat{\beta}_8 (ND)^{0,5} + \hat{\beta}_9 (PD)^{0,5}$$

As variáveis utilizadas nas estimativas das equações acima estão assim especificadas:

Y = produção de sorgo grânifero ou forrageiro, em kg/ha;

N = quantidade aplicada de nitrogênio, em kg/ha;

P = quantidade aplicada de  $P_2O_5$ , em kg/ha;

D = população de plantas, em kg/ha.

### 3.2.3. - Processo de ajustamento

A análise de regressão para o ajustamento estatístico dos dados aos modelos acima especificados será feita através do método dos mínimos quadrados, que consiste na estimativa dos parâmetros  $\beta_i$  ( $i=1, \dots, 9$ ) que tornam mínima a soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e os correspondentes valores estimados através da equação de regressão.

A produção  $Y$  é uma variável aleatória e os  $\beta_i$  são os parâmetros a serem estimados.  $N$ ,  $P$  e  $D$  são variáveis "fixas", no sentido de que são medidas sem erros, e  $\epsilon_i$  é o desvio ou erro aleatório, o qual pressupõe-se ter distribuição normal, com média igual a zero e variância constante  $\sigma^2$ . A análise de regressão estabelece uma relação linear entre as variáveis, possibilitando a estimativa dos valores da variável dependente quando conhecidos os valores das variáveis independentes, além de determinar os parâmetros linear e angulares da regressão.

### 3.2.4. - Seleção do modelo e das respectivas variáveis

Na escolha da equação algébrica que melhor define a superfície de resposta da produção de sorgo granífero e forrageiro à utilização dos fatores nitrogênio,  $P_2O_5$  e população de plantas, foram considerados os seguintes indicadores:

- (a) Valor numérico do coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ), considerado como a relação entre a variação explicada e a variação total das variáveis componentes da equação. Esta relação demonstra a proporção das variações na produção ( $Y$ ) que são explicadas por variações simultâneas nos níveis de  $N$ ,  $P$  e  $D$ ;

- (b) Significância estatística dos coeficientes de regressão, através do teste t. Admitindo-se a hipótese nula de que cada  $\beta_i$  ( $i = 1, \dots, 9$ ) seja igual a zero, e a hipótese alternativa de que cada  $\beta_i$  seja diferente de zero, tem-se:

$$t = \frac{\beta_i}{\delta_{\beta_i}}$$

com  $(n - p)$  graus de liberdade, onde  $n$  é o número de observações,  $p$  o número de parâmetros na equação,  $\beta_i$  a estimativa do coeficiente de regressão e  $\delta_{\beta_i}$  seu desvio-padrão;

- (c) Consistência dos sinais dos coeficientes de regressão;
- (d) Variáveis consideradas de interesse agrônomo e valida de empírica dos resultados.

CAPÍTULO IV  
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. - Análise Estatística

Os resultados preliminares obtidos através da análise de regressão dos modelos quadrático e raiz-quadrada são apresentadas no APÊNDICE B. A cada modelo corresponde um quadro contendo um sumário da análise de regressão, onde se indica:

- . as variáveis componentes da equação correspondente ao modelo estudado;
- . seus respectivos coeficientes de regressão;
- . os desvios-padrão dos coeficientes de regressão;
- . o valor numérico de t, calculado quando significativo ao nível de 10% de probabilidade;
- . o valor numérico do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e de F calculado.

Tendo em vista os critérios adotados para a escolha das variáveis consideradas significativas, decidiu-se excluir dos modelos a variável população de plantas, por não apresentar significância estatística.

De acordo com observações do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da UFCE, já é esperado que a variável população de plantas não apresente diferenças estatisticamente significantes entre os diversos tratamentos experimentados. Isso se deve a que o espaçamento entre fileiras permanece constante (0,75 m), só havendo variação de um tratamento a outro, no espaçamento dentro da fileira.

Um adensamento maior causa uma maior competição entre as plantas, do que resulta o decréscimo da produção. Desta forma, havendo uma população menor, decorre uma menor competição entre as plantas e a produção resultante não deve diferir estatisticamente daquela advinda de uma população de plantas maior.

Deste modo, processaram-se novas análises de regressão, cujos resultados são apresentados no APÊNDICE C, com os mesmos componentes mencionados acima, acrescidos da matriz de correlação.

Com base nesses resultados e observando-se os critérios descritos anteriormente, selecionou-se a equação algébrica que melhor define a superfície de resposta, respectivamente do sorgo grânifero e do sorgo forrageiro, ao emprego de fertilizantes. A seguir, são discutidos os resultados estatísticos da análise de regressão para cada modelo selecionado.

#### 4.1.1. - Análise de regressão para o sorgo grânifero

O modelo selecionado foi a função quadrática e a equação algébrica resultante foi a seguinte:

$$\hat{Y} = 647,02 + 18,29N - 0,11N^2 + 34,23P - 0,20P^2 + 0,12NP \quad (1)$$

(5,85) (0,04) (7,80) (0,07) (0,05)  $R^2 = 0,517$

Através do teste t, constatou-se que todos os coeficientes de regressão das variáveis do modelo foram estatisticamente significantes ao nível de 1% de probabilidade, exceto o coeficiente da interação NP, que foi significativa ao nível de 5%, sendo, pois, rejeitada a hipótese nula do teste para tais coeficientes. Os sinais dos coeficientes das variáveis independentes nitrogênio e  $P_2O_5$ , em suas formas linear e quadrática, bem como da interação nitrogênio -  $P_2O_5$ , são consistentes com a teoria, proporcionando retornos decrescentes aos fatores variáveis. A interação significativa entre nitrogênio e  $P_2O_5$  denota uma interdependência entre esses recursos na produção de sorgo grânifero, mostrando que a resposta da produção à aplicação de nitrogênio depende do nível de aplicação de  $P_2O_5$ , e vice-versa.

Na matriz de correlação, apresentada no APÊNDICE C, verifica-se que o maior coeficiente de correlação parcial entre a variável dependente e as independentes envolvidas foi para a interação NP, cujo valor foi de 0,619. Dai resulta que aproximadamente 38% da variação na variável dependente é devido à influência da variável independente NP, sendo ignorada a influência das demais variáveis independentes envolvidas.

Pelo teste F, rejeitou-se a hipótese nula para os coeficientes de regressão em conjunto, ao nível de significância de 1%, ficando assim atestada a adequação do modelo quadrático.

A estimativa do coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) foi de 0,517, indicando que apenas 51,7% das variações na produção de sorgo granífero são explicados pela adubação nitrogenada e fosfatada, ficando os 48,3% restantes por conta de outras variáveis não incluídas no modelo.

#### 4.1.2. - Análise de regressão para o sorgo forrageiro

O modelo escolhido foi a função raiz-quadrada e a equação algébrica resultante foi a seguinte:

$$\hat{Y} = 13.136,26 - 96,45N + 1.123,38N^{0,5} - 109,41P + 1.229,66P^{0,5} + 121,50(NP)^{0,5} \quad (2)$$

(35,40)      (451,75)      (47,25)

(520,54)      (45,55)

$R^2 = 0,417$

Através do teste t, rejeitou-se a hipótese nula para os coeficientes de regressão individuais das variáveis do modelo, sendo que o coeficiente da variável N (nitrogênio linear) e o de  $(NP)^{0,5}$  (interação) foram significantes ao nível de 1%, enquanto que os coeficientes das demais variáveis foram significantes ao nível de 5%. Os sinais dos coeficientes são consistentes com o modelo matemático utilizado, possibilitando retornos decrescentes aos fatores variáveis. Verificou-se também a significância estatística do coeficiente da interação nitrogênio -  $P_2O_5$ , evidenciando a interdependência dos nutrientes na produção de sorgo forrageiro.

Verifica-se na matriz de correlação, apresentada no APÊNDICE C, que o maior coeficiente de correlação parcial entre a variável dependente e as variáveis independentes envolvidas foi para a interação  $(NP)^{0,5}$ , cujo valor foi de 0,590. Resulta que aproximadamente 35% das variações na variável dependente são explicados pela variável  $(NP)^{0,5}$ , ignorando-se a influência das outras variáveis independentes envolvidas.

O valor numérico de F atestou o poder explicativo do modelo raiz-quadrada, no total, tendo sido rejeitada a hipótese nula para os coeficientes de regressão em conjunto, ao nível de significância de 1%.

A estimativa do coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) foi de 0,417, indicando que apenas 41,7% das variações na produção de sorgo forrageiro são explicados por variações concomitantes dos recursos incluídos no modelo.

#### 4.2. - Análise Agroeconômica

##### 4.2.1. - Superfícies de produção

No QUADRO 06 são apresentados os diversos níveis de produção de sorgo grânifero e forrageiro estimados, respectivamente, pelas equações (1) e (2), através da utilização dos diferentes níveis de nitrogênio e  $P_2O_5$  testados nos experimentos. Em cada linha e em cada coluna, ou seja, quando se faz variar um dos nutrientes mantendo-se o outro constante num nível determinado, observa-se a ocorrência de retornos totais decrescentes para ambos os recursos na produção de sorgo grânifero e forrageiro.

As FIGURAS 2, 3, 4 e 5 são a representação gráfica das relações existentes entre os fatores e o produto considerado, sorgo grânifero ou forrageiro. Em todos esses gráficos, a curva de resposta, quando um dos fatores é fixado ao nível de zero, encontra-se muito abaixo das demais. Além disso, nota-se que, em dados níveis de utilização dos fatores, as curvas se interceptam. Essas observações evidenciam a interação positiva dos nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  na produção tanto de sorgo grânifero como de sorgo forrageiro.

QUADRO 06 - Produções Estimadas de Sorgo Granífero e Forrageiro Quando são Utilizados Diferentes Níveis dos Fatores de Produção.

Nível de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	Nível de Nitrogênio (kg/ha)											
	0,0		32,8		80,0		127,2		160,0			
	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro
0,0	647	13.136	1.129	16.406	1.406	15.468	1.194	13.538	757	11.914		
24,6	1.368	16.544	1.946	23.265	2.363	24.266	2.290	23.742	1.951	22.944		
60,0	1.981	16.097	2.699	24.757	3.316	26.846	3.433	27.112	3.243	26.779		
95,4	2.092	14.709	2.950	24.776	3.767	27.655	4.095	28.495	4.034	28.498		
120,0	1.875	13.477	2.829	24.370	3.786	27.714	4.253	28.890	4.289	29.091		



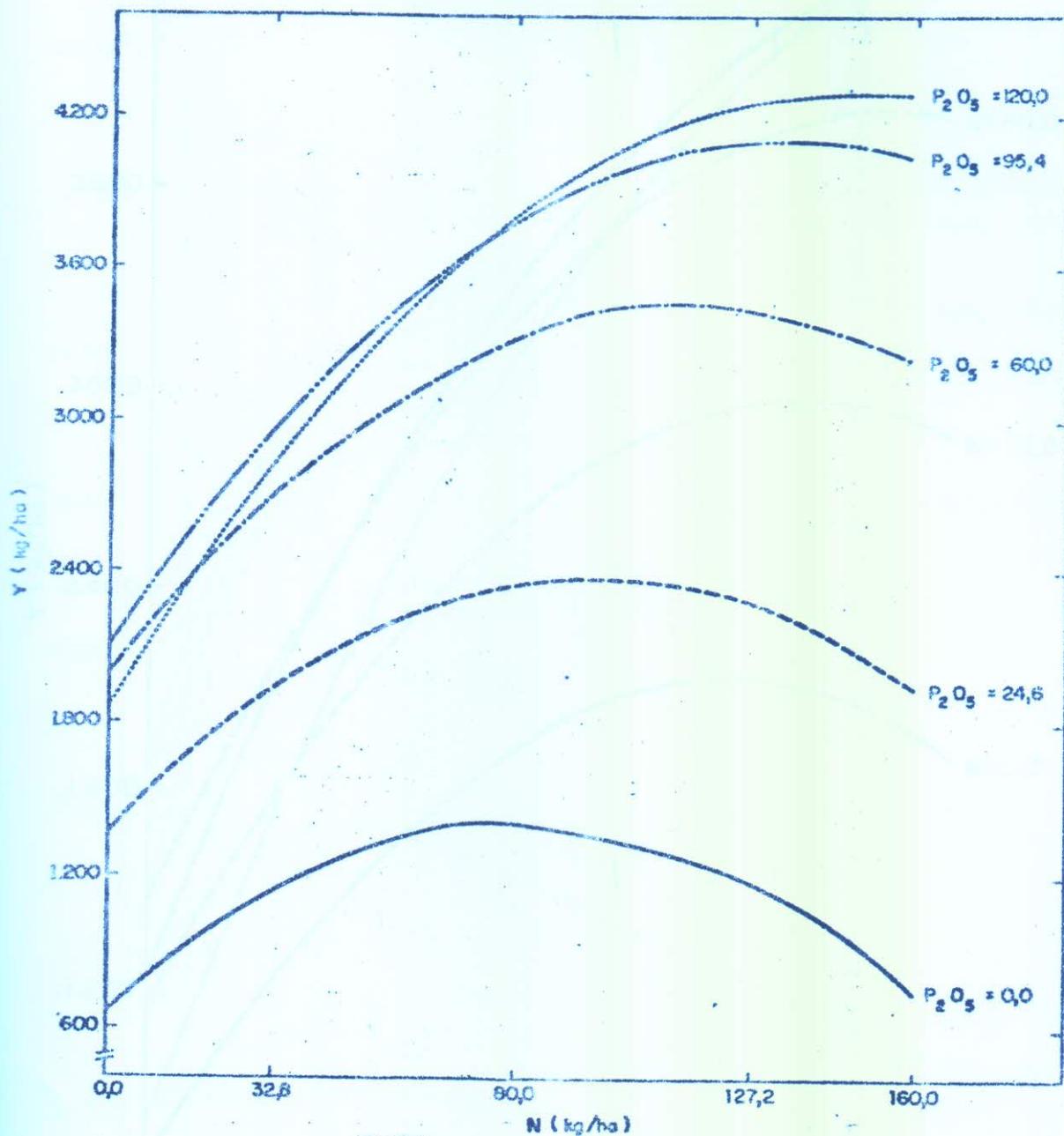


FIGURA 02 - Produção de Sorgo Granífero Estimada quando Nitrogênio Varia e os Diferentes Níveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são Mantidos Fixos.

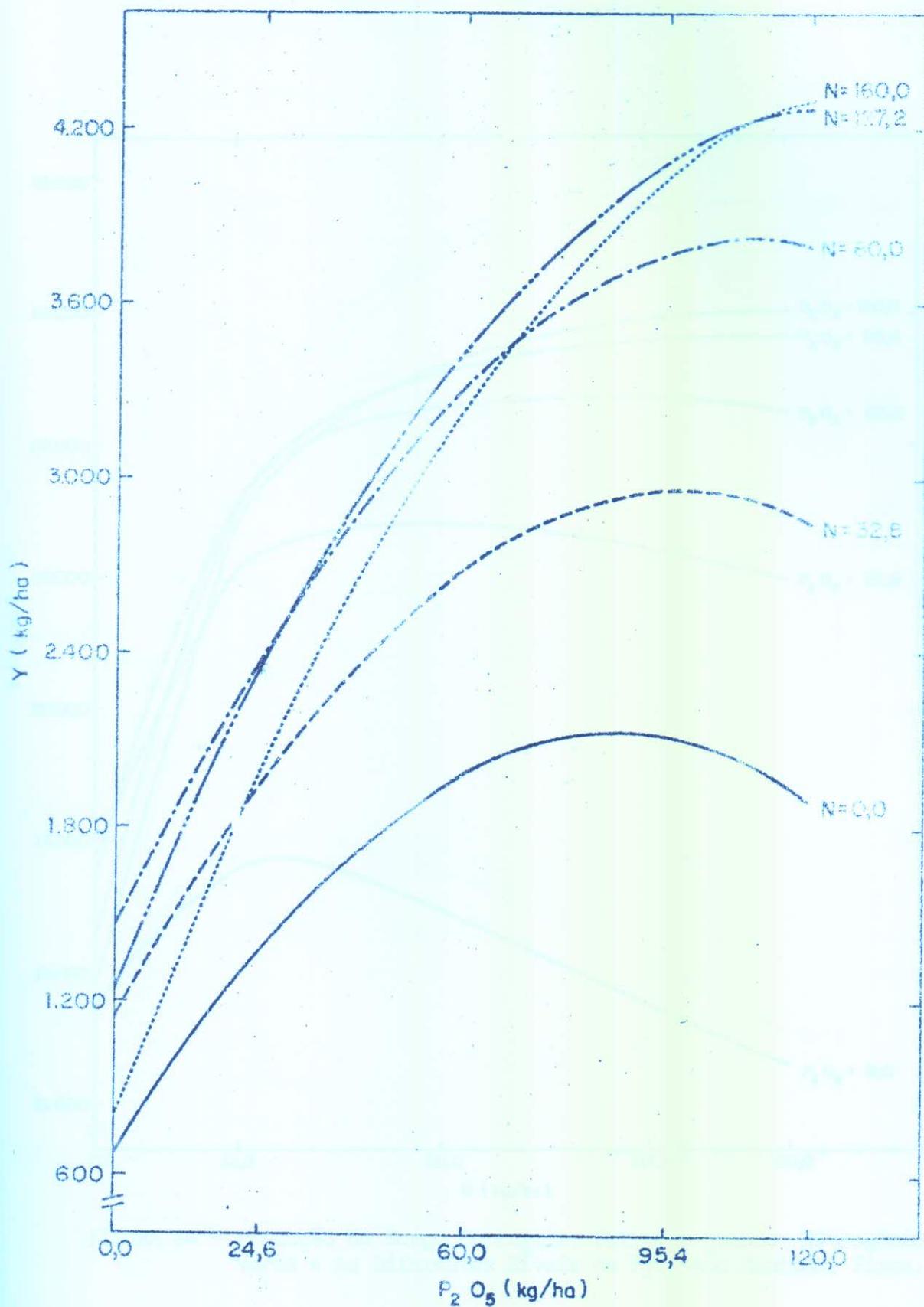


FIGURA 03 - Produção de Sorgo Granífero Estimada quando  $P_2O_5$  Varia e os Diferentes Níveis de Nitrogênio são Mantidos Fixos.

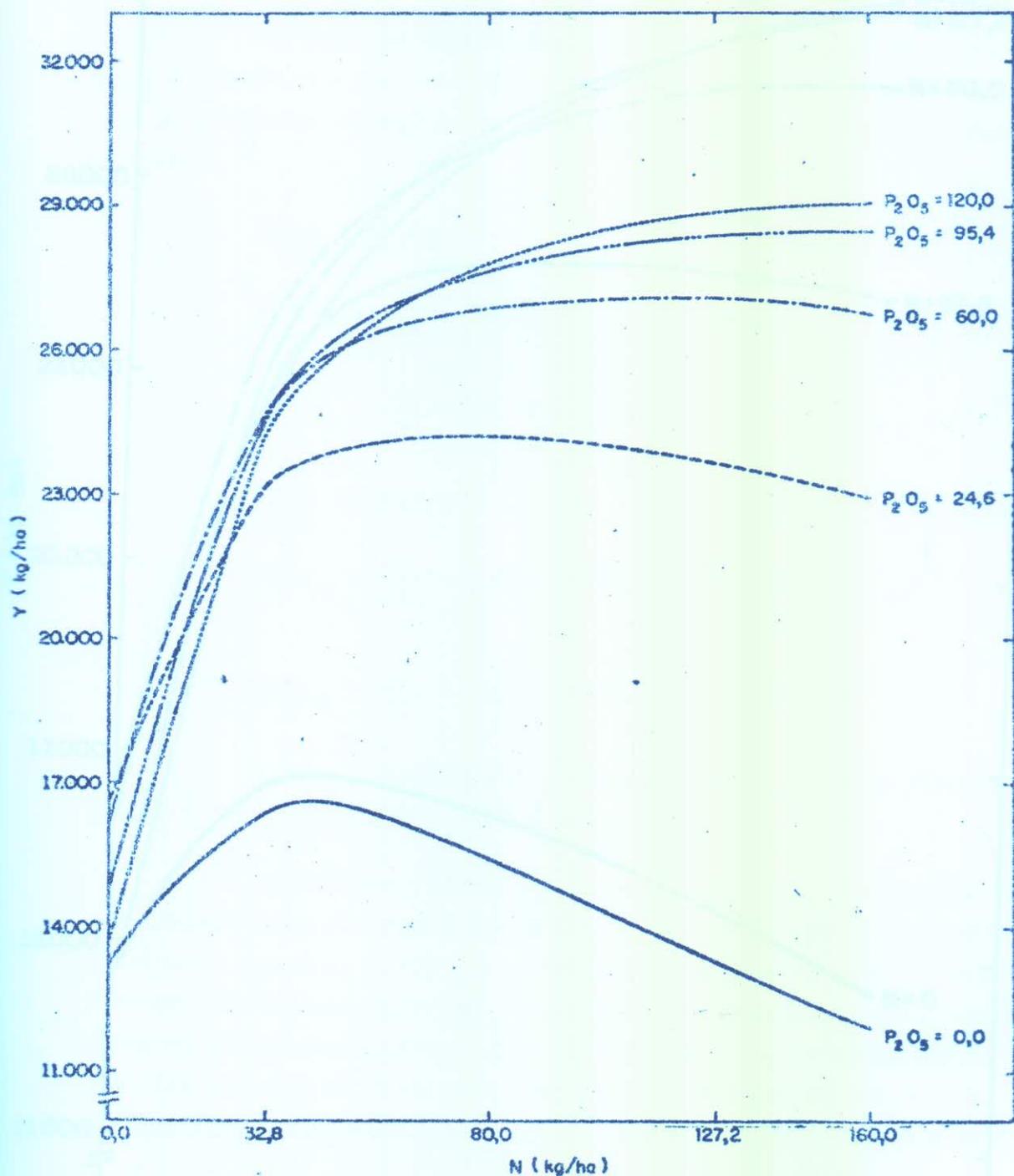


FIGURA 04 - Produção de Sorgo Forrageiro Estimada quando Nitrogênio Varia e os Diferentes Níveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são Mantidos Fixos.

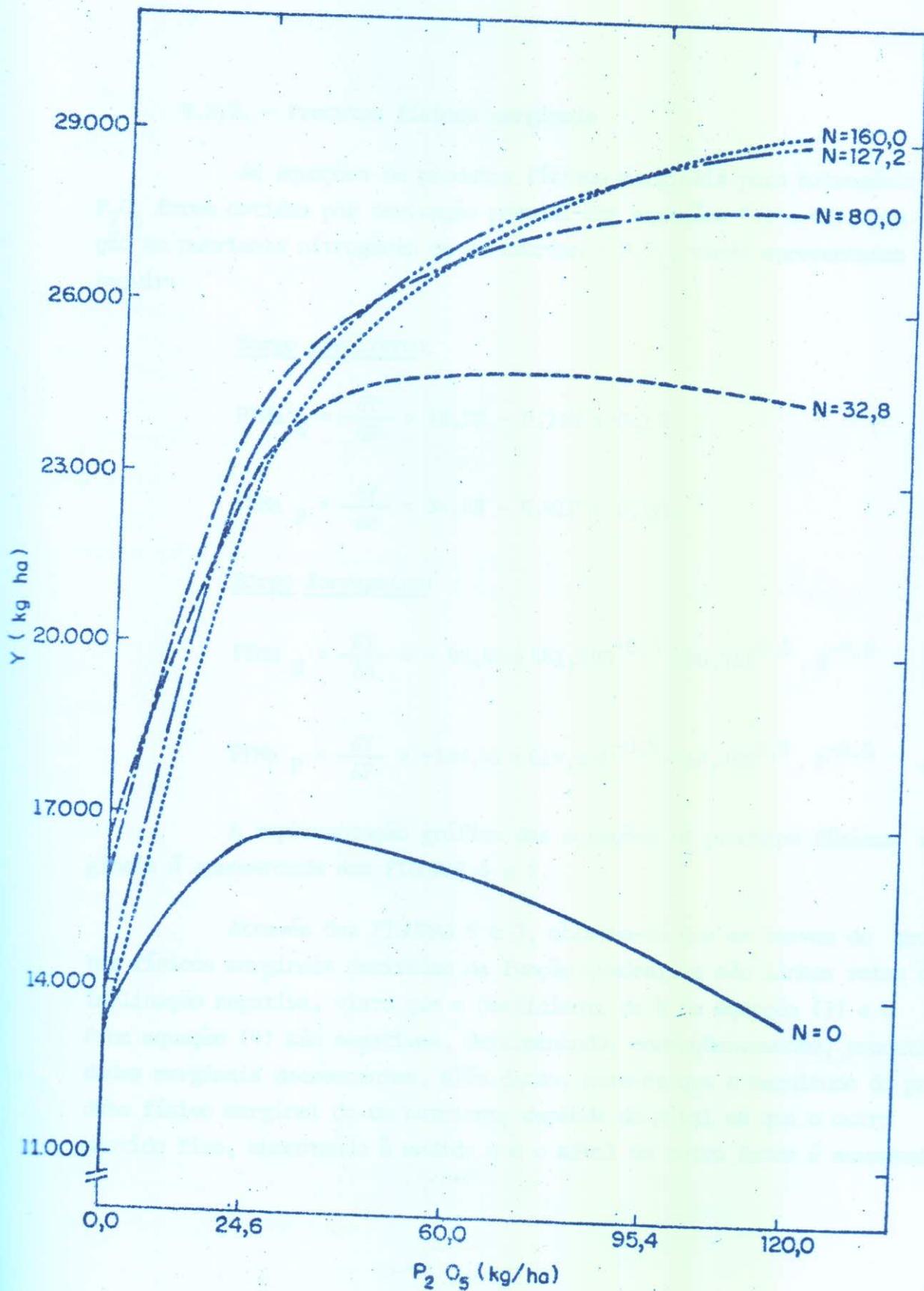


FIGURA 05 - Produção de Sorgo Forrageiro Estimada quando  $P_2O_5$  Varia e os Diferentes Níveis de Nitrogênio são Mantidos Fixos.

#### 4.2.2. - Produtos físicos marginais

As equações de produtos físicos marginais para nitrogênio e  $P_2O_5$  foram obtidas por derivação parcial das equações (1) e (2), com relação ao nutriente nitrogênio ou ao nutriente  $P_2O_5$ , sendo apresentadas a seguir:

Sorgo granífero:

$$PFMa_N = \frac{\delta Y}{\delta N} = 18,29 - 0,23N + 0,12P \quad (3)$$

$$PFMa_P = \frac{\delta Y}{\delta P} = 34,23 - 0,41P + 0,12N \quad (4)$$

Sorgo forrageiro:

$$PFMa_N = \frac{\delta Y}{\delta N} = -96,45 + 561,69N^{-0,5} + 60,75P^{0,5} \cdot N^{-0,5} \quad (5)$$

$$PFMa_P = \frac{\delta Y}{\delta P} = -109,41 + 614,83P^{-0,5} + 60,75N^{0,5} \cdot P^{-0,5} \quad (6)$$

A representação gráfica das equações de produtos físicos marginais é apresentada nas FIGURAS 6 a 9.

Através das FIGURAS 6 e 7, observa-se que as curvas de produtos físicos marginais derivadas da função quadrática são linhas retas com inclinação negativa, visto que o coeficiente de N na equação (3) e o de P na equação (4) são negativos, determinando, conseqüentemente, produtividades marginais decrescentes. Além disso, nota-se que a magnitude do produto físico marginal de um nutriente depende do nível em que o outro é mantido fixo, aumentando à medida que o nível do outro fator é aumentado.

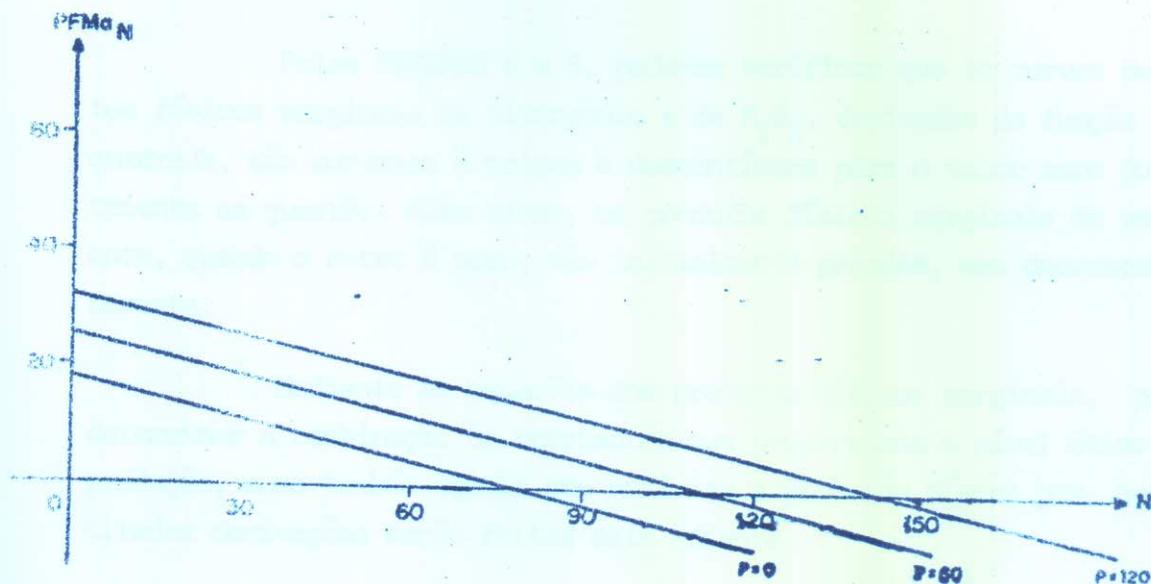


FIGURA 06 - Produtos Físicos Marginais de Nitrogênio quando  $P_2O_5$  é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Granífero.

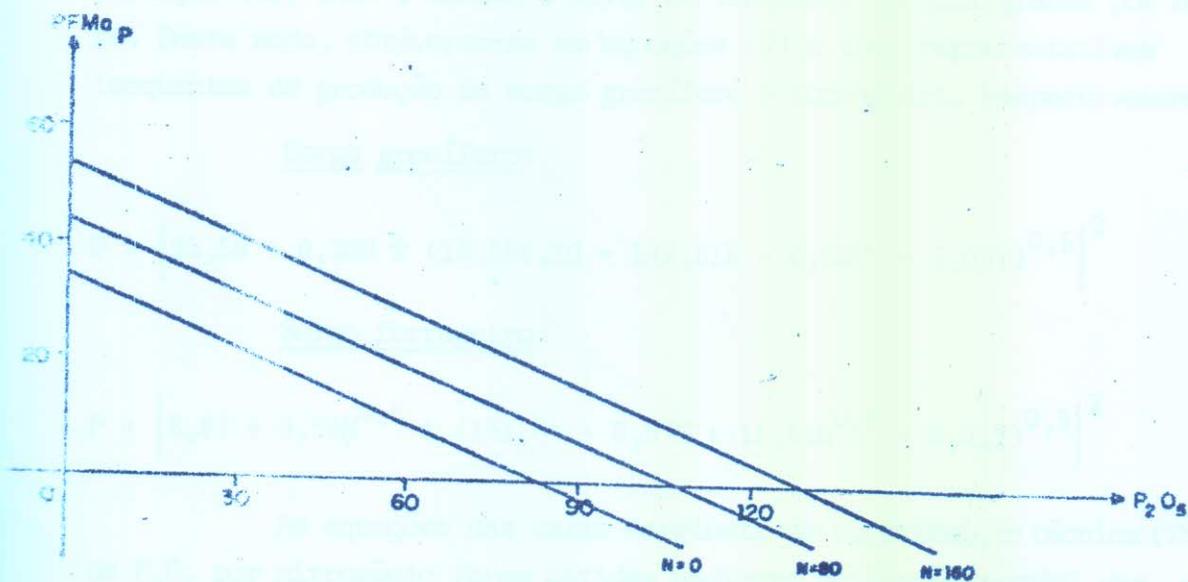


FIGURA 07 - Produtos Físicos Marginais de  $P_2O_5$  quando Nitrogênio é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Granífero.

Pelas FIGURAS 8 e 9, pode-se verificar que as curvas de produtos físicos marginais de nitrogênio e de  $P_2O_5$ , derivadas da função raiz-quadrada, são convexas à origem e descontínuas para o valor zero do nutriente em questão. Além disso, os produtos físicos marginais de um nutriente, quando o outro é zero, são inicialmente grandes, mas decrescem rapidamente.

Mediante as equações dos produtos físicos marginais, pode-se determinar a combinação de nutrientes que proporciona o nível ótimo de produção, como também aquela que maximiza a produção física por hectare. Citadas derivações serão feitas mais adiante.

#### 4.2.3. - Isoquantas e Taxas Marginais de Substituição Técnica

As equações de isoquantas foram derivadas a partir das equações (1) e (2), e mostram  $P_2O_5$  expresso como uma função de nitrogênio e produção (Y), onde Y denota o nível da isoquanta em quilogramas por hectare. Deste modo, obtiveram-se as equações (7) e (8), representativas das isoquantas de produção de sorgo grãoífero e forrageiro, respectivamente.

Sorgo grãoífero:

$$P = \left| 85,58 + 0,30N \pm (10.558,19 + 142,81N - 0,50N^2 - 5,00Y)^{0,5} \right|^2 \quad (7)$$

Sorgo forrageiro:

$$P = \left| 5,62 + 0,56N^{0,5} \pm (151,64 - 0,57N + 16,51N^{0,5} - 0,01Y)^{0,5} \right|^2 \quad (8)$$

As equações das taxas marginais de substituição técnica (TMST) de  $P_2O_5$  por nitrogênio foram obtidas mediante derivação parcial das equações (7) e (8) em relação ao fator nitrogênio. Assim sendo, têm-se as equações (9) e (10), apresentadas a seguir.

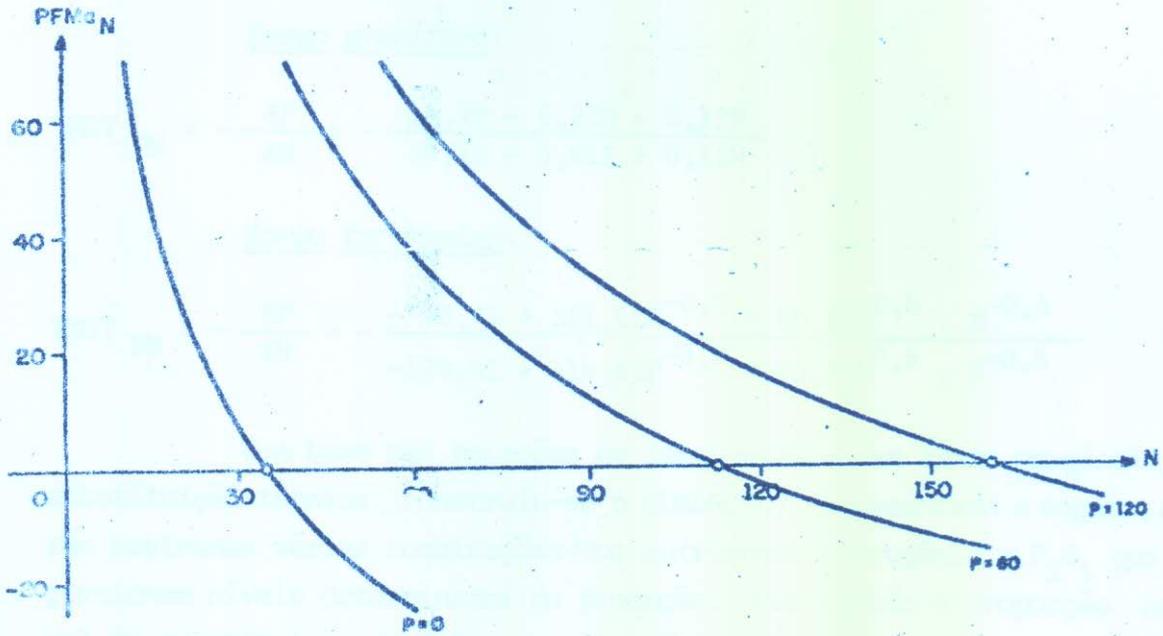


FIGURA 08 - Produtos Físicos Marginais de Nitrogênio quando  $P_2O_5$  é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Forrageiro.

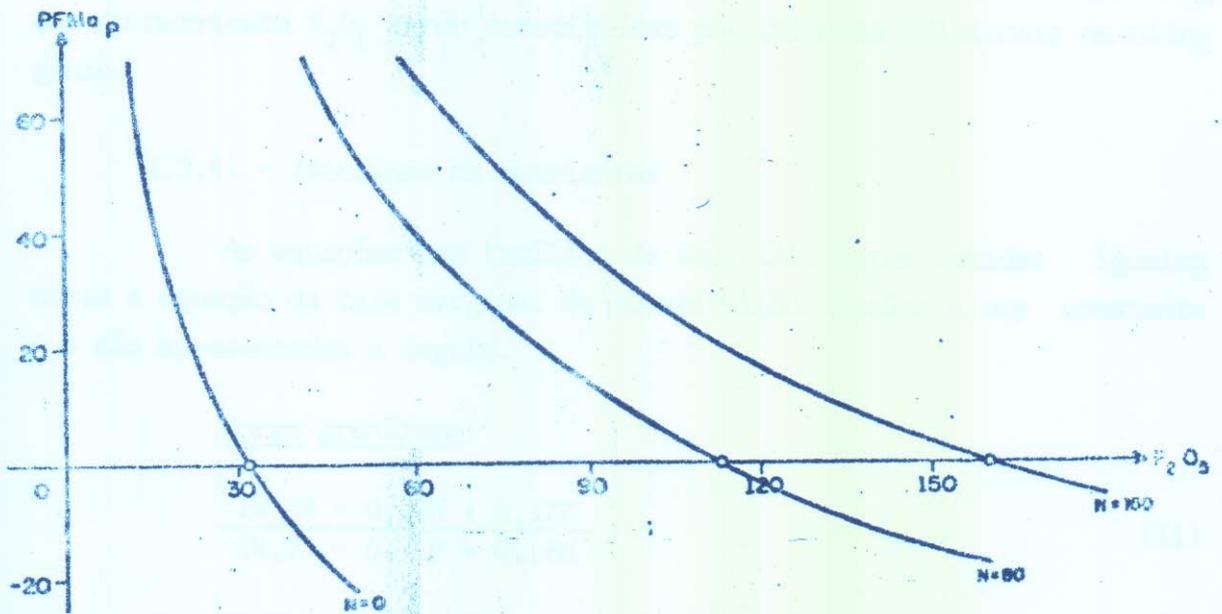


FIGURA 09 - Produtos Físicos Marginais de  $P_2O_5$  quando Nitrogênio é Mantido Fixo em Diversos Níveis para o Ensaio de Sorgo Forrageiro.

Sorgo granífero:

$$TMST_{PN} = - \frac{\delta P}{\delta N} = - \frac{18,29 - 0,23N + 0,12P}{34,23 - 0,41P + 0,12N} \quad (9)$$

Sorgo forrageiro:

$$TMST_{PN} = - \frac{\delta P}{\delta N} = - \frac{-96,45 + 561,69N^{-0,5} + 60,75P^{0,5} \cdot N^{-0,5}}{-109,41 + 614,83P^{-0,5} + 60,75N^{0,5} \cdot P^{-0,5}} \quad (10)$$

Com base nas equações de isoquantas e das taxas marginais de substituição técnica, construiu-se o QUADRO 07, apresentado a seguir, onde são mostradas várias combinações dos nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  que proporcionam níveis determinados de produção, como também a proporção marginal de substituição de  $P_2O_5$  por nitrogênio, correspondente a cada combinação, verificando-se que, ao longo de uma mesma isoquanta, a taxa marginal de substituição técnica é decrescente e negativa. Isto significa que quanto maior o nível de utilização do nutriente nitrogênio, menores quantidades do nutriente  $P_2O_5$  serão substituídas por unidades adicionais de nitrogênio.

#### 4.2.4. - Isoclinas de nutrientes

As equações das famílias de isoclinas foram obtidas igualando-se a equação da taxa marginal de substituição técnica a uma constante K e são apresentadas a seguir.

Sorgo granífero:

$$\frac{18,29 - 0,23N + 0,12P}{34,23 - 0,41P + 0,12N} = K \quad (11)$$

Sorgo forrageiro:

$$\frac{-96,45 + 561,69N^{-0,5} + 60,75P^{0,5} \cdot N^{-0,5}}{-109,41 + 614,83P^{-0,5} + 60,75N^{0,5} \cdot P^{-0,5}} = K \quad (12)$$

QUADRO 07 - Combinações de Nitrogênio e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Requeridas para Produzir Níveis Especificados de Produção e Correspondentes Taxas Marginais de Substituição Técnica para os Ensaio de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77.

N (kg/ha)	SORGO GRANÍFERO						SORGO FORRAGEIRO					
	Y = 1.800 kg/ha		Y = 2.100 kg/ha		Y = 2.400 kg/ha		Y = 20.000 kg/ha		Y = 22.500 kg/ha		Y = 25.000 kg/ha	
	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>	P(kg/ha)	TMS T <sub>PN</sub>
0,0	46,1	-1,55	78,0	-12,29	-	-	-	-	-	-	-	-
32,8	19,9	-0,44	30,6	- 0,56	43,4	-0,78	13,0	-0,25	52,6	-3,37	-	-
80,0	10,7	-0,03	18,6	- 0,06	27,2	-0,10	10,9	+0,05	27,8	-0,02	75,7	-1,06
127,2	15,9	+0,21	23,1	+ 0,20	30,8	+0,20	15,2	+0,11	31,2	+0,13	64,0	+0,07
160,0	25,8	+0,36	33,0	+ 0,36	40,7	+0,37	19,4	+0,15	36,6	+0,19	68,9	+0,21

## 4.2.4.1. - Linhas de Fronteira

As equações das linhas de fronteira foram determinadas substituindo-se a constante K na equação de isoclinas pelos valores zero e infinito, respectivamente. Assim, para o sorgo granífero obtiveram-se as equações (13) e (14), e para o sorgo forrageiro, as equações (15) e (16).

Sorgo granífero:

$$P = -152,42 + 1,92N \quad (13)$$

$$P = 83,49 + 0,29N \quad (14)$$

Sorgo forrageiro:

$$P = 85,56 - 29,42N^{0,5} + 2,53N \quad (15)$$

$$P = 31,58 + 6,29N^{0,5} + 0,31N \quad (16)$$

## 4.2.4.2. - Linha de Expansão

As equações das linhas de expansão da produção de sorgo granífero e de sorgo forrageiro foram calculadas através da substituição da constante K, nas equações (11) e (12) de isoclinas, pela relação de preços  $P_N/P_P$ , correspondente ao nível 2 de preços do QUADRO 05. Desta forma, têm-se as equações (17) e (18), a seguir.

Sorgo granífero:

$$P = 6,08 + 0,81N \quad (17)$$

Sorgo forrageiro:

$$P = -42,74 + 0,13N \pm (1.827,02 + 25,88N + 0,38N^2)^{0,5} \quad (18)$$

Fazendo-se variar o nitrogênio e fixando-se a produção de sorgo granífero e de sorgo forrageiro em níveis específicos, determinaram-se os valores de  $P_2O_5$  correspondentes a cada nível de produção. Assim sendo, as diversas combinações de nitrogênio e  $P_2O_5$  proporcionaram uma curva de isoquanta para cada nível de produção especificado.

As FIGURAS 10 e 11 apresentam as isoquantas de produção, as linhas de fronteira e a linha de expansão da produção de sorgo granífero e forrageiro, em função dos recursos variáveis nitrogênio e  $P_2O_5$ .

As linhas de fronteira determinam as quantidades máximas de nitrogênio ou  $P_2O_5$  que podem ser utilizadas na obtenção de dados níveis de produção. A linha de expansão indica como o nível de produção de sorgo granífero ou forrageiro pode ser aumentado mantendo-se mínimo o custo para os fatores de produção.

Tanto a linha de expansão da produção de sorgo granífero, como a de sorgo forrageiro, aproximam-se mais da linha de fronteira situada à esquerda, em decorrência do custo relativamente baixo do quilograma de nitrogênio (Cr\$ 7,31) em relação ao preço de um quilograma de  $P_2O_5$  (Cr\$ 12,20). Em contrapartida, a magnitude dessa diferença de custo entre os nutrientes é atenuada devido à maior influência apresentada pelo nutriente  $P_2O_5$  na produção de ambos, sorgo granífero e sorgo forrageiro, vez que maior parte das variações na produção é explicada pelo fator  $P_2O_5$ .

#### 4.2.5. - Ótimo físico versus Ótimo econômico

Os níveis dos nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  no ponto de produção física máxima foram determinados igualando-se a zero as equações dos produtos físicos marginais de cada nutriente. Assim, para o sorgo granífero, a produção física é maximizada ao nível de 4.314,51 quilogramas de grãos por hectare, sendo obtida com 144,55 quilogramas de nitrogênio e 125,06 quilogramas de  $P_2O_5$ . Para o sorgo forrageiro, os níveis de 207,07 quilogramas de nitrogênio e de 185,23 quilogramas de  $P_2O_5$  proporcionam a produção máxima de 29.594,98 quilogramas de forragem por hectare.

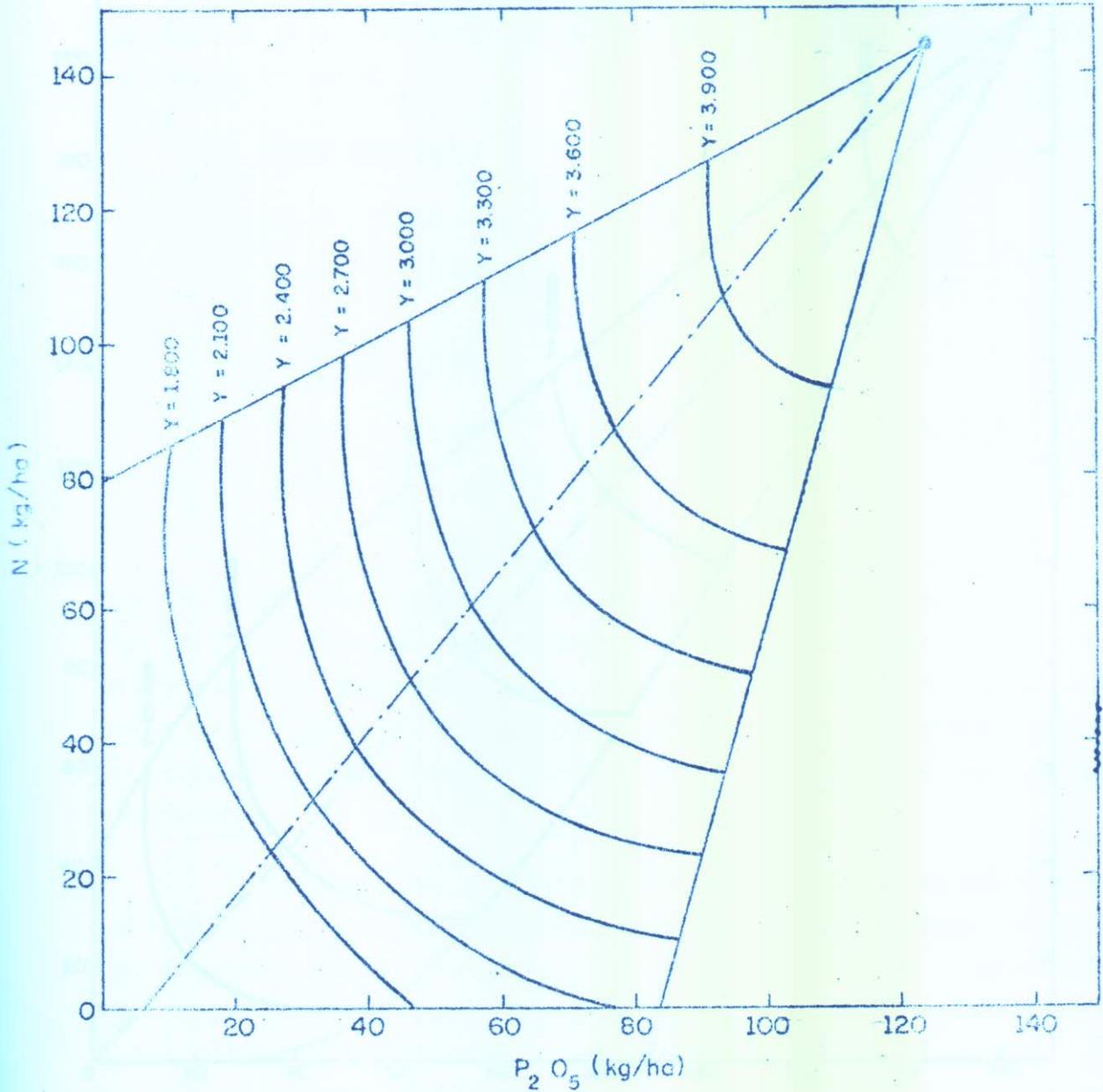


FIGURA 10 - Isoquantas de Produção, Linhas de Fronteira e Linha de Expansão Derivadas da Função Quadrática para Sorgho Granífero.

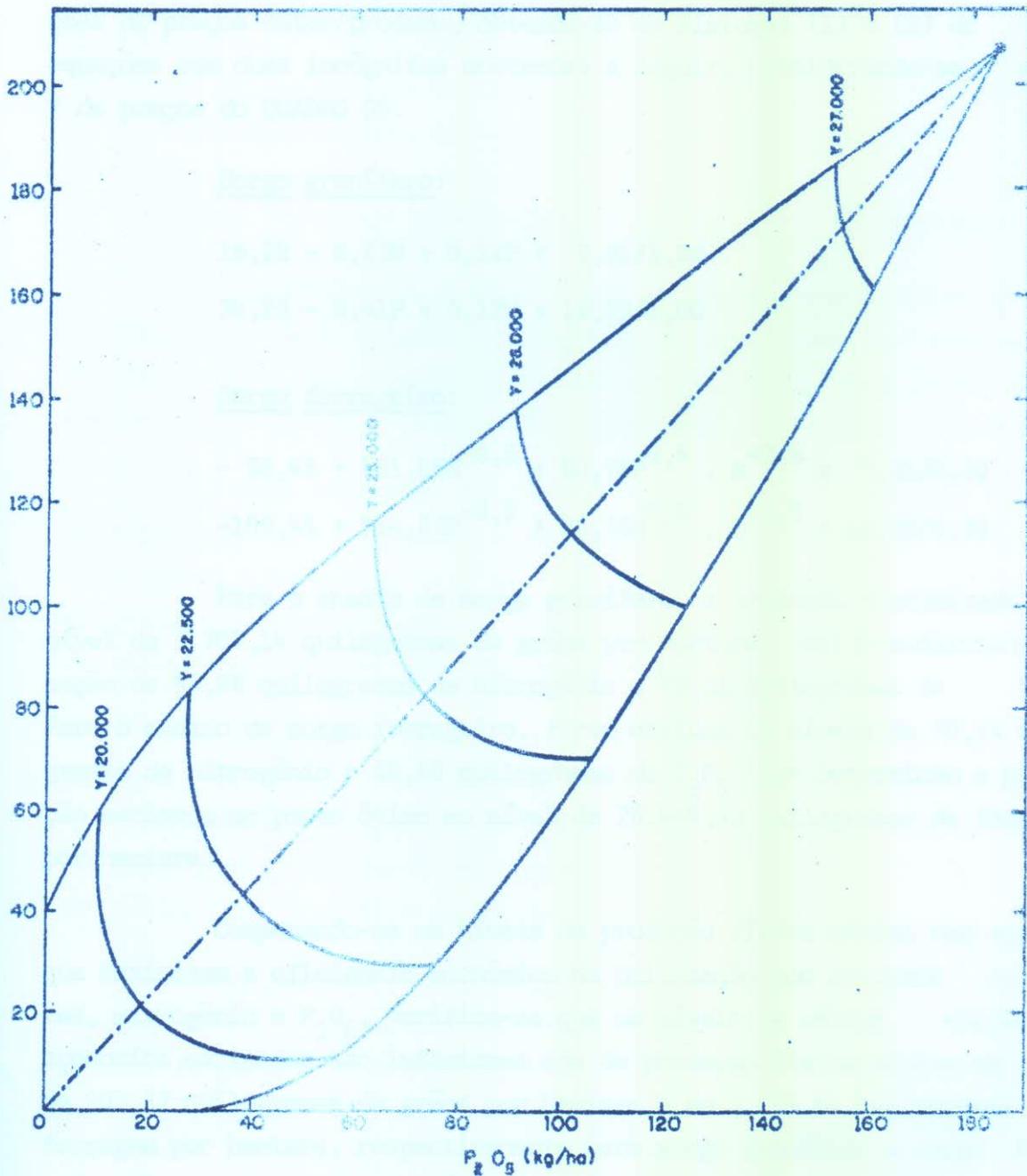


FIGURA 11 - Isoquantas de Produção, Linhas de Fronteira e Linha de Expansão Derivadas da Função Raiz-Quadrada para Sorgho Forrageiro.

Os pontos de máxima eficiência econômica para os ensaios de sorgo granífero e sorgo forrageiro foram determinados igualando-se as equações dos produtos físicos marginais de cada nutriente às respectivas relações de preços fator/produto, obtendo-se os sistemas (1) e (2) de duas equações com duas incógnitas mostradas a seguir, considerando-se o nível 2 de preços do QUADRO 05.

Sorgo granífero:

$$18,29 - 0,23N + 0,12P = 7,31/1,00 \quad (1)$$

$$34,23 - 0,41P + 0,12N = 12,20/1,00$$

Sorgo forrageiro:

$$-96,45 + 561,69N^{-0,5} + 60,75P^{0,5} \cdot N^{-0,5} = 7,31/0,30 \quad (2)$$

$$-109,41 + 614,83P^{-0,5} + 60,75N^{0,5} \cdot P^{-0,5} = 12,20/0,30$$

Para o ensaio de sorgo granífero, a produção é otimizada ao nível de 3.707,14 quilogramas de grãos por hectare, obtido mediante a aplicação de 88,98 quilogramas de nitrogênio e 79,31 quilogramas de  $P_2O_5$ . Para o ensaio de sorgo forrageiro, foram obtidos os níveis de 70,14 quilogramas de nitrogênio e 55,50 quilogramas de  $P_2O_5$ , que determinam a produção estimada no ponto ótimo ao nível de 26.444,33 quilogramas de forragem por hectare.

Comparando-se os níveis de produção física máxima com aqueles que maximizam a eficiência econômica na utilização dos recursos nutrientes, nitrogênio e  $P_2O_5$ , verifica-se que os níveis de máxima eficiência econômica estimados são inferiores aos de produção física máxima em cerca de 607,37 quilogramas de grãos por hectare e de 3.150,65 quilogramas de forragem por hectare, respectivamente para sorgo granífero e sorgo forrageiro. Pode-se observar também que a diferença existente entre o ótimo físico e o ótimo econômico diminui com a elevação do preço do produto, desde que sejam mantidos fixos os preços dos fatores de produção. Assim é

Verificar nível ótimo de Sorgo

que, mantendo-se os preços dos nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  no nível 2 e elevando-se o preço do produto para o nível 1 do QUADRO 05, a máxima eficiência econômica seria atingida ao nível de 3.844,90 quilogramas de grãos por hectare para o sorgo granífero, e a diferença para o nível de produção física máxima cairia para 469,61 quilogramas por hectare. Para o sorgo forrageiro, o novo nível de máxima eficiência econômica seria de 27.076,94 quilogramas de forragem por hectare e a diferença em relação ao nível ótimo físico seria de 2.518,04 quilogramas por hectare.

#### 4.2.6. - Análise comparativa entre adubação e não-adubação

No QUADRO 08, a seguir, faz-se uma comparação entre os níveis de produção e lucro obtidos com adubação, isto é, quando os nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  são empregados em seus níveis ótimos, e os níveis de produção e lucro obtidos com ambos nitrogênio e  $P_2O_5$  ao nível de zero.

Vale salientar que o cálculo dos custos da adubação foi feito multiplicando-se a quantidade empregada de cada nutriente pelo seu respectivo preço, apresentado no nível 2 de preços do QUADRO 05, e que esse preço inclui, além do nutriente, os custos de transporte e de aplicação do fertilizante, conforme detalhado no APÊNDICE A.

Observe-se também que, na determinação dos custos, em ambos os casos, não foram considerados os custos fixos. Assim é que, para a situação sem adubo, o custo é zero, e para a situação com adubo, o custo corresponde exclusivamente ao dispêndio com a adubação. Daí a constatação de lucros altos, em ambos os casos.

Verifica-se que a adoção da técnica da adubação no ensaio de sorgo granífero, quando os fertilizantes são utilizados em seus níveis ótimos, proporcionou um acréscimo de produção de 3.060,12 quilogramas por hectare, ou seja, 473% em relação à situação sem adubo, ao que equivale um incremento de Cr\$ 1.442,10/ha, ou 223%, nos lucros. No ensaio de sorgo forrageiro, a influência da adubação no processo produtivo também se mostrou significativa, porém inferior à constatada para o ensaio de sorgo granífero: a produção experimentou um acréscimo de 13.308,07 quilogramas por hectare, ou 101%, enquanto que os lucros cresceram de Cr\$ 2.802,60/ha, ou, percentualmente, de 71%.

QUADRO 08 - Comparação de Níveis de Produção e Lucro Obtidos Com e Sem Adubação nos Ensaios de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77.

SITUAÇÃO	NÍVEL DE PRODUÇÃO (kg/ha)		CUSTOS DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)		NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)	
	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro	Sorgo Granífero	Sorgo Forrageiro
com adubo	3.707,14	26.444,33	1.618,02	1.189,82	2.089,12	6.743,48
sem adubo	647,02	13.136,26	0,00	0,00	647,02	3.940,88
diferença absoluta	3.060,12	13.308,07	1.618,02	1.189,02	1.442,10	2.802,60
diferença percentual	473%	101%	-	-	223%	71%

#### 4.2.7. - Análise de sensibilidade

Com a finalidade de examinar a sensibilidade da produção e do lucro diante de variações nos preços dos fatores e do produto, construíram-se os mapas de preços mostrados nos QUADROS 09 e 10, relativamente aos ensaios de sorgo granífero e sorgo forrageiro, respectivamente. Em cada quadro são apresentadas as várias combinações dos níveis de nitrogênio e  $P_2O_5$  que maximizam o lucro na cultura respectiva, sob diferentes razões de preços fator/produto. Como procedimento, fez-se variar o preço de um dos fatores, mantendo-se constante o preço do outro fator e o do produto, até que fossem feitas todas as combinações possíveis, de acordo com os níveis de preços do QUADRO 05. Em seguida, analogamente, fez-se variar o preço do outro fator, e, finalmente, o preço do produto em questão. Assim sendo, para cada combinação estimaram-se os níveis de produção e lucro correspondentes.

A análise do mapa de preços, tanto de sorgo granífero como de sorgo forrageiro, permite observar-se que os níveis ótimos de nitrogênio e  $P_2O_5$  não se mostraram sensíveis às variações na relação de preços fator/produto dentro da amplitude de variação estipulada. Em decorrência disso, as variações nos níveis de produção e lucro foram proporcionais às variações impostas aos preços dos fatores e do produto considerado.

Examinou-se, também, o efeito da eliminação do subsídio de 40%, anteriormente oferecido aos agricultores para a aquisição de fertilizantes sobre os lucros advindos da utilização dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados, em seus níveis ótimos. Comparou-se a situação ótima com aquela em que os preços dos fertilizantes estão 40% abaixo do nível-base e o preço do produto se mantém constante. Observa-se, no ensaio de sorgo granífero, que a preservação do subsídio elevaria o lucro de Cr\$ 2.089,12/ha para Cr\$ 2.936,12/ha, equivalente a uma margem adicional de lucro da ordem de 29%. No ensaio de sorgo forrageiro, o lucro aumentaria de Cr\$ 6.743,48/ha para Cr\$ 7.329,57/ha, que corresponde a um acréscimo de 8% no lucro.

QUADRO 09 - Combinações Ótimas de Nitrogênio e  $P_2O_5$ , Taxas Marginais de Substituição Técnica e Níveis de Produção e Lucro Estimados para Diferentes Razões de Preços, Relativamente ao Ensaio de Sorgo Granífero em Redenção, Ceará - 1975/77.

NÍVEL DE PREÇOS (Cr\$)			RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\bar{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)	$P_2O_5$ (kg/ha)			
1,20	8,77	14,64	7,31	12,20	88,98	79,31	0,59	3.707,14	2.507,12
1,20	8,77	12,20	7,31	10,77	91,11	83,40	0,67	3.775,81	2.714,46
1,20	8,77	9,76	7,31	8,13	95,03	90,94	0,88	3.887,64	2.944,19
1,20	8,77	7,32	7,31	6,10	98,04	96,74	1,17	3.960,68	3.184,87
1,20	7,31	14,64	6,09	12,20	95,22	81,11	0,49	3.778,67	2.650,89
1,20	7,31	12,20	6,09	10,77	97,34	85,20	0,56	3.844,90	2.862,88
1,20	7,31	9,76	6,09	8,13	101,26	92,74	0,73	3.952,43	3.097,57
1,20	7,31	7,32	6,09	6,10	104,28	98,54	0,97	4.022,20	3.343,04
1,20	5,85	14,64	4,88	12,20	101,42	82,93	0,40	3.843,03	2.804,23
1,20	5,85	12,20	4,88	10,77	103,55	87,03	0,45	3.907,09	3.021,01
1,20	5,85	9,76	4,88	8,13	107,48	94,57	0,59	4.020,28	3.272,58
1,20	5,85	7,32	4,88	6,10	110,49	100,37	0,78	4.076,63	3.510,88
1,20	4,39	14,64	3,66	12,20	107,68	84,75	0,30	3.900,63	2.967,30
1,20	4,39	12,20	3,66	10,77	109,80	88,03	0,34	3.962,02	3.188,67
1,20	4,39	9,76	3,66	8,13	113,72	96,37	0,44	4.060,82	3.433,18
1,20	4,39	7,32	3,66	6,10	116,74	102,17	0,58	4.123,90	3.688,31

QUADRO 09 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇOS (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO			NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO	NÍVEL DE LUCRO
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N	$P_{2O_5}$ (kg/ha)	$\delta P/\delta N$	$\hat{Y}$ (kg/ha)	(Cr\$/ha)
1,00	8,77	14,64	8,77	14,64	77,87	70,16	0,59	3.476,94	1.766,88
1,00	8,77	12,20	8,77	12,20	81,50	77,14	0,71	3.611,82	1.955,95
1,00	8,77	9,76	8,77	9,76	85,13	84,11	0,88	3.730,29	2.162,79
1,00	8,77	7,32	8,77	7,32	88,75	91,09	1,17	3.832,48	2.387,26
1,00	7,31	14,64	7,31	14,64	85,36	72,34	0,50	3.577,32	1.894,28
1,00	7,31	12,20	7,31	12,20	88,98	79,31	0,59	3.707,14	2.089,12
1,00	7,31	9,76	7,31	9,76	92,61	86,29	0,74	3.820,91	2.301,74
1,00	7,31	7,32	7,31	7,32	96,23	93,26	0,97	3.918,18	2.532,08
1,00	5,85	14,64	5,85	14,64	92,84	74,52	0,40	3.667,32	2.033,24
1,00	5,85	12,20	5,85	12,20	96,46	81,49	0,47	3.792,31	2.238,66
1,00	5,85	9,76	5,85	9,76	100,09	88,46	0,59	3.901,13	2.452,23
1,00	5,85	7,32	5,85	7,32	103,71	95,43	0,78	3.993,59	2.688,34
1,00	4,39	14,64	4,39	14,64	100,31	76,69	0,30	3.746,82	2.183,72
1,00	4,39	12,20	4,39	12,20	103,93	83,66	0,36	3.866,99	2.390,09
1,00	4,39	9,76	4,39	9,76	107,56	90,63	0,44	3.970,96	2.614,22
1,00	4,39	7,32	4,39	7,32	111,18	97,60	0,59	4.078,63	2.936,12

QUADRO 09 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇOS (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\hat{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)			
0,80	8,77	14,64	10,96	18,30	61,22	56,44	3.063,94	1.087,97
0,80	8,77	12,20	10,96	15,25	65,74	65,14	3.268,99	1.243,94
0,80	8,77	9,76	10,96	12,20	70,28	73,86	3.449,20	1.422,13
0,80	8,77	7,32	10,96	9,15	74,81	82,57	3.603,73	1.622,49
0,80	7,31	14,64	9,14	18,30	70,51	59,15	3.215,50	1.190,79
0,80	7,31	12,20	9,14	15,25	75,07	67,86	3.413,30	1.353,99
0,80	7,31	9,76	9,14	12,20	79,60	76,57	3.585,72	1.539,37
0,80	7,31	7,32	9,14	9,15	84,13	85,29	3.732,85	1.746,97
0,80	5,85	14,64	7,31	18,30	79,92	61,88	3.351,94	1.308,11
0,80	5,85	12,20	7,31	15,25	84,45	70,66	3.542,34	1.478,52
0,80	5,85	9,76	7,31	12,20	88,98	79,31	3.707,14	1.671,11
0,80	5,85	7,32	7,31	9,15	93,51	88,03	3.846,98	1.886,18
0,80	4,39	14,64	5,49	18,30	74,50	64,60	3.353,25	1.409,80
0,80	4,39	12,20	5,49	15,25	79,03	73,31	3.535,22	1.586,86
0,80	4,39	9,76	5,49	12,20	83,56	82,03	3.691,92	1.786,10
0,80	4,39	7,32	5,49	9,15	88,10	90,74	3.823,17	2.007,56

QUADRO 09 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇO (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\hat{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)			
0,60	8,77	14,64	14,62	24,40	33,41	33,56	2.193,36	531,69
0,60	8,77	12,20	14,62	20,33	33,45	45,17	2.455,15	628,66
0,60	8,77	9,76	14,62	16,27	45,48	56,77	2.859,82	762,95
0,60	8,77	7,32	14,62	12,20	71,71	68,40	3.387,16	902,70
0,60	7,31	14,64	12,18	24,40	45,91	37,19	2.456,14	593,62
0,60	7,31	12,20	12,18	20,33	51,96	48,83	2.799,43	704,10
0,60	7,31	9,76	12,18	16,27	57,99	60,43	3.222,18	916,60
0,60	7,31	7,32	12,18	12,20	64,04	72,06	3.349,04	1.013,81
0,60	5,85	14,64	9,75	24,40	58,36	40,82	2.689,66	674,79
0,60	5,85	12,20	9,75	20,33	64,41	52,46	3.019,49	794,79
0,60	5,85	9,76	9,75	16,27	70,44	64,06	3.303,09	944,55
0,60	5,85	7,32	9,75	12,20	76,49	75,69	3.542,25	1.123,83
0,60	4,39	14,64	7,32	24,40	70,81	44,44	2.894,40	775,18
0,60	4,39	12,20	7,32	20,33	76,85	56,06	3.210,34	904,90
0,60	4,39	9,76	7,32	16,27	82,88	67,66	3.480,64	1.064,18
0,60	4,39	7,32	7,32	12,20	88,93	79,29	3.706,48	1.253,09

QUADRO 10 - Combinações Ótimas de Nitrogênio e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Taxas Marginais de Substituição Técnica e Níveis de Produção e Lucro Estimados para Diferentes Razões de Preços, Relativamente ao Ensaio de Sorgo Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77.

NÍVEL DE PREÇO (Cr\$)			RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\bar{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
P <sub>y</sub>	P <sub>n</sub>	P <sub>p</sub>	P <sub>n</sub> /P <sub>y</sub>	P <sub>p</sub> /P <sub>y</sub>	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			
0,36	8,77	14,64	24,36	40,67	70,14	55,50	0,46	26.444,33	8.092,25
0,36	8,77	12,20	24,36	33,89	73,96	62,39	0,71	26.805,27	8.240,11
0,36	8,77	9,76	24,36	27,11	78,23	70,43	0,89	27.152,26	8.401,33
0,36	8,77	7,32	24,36	20,33	83,08	79,73	1,16	27.503,48	8.589,02
0,36	7,31	14,64	20,31	40,67	77,05	58,15	0,49	26.719,79	8.204,56
0,36	7,31	12,20	20,31	33,89	81,31	65,45	0,59	27.076,94	8.354,83
0,36	7,31	9,76	20,31	27,11	86,18	74,00	0,74	27.411,16	8.515,80
0,36	7,31	7,32	20,31	20,33	92,14	84,81	0,98	27.820,35	8.720,98
0,36	5,85	14,64	16,25	40,67	84,53	60,89	0,40	26.954,40	8.317,66
0,36	5,85	12,20	16,25	33,89	89,38	68,65	0,48	27.331,86	8.479,07
0,36	5,85	9,76	16,25	27,11	94,79	77,57	0,59	27.700,01	8.660,40
0,36	5,85	7,32	16,25	20,33	101,54	89,09	0,78	28.083,17	8.863,79
0,36	4,39	14,64	12,19	40,67	92,16	62,57	0,29	27.139,08	8.449,47
0,36	4,39	12,20	12,19	33,89	98,60	72,25	0,36	27.583,90	8.615,90
0,36	4,39	9,76	12,19	27,11	104,62	81,60	0,44	27.939,81	8.802,63
0,36	4,39	7,32	12,19	20,33	112,27	93,88	0,58	28.333,60	9.020,03

QUADRO 10 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇO (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TMST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\hat{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
$P_y$	$P_n$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)	$P_{2O_5}$ (kg/ha)			
0,30	8,77	29,23	48,80	59,96	46,47	0,60	25.763,66	6.222,93
0,30	8,77	29,23	40,67	63,36	52,85	0,71	26.155,35	6.646,16
0,30	8,77	29,23	32,53	68,34	62,57	0,54	26.660,62	6.788,17
0,30	8,77	29,23	24,40	72,77	71,57	1,19	27.040,86	6.950,18
0,30	7,31	24,37	48,80	66,32	48,83	0,50	26.051,54	6.615,79
0,30	7,31	24,37	40,67	70,14	55,50	0,60	26.444,33	6.743,48
0,30	7,31	24,37	32,53	75,82	65,80	0,78	26.971,79	6.894,51
0,30	7,31	24,37	24,40	79,22	72,26	0,93	27.231,82	7.061,50
0,30	5,85	19,50	48,80	73,52	51,30	0,40	26.327,53	6.717,14
0,30	5,85	19,50	40,67	77,89	58,45	0,48	26.751,52	6.856,71
0,30	5,85	19,50	32,53	83,36	67,75	0,61	27.191,19	7.008,45
0,30	5,85	19,50	24,40	88,77	77,30	0,77	27.572,88	7.186,72
0,30	4,39	14,63	48,80	82,90	54,09	0,29	26.621,05	6.830,50
0,30	4,39	14,63	40,67	87,90	61,56	0,34	27.049,61	6.977,97
0,30	4,39	14,63	32,53	95,48	73,37	0,45	27.582,65	6.839,55
0,30	4,39	14,63	24,40	101,97	83,91	0,58	27.971,47	7.329,57

QUADRO 10 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇO (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\hat{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)			
0,24	8,77	14,64	36,54	61,00	52,26	42,80	0,70	4.992,79
0,24	8,77	12,20	36,54	50,83	54,94	48,16	0,82	5.092,98
0,24	8,77	9,76	36,54	40,67	58,57	55,70	1,03	5.207,07
0,24	8,77	7,32	36,54	30,50	63,97	67,45	1,46	5.341,40
0,24	7,31	14,64	30,46	61,00	54,71	38,20	0,48	5.073,25
0,24	7,31	12,20	30,46	50,83	57,98	44,01	0,57	5.176,21
0,24	7,31	9,76	30,46	40,67	61,80	51,10	0,70	5.297,74
0,24	7,31	7,32	30,46	30,50	67,19	61,59	0,93	5.441,22
0,24	5,85	14,64	24,38	61,00	61,93	41,46	0,41	5.161,10
0,24	5,85	12,20	24,38	50,83	65,82	47,97	0,49	5.269,41
0,24	5,85	9,76	24,38	40,67	70,14	55,50	0,60	5.394,64
0,24	5,85	7,32	24,38	30,50	76,50	67,11	0,80	5.546,34
0,24	4,39	14,64	18,29	61,00	70,79	43,95	0,30	5.256,61
0,24	4,39	12,20	18,29	50,83	75,28	50,77	0,36	5.373,84
0,24	4,39	9,76	18,29	40,67	83,38	58,84	0,43	5.507,05
0,24	4,39	7,32	18,29	30,50	87,87	71,26	0,59	5.660,38

QUADRO 10 - (Continuação)

NÍVEL DE PREÇO (Cr\$)		RAZÃO DE PREÇOS FATOR/PRODUTO		NÍVEL DO FATOR		TM ST	NÍVEL DE PRODUÇÃO $\hat{Y}$ (kg/ha)	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)	
$P_y$	$P_n$	$P_p$	$P_n/P_y$	$P_p/P_y$	N (kg/ha)				$P_2O_5$ (kg/ha)
0,18	8,77	14,64	48,72	81,33	36,28	26,28	0,59	23.584,17	3.542,23
0,18	8,77	12,20	48,72	67,78	38,56	31,02	0,71	24.050,39	3.614,46
0,18	8,77	9,76	48,72	54,22	41,80	38,17	0,90	24.646,65	3.697,27
0,18	8,77	7,32	48,72	40,67	42,28	46,34	1,19	25.197,43	3.799,22
0,18	7,31	14,64	40,61	81,33	41,19	27,75	0,50	23.928,21	3.599,72
0,18	7,31	12,20	40,61	67,78	43,77	32,69	0,60	24.404,62	3.674,05
0,18	7,31	9,76	40,61	54,22	47,14	39,51	0,75	24.964,00	3.763,31
0,18	7,31	7,32	40,61	40,67	51,55	49,00	1,01	25.583,06	3.869,44
0,18	5,85	14,64	32,50	81,33	47,81	29,54	0,40	24.311,13	3.657,84
0,18	5,85	12,20	32,50	67,78	50,83	34,73	0,47	24.792,19	3.741,52
0,18	5,85	9,76	32,50	54,22	54,77	41,86	0,59	25.360,55	3.835,95
0,18	5,85	7,32	32,50	40,67	60,04	51,98	0,79	26.017,45	3.951,42
0,18	4,39	14,64	24,39	81,33	55,56	31,44	0,31	24.679,73	3.738,16
0,18	4,39	12,20	24,39	67,78	59,17	37,02	0,36	25.182,73	3.821,49
0,18	4,39	9,76	24,39	54,22	64,52	45,77	0,46	25.853,29	3.923,63
0,18	4,39	7,32	24,39	40,67	70,14	55,50	0,60	26.444,33	4.045,82

Além disso, fez-se uma análise comparativa do lucro proveniente da implementação de duas políticas alternativas: a fixação do preço do produto a um nível 20% acima do preço normal, ou a concessão de um subsídio de 20% para a aquisição de fertilizantes. Para avaliar o efeito da política de elevação do preço do produto, comparou-se a situação ótima com aquela em que os preços dos fertilizantes se mantêm constantes e o preço do produto se encontra 20% acima do nível base. Com relação à política de subsídio, comparou-se a situação ótima com aquela em que os preços dos fertilizantes estão 20% abaixo do nível-base e o preço do produto se mantêm constante. Verifica-se que, para o sorgo granífero, a fixação do preço do grão a um nível 20% acima do preço normal proporcionaria um acréscimo de lucro da ordem de Cr\$ 773,76/ha ou 37%, enquanto que o subsídio aumentaria o lucro de Cr\$ 363,11/ha ou 17%. Para o sorgo forrageiro, a política de elevação do preço da forragem causaria um aumento de Cr\$ 1.611,35/ha ou 24%, no lucro, ao passo que a política de subsídio determinaria um acréscimo de apenas Cr\$ 264,98/ha ou 4%, no lucro. Deste modo, em ambas as culturas, a política de elevação do preço do produto resultaria mais eficaz, causando maior impacto refletido na obtenção de maiores lucros.

#### 4.2.8. - Análise da adubação em níveis reduzidos

A escassez do recurso capital e os riscos inerentes ao processo produtivo, especialmente nas condições climáticas predominantes na Região, podem ser apontados como as principais causas pelas quais os agricultores em geral não utilizam os níveis de fertilizantes que maximizam a eficiência econômica de um processo produtivo. Em se tratando de sorgo, uma cultura ainda incipiente, a competição exercida dentro da propriedade agrícola por outras atividades já tradicionais torna mais escasso o recurso capital para o investimento em fertilizantes. Assim sendo, os agricultores podem optar pela aplicação de quantidades reduzidas de fertilizantes, em vez de utilizá-los em seus níveis ótimos, mesmo porque, a partir de determinado nível de aplicação dos adubos, os acréscimos na renda líquida são tão pequenos que desestimulam os agricultores quanto à utilização de níveis maiores de fertilizantes.

Neste sentido, utilizando-se cada um dos fatores nitrogênio e  $P_2O_5$  em quantidade equivalente à metade da quantidade ótima, analisaram-se as variações na produção e no lucro relativamente à situação de máxima eficiência econômica, apresentada nos QUADROS 09 e 10, respectivamente para sorgo grãoífero e sorgo forrageiro, sob cada nível de preços, conforme mostrado no QUADRO 11, a seguir.

Verificou-se que essa sub-utilização dos fatores nitrogênio e  $P_2O_5$ , sob todos os níveis de preços, provoca uma redução de 33% e 11%, respectivamente, na produção de sorgo grãoífero e sorgo forrageiro, que em termos de lucro equivale a uma redução de 19% e 4%, respectivamente. Note-se que não houve diferença de um nível de preços para outro, em virtude de ambos os fatores de produção haverem sido utilizados a um nível equivalente a 50% da combinação ótima.

Em decorrência, variações tão pequenas provavelmente não encorajam os agricultores à utilização das quantidades ótimas de fertilizantes, sob condições de limitação de capital ou em face aos riscos inerentes ao processo produtivo.

QUADRO 11 - Variações nos Níveis de Produção e Lucro em Relação ao Ponto Ótimo Devidas ao Uso de Quantidade Reduzidas de Nitrogênio e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sob Diferentes Níveis de Preços do Produto e dos Fatores de Produção para os Ensaios de Sorgo Granífero e Forrageiro em Redenção, Ceará - 1975/77.

NÍVEL DE PREÇOS	ENSAIO	NÍVEL DO FATOR		NÍVEL DE PRODUÇÃO (kg/ha)	REDUÇÃO NA PRODUÇÃO	NÍVEL DE LUCRO (Cr\$/ha)	REDUÇÃO NO LUCRO
		N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)				
1	Sorgo Granífero	44,49	39,66	2.497,73	33%	2.026,48	19%
	Sorgo Forrageiro	35,07	27,75	23.638,52	11%	7.796,05	4%
2	Sorgo Granífero	44,49	39,66	2.497,73	33%	1.688,66	19%
	Sorgo Forrageiro	35,07	27,75	23.638,52	11%	6.496,65	4%
3	Sorgo Granífero	44,49	39,66	2.497,73	33%	1.350,83	19%
	Sorgo Forrageiro	35,07	27,75	23.638,52	11%	5.197,24	4%
4	Sorgo Granífero	44,47	39,65	2.497,74	33%	1.012,23	19%
	Sorgo Forrageiro	35,07	27,75	23.638,52	11%	3.897,84	4%

## CAPÍTULO V

## CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1. - Conclusões acerca dos resultados das análises agroeconômicas

01. Em virtude de apresentar melhor estimativa da superfície de produção em resposta à aplicação de fertilizantes, foi selecionada para o ensaio de sorgo granífero a função quadrática, enquanto que para o ensaio de sorgo forrageiro foi escolhida a função de produção raiz-quadrada;
02. Em ambos os ensaios, o nutriente  $P_2O_5$  apresentou maior influência sobre a produção do que o nitrogênio;
03. No ensaio de sorgo granífero, a produção máxima foi atingida ao nível de 4.314,51 kg/ha, mediante a aplicação de 144,55 kg de nitrogênio e 125 kg de  $P_2O_5$ ; no ensaio de sorgo forrageiro, o nível máximo de produção foi de 29.594,98 kg/ha, quando da utilização de 207,07 kg de nitrogênio e 185,23 kg de  $P_2O_5$ ;
04. Considerando-se o nível médio de preços dos fatores de produção e do produto respectivo, inclusive os custos de aplicação e transporte dos fertilizantes, a produção econômica de sorgo granífero foi de 3.707,14 kg/ha, empregando-se 88,98 kg de nitrogênio e 79,31 kg de  $P_2O_5$ . A eficiência econômica da produção de sorgo forrageiro foi maximizada ao nível de 26.444,33 kg/ha, com 70,14 kg de nitrogênio e 55,50 kg de  $P_2O_5$ ;
05. Da comparação entre os níveis de produção física máxima e de máxima eficiência econômica, resultou que os níveis de produção econômica foram inferiores aos de produção máxima em cerca de 607,37 kg/ha e 3.150,65 kg/ha, respectivamente, para sorgo granífero e sorgo forrageiro;

06. A análise da linha de expansão da produção de sorgo grnífero e de sorgo forrageiro, em conjunto com o mapa de isoquantas da função de produção respectiva, indicou em ambos os ensaios que, apesar de o nutriente  $P_2O_5$  haver apresentado maior influência sobre a produção, deve utilizar-se mais o nitrogênio, devido ao seu baixo preço em relação ao preço de  $P_2O_5$ ;
07. Considerando-se a análise comparativa entre a adubação e a não-adubação, verificou-se que a adoção da técnica de adubação proporcionou, no ensaio de sorgo granífero, um acréscimo de produção de 3.160,12 kg/ha, ou seja 473% em relação à situação sem adubo, ao que equivale um incremento de Cr\$ 1.442,10/ha, ou 223%, nos lucros. No ensaio de sorgo forrageiro, a adubação acrescentou cerca de 13.308,07 kg/ha, ou 101%, à produção, enquanto que os lucros cresceram de Cr\$ 2.802,60/ha, ou seja 71%;
08. A análise do mapa de preços, tanto de sorgo grnífero como de sorgo forrageiro, revelou que os níveis ótimos de nitrogênio e  $P_2O_5$  não se mostraram sensíveis às variações nos preços do produto e dos fatores de produção, dentro da amplitude de variação estipulada. Em decorrência disso, as variações nos níveis de produção e lucro foram proporcionais às variações impostas aos preços dos fatores e do produto considerado;
09. Analisando-se o efeito da eliminação do subsídio de 40% anteriormente oferecido aos agricultores para a aquisição de fertilizantes, observou-se que, no ensaio de sorgo granífero, a preservação do subsídio proporcionaria uma margem adicional de lucro da ordem de 29%. No ensaio de sorgo forrageiro, o lucro aumentaria em cerca de 8%;

10. Fazendo-se uma análise comparativa do lucro proveniente da implementação de duas políticas alternativas, verificou-se que, para o sorgo granífero, a fixação do preço do produto a um nível 20% acima do preço normal proporcionaria um acréscimo de 37% no lucro, enquanto que a concessão de um subsídio de 20% para a aquisição de fertilizantes aumentaria o lucro em cerca de 17%. Para o sorgo forrageiro, a política de elevação do preço da forragem causaria um aumento de 24%, ao passo que a política de subsídio determinaria um acréscimo de apenas 4% no lucro.
  
11. Investigando-se o efeito provocado sobre a produção e o lucro pela utilização de cada um dos fatores nitrogênio e  $P_2O_5$  em quantidade equivalente à metade da quantidade ótima, sob diversos níveis de preços, verificou-se uma redução de 33% e 11%, respectivamente, na produção de sorgo granífero e sorgo forrageiro, que em termos de lucro equivale a uma redução de 19% e 4%, respectivamente. Diante de variações desse porte, é provável que os agricultores não se sintam estimulados quanto à utilização das quantidades ótimas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, sob condições de limitação de capital ou em face aos riscos inerentes ao investimento em fatores de produção, mormente diante da irregularidade do clima da Região.

## 5.2. - Sugestões para Futuras Pesquisas de Sorgo

01. Conquanto não tenha sido incluída neste estudo, a produção de massa verde do sorgo granífero constitui-se em importante sub-produto deste cereal, podendo, se computada conjuntamente com a produção de grãos, elevar consideravelmente os lucros obtidos da exploração. Diante disso, sugere-se a inclusão deste item em futuras análises econômicas envolvendo o sorgo granífero;

02. Outro item relevante, não abordado neste estudo, é a análise dos riscos climáticos. O fator clima, especialmente a pluviosidade, está intimamente relacionada com o processo de fertilização, o qual se realiza conforme a disponibilidade hídrica do solo. A irregularidade das precipitações pluviométricas que caracteriza o clima das regiões semi-áridas, preconizadas para o cultivo do sorgo, torna ainda mais arriscada a prática da adubação, e a influência dessa variável em futuras análises de desempenho econômico do sorgo deve ser detectada.
03. Os grandes diferenciais de produção e lucro resultantes da adoção da técnica da adubação em sorgo granífero e forrageiro, relativamente à cultura não adubada, atestam a rentabilidade da fertilização química. No entanto, essa conclusão não pode ser generalizada nem tampouco servir de recomendação para a implementação de uma política de âmbito estadual ou regional, considerando-se que sua validade se restringe praticamente às condições edafoclimáticas do local onde foram conduzidos os experimentos. Há, portanto, necessidade de se fazerem novos experimentos em locais representativos das zonas preconizadas para o cultivo do sorgo, a fim de se ter uma resposta quanto à viabilidade econômica da adubação. Como citado anteriormente, é interessante a abordagem do fator clima, tendo em vista sua variabilidade e seu relacionamento com a realização do processo de fertilização.

## RESUMO

A tecnologia dos fertilizantes é amplamente recomendável do ponto de vista agrônomo, em razão dos elevados diferenciais de rendimento físico que proporciona. Não obstante se reconheça a relativa pobreza dos solos das zonas semi-áridas do Nordeste (principalmente com relação aos macronutrientes nitrogênio e fósforo), cabe questionar se realmente compensa a adubação química para o sorgo, diante de condições incertas de clima. Destarte, a adoção da prática da adubação deve estar condicionada a considerações sobre os custos envolvidos e o provável valor econômico da resposta a ser obtida em função de variações nos fatores considerados, relativamente aos limitados recursos de capital do agricultor. Neste sentido, a estimativa de curvas de resposta possibilita a avaliação dos efeitos e a viabilidade econômica da adoção da tecnologia de fertilizantes, bem como os níveis ótimos de sua utilização.

No trabalho em apreço, efetuou-se a análise agroeconômica de experimentos de sorgo grãofero e sorgo forrageiro, avaliando-se o efeito das variáveis nitrogênio,  $P_2O_5$  e população de plantas.

Os experimentos foram conduzidos pelo Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da U.F.C., em decorrência do Projeto "Níveis de Adubação e Densidade em Sorgo Grãofero e Forrageiro" referente ao triênio 1975/77, tendo sido instalados na localidade de Antônio D<sup>o</sup>go, município de Redenção-CE. Citado projeto faz parte do Programa Trienal de Desenvolvimento da Cultura do Sorgo no Nordeste, executado pelo Departamento de Fitotecnia com o patrocínio do Banco do Nordeste do Brasil.

Os ensaios foram delineados de conformidade com o desenho com posto central rotativo, sendo utilizados três níveis básicos de nitrogênio (00; 80; 160), de  $P_2O_5$  (00; 60; 120) e de população de plantas (100.000; 250.000; 400.000), num total de dezesseis tratamentos, acrescidos em 1976 e 1977 de uma testemunha ( $N = 0$ ;  $P_2O_5 = 0$ ;  $D = 267.000$ ), per-

fazendo dezessete tratamentos. Em 1975, utilizou-se duas repetições, e em 1976 e 1977, três repetições. No ensaio de sorgo grãoífero utilizou-se a variedade EA-955, e no de sorgo forrageiro foi empregada a variedade EA-116. Os adubos aplicados nos ensaios foram a uréia (45% N) e o superfosfato simples (20%  $P_2O_5$ ).

Tendo em vista a realização da análise agroeconômica, estimaram-se duas funções para cada ensaio, a quadrática e a raiz-quadrada. A variável população de plantas, por não apresentar significância estatística, foi excluída dos modelos analíticos. Uma nova análise de regressão e a comparação dos resultados estatísticos apresentados pelos dois modelos em cada ensaio resultaram na escolha do modelo quadrático para sorgo grãoífero e do modelo raiz-quadrada para sorgo forrageiro, em virtude de apresentarem melhor ajustamento aos dados experimentais.

Em ambos os ensaios, o nutriente  $P_2O_5$  apresentou maior influência sobre a produção do que o nitrogênio.

A produção máxima de sorgo grãoífero foi de 4.314,51 Kg/ha, com 144,55 Kg/ha de nitrogênio e 125,06 Kg/ha de  $P_2O_5$ , enquanto que para o sorgo forrageiro a produção máxima foi de 29.594,98 Kg/ha, com 207,07 Kg/ha de nitrogênio e 185,23 Kg/ha de  $P_2O_5$ . Considerando-se o nível médio de preços dos fatores de produção e do produto, no período 1975/77, inclusive os custos de aplicação e transporte dos fertilizantes, a produção econômica de sorgo grãoífero foi de 3.707,14 Kg/ha, com 88,98 Kg de nitrogênio de 79,31 Kg de  $P_2O_5$ , e a produção econômica de sorgo forrageiro foi de 26.444,33 Kg/ha, com 70,14 Kg de nitrogênio e 55,50 Kg de  $P_2O_5$ . A comparação entre os níveis de máxima produção física e os de máxima eficiência econômica indicou que os níveis de produção econômica são inferiores aos de produção máxima em cerca de 607,07 Kg/ha para o sorgo grãoífero e de 3.150,65 Kg/ha para o sorgo forrageiro.

A análise da linha de expansão da produção de sorgo granífero e de sorgo forrageiro, em conjunto com o mapa de isoquantas da função de produção respectiva, indicou em ambos os ensaios, que, apesar de o nutriente  $P_2O_5$  haver apresentado maior influência sobre a produção, deve utilizar-se mais o nitrogênio, devido ao seu baixo preço em relação ao preço de  $P_2O_5$ .

A análise comparativa entre a adubação e a não-adubação mostrou que a adoção da técnica de adubação em sorgo granífero proporcionou acréscimos de 473% e 223%, respectivamente, na produção e nos lucros. Em sorgo forrageiro, a produção foi incrementada de 101% e o lucro aumentou de 71%.

Em ambos os ensaios, constatou-se que os níveis ótimos dos nutrientes nitrogênio e  $P_2O_5$  não se mostraram sensíveis às variações nos preços dos fatores de produção e do produto considerado, dentro da amplitude de variação estipulada; em consequência disso, as variações na produção e no lucro foram proporcionais às variações impostas aos preços dos fatores e do produto respectivo. Observou-se também que a preservação do subsídio de 40%, anteriormente oferecido aos agricultores para a aquisição de fertilizantes, proporcionaria uma margem adicional de lucro da ordem de 29% para o sorgo granífero, e de 8% para o sorgo forrageiro. Além disso, comparando-se o impacto de duas políticas alternativas, verificou-se que, para o sorgo granífero, a fixação do preço do produto a um nível de 20% acima do preço normal proporcionaria um acréscimo de 37% no lucro, enquanto que a concessão de um subsídio de 20% para a aquisição de fertilizantes aumentaria o lucro em cerca de 17%. Para o sorgo forrageiro, a política de elevação do preço da forragem causaria um aumento de 24%, ao passo que a política de subsídio determinaria um acréscimo de apenas 4% no lucro.

Finalmente, quando se utilizaram os fatores nitrogênio e  $P_2O_5$  em quantidades equivalentes à metade dos níveis ótimos estimados, verificou-se uma redução de 33% e 11%, respectivamente, na produção de sorgo granífero e sorgo forrageiro que, em termos de lucro, equivale a um decréscimo de 19% e 4%, respectivamente.

## BIBLIOGRAFIA

01. ANDERSON, J.R. - Guidelines for applied agricultural research: designing, reporting and interpreting experiments. Review of Marketing and Agricultural Economics, september 1971. Vol. 39, Nº 3.
02. BANCO DO NORDESTE DO BRASIL (ETENE) - Mercado potencial para o sorgo no Nordeste. Fortaleza-CE, 1974, 175 p.
03. BROWN, W.G. et al. - Production function isoquants, isoclines and economic optima in corn fertilization for experiments with two and three variable nutrients. Ames, Iowa State College. Research Bulletin 441, 1956, pp. 807-832.
04. CAMPOS, ANTÔNIO CARVALHO - Análise agroeconômica da cultura do tomateiro, envolvendo variedades, adubação e população de plantas. Universidade Federal de Viçosa, 1971, 74 p. (Tese de M.S.).
05. COMISSÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA - CEPA/CE. - Projeto de difusão da cultura do sorgo no Estado do Ceará - 1976/79. Fortaleza-CE, 1976, 37 p. (mimeografado).
06. DILLON, J.L. - The analysis of response in crop and livestock production. Oxford, Pergamon, 1968, ch. 4.
07. DILLON, J.L. - The design and analysis of experiments: introduction. In: Seminário sobre análise econômica dos dados de pesquisa na produção pecuária. Mar del Plata, junho 1971, 14 p. (mimeografado).
08. FERGUSON, C.E. - Teoria microeconômica. Forense - Universitária, Rio de Janeiro, 1976, 616 p.
09. GOMES, F. PIMENTEL - Curso de estatística experimental. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 4<sup>a</sup> ed. Piracicaba, 1970, 430 p.

10. HEADY, E. O. - Economics of agricultural production and resource use. Prentice-Hill, New Jersey, 1960, 850 p.
11. HEADY, E. O. & DILLON, J. L. - Agricultural production functions. Iowa State University Press, Ames, 1961, 667 p.
12. HEADY, E. O. & PESEK, J. - A fertilizer production surface with specification of economic optima for corn grown on calcareous Ida silt loam. Journal of Farm Economics, 1954, Vol. 36, pp. 466-482.
13. JANVRY, A. - Optimal levels of fertilization under risk: the potential form corn and wheat fertilization under alternative price policies in Argentina. American Journal of Agricultural Economics, 1972, Vol. 54, pp. 1-10.
14. JOHN, P. W. M. - Statistical design and analysis of experiments. The MacMillan Company, New York, 1971, 356 p.
15. JOHNSTON, J. - Métodos econométricos. Editora Atlas, São Paulo, 1971, 318 p.
16. KLOSTER, L. D. & WHITTLESEY, N. K. - Production function analysis of irrigation water and nitrogen fertilization in wheat production. Washington Agricultural Experiment Station, Bulletin 746, 1971, 9 p.
17. LIRA, M. A. & FARIS, M. A. - Aspectos gerais da cultura do sorgo no Brasil - Região Nordeste. In: I Simpósio Brasileiro do Sorgo. Brasília-DF, 1977, 10 p. (mimeografado).
18. MYERS, R. H. - Response surface methodology. Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1971, pp. 126-175.
19. SILVA, PAULO ROBERTO - Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do feijoeiro, através da função de produção. Universidade Federal de Viçosa, 1967, 61 p. (Tese de M.S.).

20. SCHUH, E. - Curso de economia da produção. Universidade Federal de Viçosa, 1963, 217 p. (mimeografado).
21. STEFANELLO, EUGENIO LIBRELOTO - Análise econômica e relação técnica entre o rendimento da soja e o emprego de fertilizantes e calcário em dez locais do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1975, 149 p. (Tese de M.S.).
22. EWEARINGIN, M. L. et al. - Sorgo granífero para o Nordeste brasileiro - estudo de viabilidade. Purdue University/SUDENE/M.A./USAID - NE, 1971, 148 p.
23. TEIXEIRA, TEOTÔNIO DIAS - Superfície quadrática e suas implicações na análise econômica de experimentos. Universidade Federal de Viçosa, 1970, 164 p. (Tese de M.S.).
24. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ/CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS/DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA - Projeto "Determinação de Níveis de Adubação e Densidade em Sorgo Granífero e Forrageiro". Fortaleza-CE, 1975, 7 p. (mimeografado).

## APÊNDICE A

Determinação dos preços dos fertilizantes:

De acordo com informações obtidas acerca dos custos operacionais dos experimentos de sorgo granífero e sorgo forrageiro, o custo médio de aplicação da mistura de fertilizantes por unidade experimental (área de  $1.080 \text{ m}^2$ , exclusive o tratamento-testemunha), no período de 1975 a 1977, ficou em torno de Cr\$ 30,00. Assim sendo, o custo de aplicação por hectare foi de Cr\$ 277,78. Tendo em vista que foram aplicados em cada unidade experimental cerca de 2.239,2 kg da mistura dos nutrientes nitrogênio e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , o equivalente a 20.733,33 kg/ha, o custo de aplicação por quilograma de nutriente foi de Cr\$ 0,01. Além do custo de aplicação, considerou-se o custo de transporte dos adubos desde o local de compra até o local dos experimentos, imputando-se o custo de Cr\$ 0,01 por quilograma de nutriente transportado.

A determinação dos preços de nitrogênio ( $\text{P}_n$ ) e de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $\text{P}_p$ ) foi feita com base nos preços dos adubos comerciais utilizados, a uréia, com 45% de nitrogênio, e o superfosfato simples, com 20% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . O preço médio da uréia, no período 1975/77 foi de Cr\$ 3,280/kg, e o do superfosfato simples, Cr\$ 2,436/kg. Desta forma, incluindo-se os custos de aplicação e transporte, o preço de nitrogênio foi de Cr\$ 7,31/kg, e o preço de  $\text{P}_2\text{O}_5$  foi de Cr\$ 12,20/kg.

## APÊNDICE B

Derivação da equação da isoquanta <sup>1/</sup>:

B.1. - Equação da isoquanta da função de produção quadrática:

A equação da isoquanta é obtida expressando-se a equação do produto total como uma função de um dos fatores variáveis, a um dado nível de produção. Fixando-se o nível de Y em  $Y_0$ , determina-se o valor de  $X_2$  em função de  $X_1$  na função de produção quadrática considerada. Tem-se, portanto:

$$\begin{aligned}
 Y &= b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2 \Rightarrow \\
 \Rightarrow b_4X_2^2 + (b_3 + b_5X_1)X_2 + (b_2X_1^2 + b_1X_1 + b_0 - Y_0) &= 0 \Rightarrow \\
 \Rightarrow X_2 &= \frac{-(b_5X_1 + b_3) \pm [(b_5X_1 + b_3)^2 - 4b_4(b_2X_1 + b_1X_1 + b_0 - Y_0)]^{0,5}}{2b_4}
 \end{aligned}$$

B.2. - Equação da isoquanta da função raiz-quadrada:

A equação da isoquanta é derivada de modo semelhante ao da isoquanta da função quadrática. Assim é que, fixando-se o nível de Y em  $Y_0$ , determina-se o valor de  $X_2$  em função de  $X_1$  na função de produção raiz-quadrada considerada. Tem-se, portanto:

<sup>1/</sup> A derivação da isoquanta da função quadrática foi baseada em TEIXEIRA (23).

$$\begin{aligned}
 Y &= b_0 + b_1 X_1^{0,5} + b_2 X_1 + b_3 X_2^{0,5} + b_4 X_2 + b_5 (X_1 X_2)^{0,5} \Rightarrow \\
 \Rightarrow b_4 X_2 + (b_3 + b_5 X_1^{0,5}) X_2 + (b_2 X_1 + b_1 X_1^{0,5} + b_0 - Y_0) &= 0 \\
 \Rightarrow X_2^{0,5} &= \frac{-(b_3 + b_5 X_1^{0,5}) \pm [(b_5 X_1^{0,5} + b_3)^2 - 4b_4 (b_2 X_1 + b_1 X_1^{0,5} + b_0 - Y_0)]^{0,5}}{2b_4} \\
 \Rightarrow X_2 &= \left[ \frac{-(b_3 + b_5 X_1^{0,5}) \pm [(b_5 X_1^{0,5} + b_3)^2 - 4b_4 (b_2 X_1 + b_1 X_1^{0,5} + b_0 - Y_0)]^{0,5}}{2b_4} \right]^2
 \end{aligned}$$

### Observações

Em ambos os casos enfocados, têm-se dois valores de  $X_2$  associados a um único valor de  $X_1$ , devido ao sinal  $\pm$ . Raízes reais para  $X_2$  somente serão obtidas se o radicando for maior ou igual a zero. Por outro lado, se houver raízes reais, elas serão positivas, negativas ou nulas, dependendo das magnitudes dos termos da equação quadrática ou raiz-quadrada definida.

Entretanto, considerando-se que, do ponto de vista econômico, somente há interesse em combinações de  $X_1$  e  $X_2$  necessários para obter de terminado nível de produção que esteja no estágio racional de produção, tem-se que a cada valor de  $X_1$  está associado um único valor de  $X_2$ . Assim, se houver raízes reais, deve-se identificar qual delas corresponde ao estágio racional de produção.

Se os valores de  $X_2$  encontrados mediante uma das equações acima forem não-negativos, escolhe-se o menor deles e verifica-se se está no estágio racional de produção. Se for encontrada uma raiz não-negativa e outra negativa, escolhe-se a raiz-não negativa e verifica-se se está no estágio racional de produção.

## APÊNDICE C

RESULTADOS DA 1ª ANÁLISE DE REGRESSÃO:C.1. - Ensaio de Sorgo Granífero:

QUADRO C.1.1. - Modelo Quadrático:

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	28,43	9,21	3,09 +
N <sup>2</sup>	- 0,13	0,04	-3,13 +
P	35,64	12,28	2,90 +
P <sup>2</sup>	- 0,23	0,07	-3,13 +
D	240,71	243,29	N.S.
D <sup>2</sup>	- 9,71	15,25	N.S.
(NP)	0,12	0,06	2,00 +
(ND)	- 1,16	0,90	N.S.
(PD)	0,15	1,19	N.S.
Constante de Regressão ( $\beta_0$ )			-624,56
Coeficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )			0,526
Valor de F			15,29 +

(+)  
Estatisticamente significativa ao nível de 10%.

(N.S.) Não-significativo ao nível de 10%.

QUADRO C.1.2. - Modelo Raiz-Quadrada.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	- 16,33	6,03	-2,70 +
$N^{0,5}$	446,08	229,14	1,94 +
P	- 6,97	8,04	N.S.
$P^{0,5}$	122,54	264,45	N.S.
D	-297,51	370,52	N.S.
$D^{0,5}$	2.505,63	2.193,20	N.S.
$(NP)^{0,5}$	24,09	7,44	3,23 +
$(ND)^{0,5}$	-104,20	77,70	N.S.
$(PD)^{0,5}$	3,48	89,63	N.S.
Constante de Regressão ( $\beta_0$ )			-3.806,82
Coeficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )			0,550
Valor de F			16,84 +

(+) Estatisticamente significativo ao nível de 10%.

(N.S.) Não-significativo ao nível de 10%.

C.2. - Ensaio de Sorgo Forrageiro:

QUADRO C.2.1. - Modelo Quadrático.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	146,25	59,87	2,44 +
N <sup>2</sup>	- 0,57	0,26	-2,16 +
P	244,02	79,71	3,05 +
P <sup>2</sup>	- 0,95	0,47	-2,02 +
D	-152,20	1.568,54	N.S.
D <sup>2</sup>	89,85	97,92	N.S.
NP	0,15	0,36	N.S.
ND	- 3,33	5,86	N.S.
PD	- 10,44	7,81	N.S.
Constante de Regressão ( $\beta_0$ )			9.069,39
Coeficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )			0,369
Valor de F			8,06 +

(+) Estatisticamente significativa ao nível de 10%.

(N.S.) Não-significativo ao nível de 10%.

## APÊNDICE D

RESULTADOS DA 2.<sup>a</sup> ANÁLISE DE REGRESSÃO:D.1. - Ensaio de Sorgo Granífero:QUADRO D.1.1. - Modelo Quadrático.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	18,29	5,85	3,13 ++
N <sup>2</sup>	-0,11	0,04	-3,13 ++
P	34,23	7,80	4,39 ++
P <sup>2</sup>	-0,20	0,07	-3,13 ++
NP	0,12	0,05	2,16 +
Constante de Regressão ( $\beta_0$ )			647,02
Coeficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )			0,517
Valor de F			27,38 ++

(+) Estatisticamente significativa ao nível de 5%.

(++) Estatisticamente significativa ao nível de 1%.

QUADRO D.1.2. - Modelo Raiz-Quadrada.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	-14,11	5,60	-2,52 +
$N^{0,5}$	139,40	71,26	1,95 +
P	- 4,37	7,45	N.S.
$P^{0,5}$	100,65	82,27	N.S.
$(NP)^{0,5}$	23,83	7,19	3,31 ++
Constante de Regressão ( $\beta_0$ )			845,02
Coeficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )			0,540
Valor de F			30,08 ++

(+) Estatisticamente significativa ao nível de 5%.

(++) Estatisticamente significativa ao nível de 1%.

(N.S.) Não-significativo ao nível de 5%.

D.2. - Ensaio de Sorgo Forrageiro:

QUADRO D.2.1. - Modelo Quadrático.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	132,25	38,13	3,46 ++
N <sup>2</sup>	- 0,66	0,24	-2,75 ++
P	182,44	50,91	3,58 ++
P <sup>2</sup>	- 1,11	0,43	-2,60 ++
NP	0,22	0,36	N.S.

Constante de Regressão ( $\beta_0$ )	12.710,30
Coefficiente de Determinação Múltipla ( $R^2$ )	0,347
Valor de F	13,59 ++

(+) Estatisticamente significativa ao nível de 5%.

(++) Estatisticamente significativa ao nível de 1%.

(N.S.) Não-significante ao nível de 5%.

QUADRO D.2.2. - Modelo Raiz-Quadrada.

Variável	Estimativa de $\beta_i$	Desvio-padrão de $\beta_i$	Razão t
N	- 96,45	35,40	-2,72 ++
$N^{0,5}$	1.123,38	451,75	-2,49 ++
P	-109,41	47,25	-2,32 +
$P^{0,5}$	1.229,66	520,54	2,36 +
$(NP)^{0,5}$	121,50	45,55	2,67 ++
Constante de Regressão ( $\beta_0$ ).			13.136,26
Coeficiente de Determinação Múltipla			0,417
Valor de F			18,27 ++

(+) Estatisticamente significativa ao nível de 5%.

(++) Estatisticamente significativa ao nível de 1%.

QUADRO D.1.1.1.1. - Matriz de Correlação entre as Variáveis da Equação de Regressão (Quadrática) Seleccionada para a Análise Económica.

	Y	N	N <sup>2</sup>	P	P <sup>2</sup>	NP
Y	1,00000	0,36486	0,28449	0,60664	0,52679	0,61865
N		1,00000	0,95693	0,13018	0,08480	0,69896
N <sup>2</sup>			1,00000	0,08481	0,03421	0,66888
P				1,00000	0,95701	0,69916
P <sup>2</sup>					1,00000	0,66910
NP						1,00000



QUADRO D.2.2.1.1. - Matriz de Correlação entre as Variáveis da Equação de Regressão (Raiz-Quadrada) Selecionada para a Análise Econômica.

	Y	N	N <sup>0,5</sup>	P	P <sup>0,5</sup>	(NP) <sup>0,5</sup>
Y	1,00000	0,36853	0,44481	0,42929	0,49662	0,59008
N		1,00000	0,95141	0,13931	0,18822	0,71661
N <sup>0,5</sup>			1,00000	0,18694	0,23945	0,74105
P				1,00000	0,95106	0,71851
P <sup>0,5</sup>					1,00000	0,74307
(NP) <sup>0,5</sup>						1,00000

