

DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E DA FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DO CAUPI
IRRIGADO NO MUNICÍPIO DE BRAGANÇA - PARÁ

JOSÉ VANGLÉSIO DE AGUIAR

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO
DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1989

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia com área de concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

José Vanglêzio de Aguiar

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29/12/89

Professor Moisés Custódio Saraiva Leão, Ph.D.
Orientador da Dissertação

Professor Luis Carlos Uchôa Saunders, Ph.D.
Conselheiro

Professor José de Jesus Sousa Lemos, Ph.D.
Conselheiro

Ao meu pai, Francisco Abílio de
Aguiar, in memoriam e à minha
mãe, Vicencia Marques de Aguiar.

O F E R E Ç O

Aos meus filhos, Alexandre, Aris-
tóteles, Gustavo, Patrícia e Ca-
mila.

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

Ao Professor MOISÉS CUSTÓDIO SARAIVA LEÃO pela orientação valiosa recebida no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores LUIS CARLOS UCHÔA SAUNDERS e JOSÉ JESUS SOUSA LEMOS, pelo aconselhamento, críticas e sugestões apresentadas.

Ao Professor JOSÉ GERSON FERREIRA GOMES, pela paciente e dedicada ajuda nos trabalhos de processamento eletrônico dos dados.

À Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural-EMBRATER e ao Programa Nacional de Irrigação-PRONI, pelo apoio financeiro concedidos.

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará-EMATER-PARÁ, pela cessão da área onde foi realizada a pesquisa de campo e pelo apoio logístico e financeiro oferecidos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, à Delegacia Federal de Agricultura do Pará-DFA/PA, ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará e à Comissão Executiva para Recuperação de Lavoura Cacaueira-CEPLAC pela gentileza na cessão de equipamentos e instalações utilizados na realização desta pesquisa.

Ao Técnico Agrícola JOÃO AUGUSTO FRANCO DEZINCOURT pela colaboração incansável, dedicada e competente, na implantação e no acompanhamento dos trabalhos de campo.

Ao Eng^o Civil MANOEL DINIZ PERES, ao Eng^o Florestal JOSÉ SINVAL VILHENA DE PAIVA e à Bibliotecária ALZIRA ROSA DE FÁTIMA pelo apoio prestado para a realização deste estudo.

Aos técnicos e trabalhadores de campo da Unidade Didática de Bragança-UDB pela ajuda amiga em todas as fases do trabalho.

E a todos que, direta e indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	vii
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	x
<u>RESUMO</u>	xii
<u>ABSTRACT</u>	xiv
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	4
2.1 - <u>Utilização da função de produção para estimar rendimentos</u>	4
2.2 - <u>Resposta do caupi à aplicação de água e adubação química</u>	10
2.3 - <u>Efeitos do deficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento do caupi</u>	13
2.4 - <u>Consumo de água pelo caupi</u>	16
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	19
3.1 - <u>Caracterização da área do experimento</u>	19
3.2 - <u>Culturas e práticas adotadas</u>	21
3.3 - <u>Delineamento experimental</u>	21
3.4 - <u>Manejo e controle das irrigações</u>	30
3.5 - <u>Rendimento de grãos, tamanho médio da vagem, número de grãos por vagem e peso de 1000 grãos</u>	33
3.6 - <u>Eficiência de uso da água</u>	34
3.7 - <u>Função de produção</u>	36
3.8 - <u>Maximização do rendimento físico e da receita líquida</u>	37
3.9 - <u>Curvas de isoquantas ou de produto constante</u> ...	39
3.10- <u>Determinação das combinações de água e adubo que conduzem a um custo mínimo</u>	39
3.11- <u>Consumo de água pelo caupi</u>	41
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	43
4.1 - <u>Manejo e controle das irrigações</u>	43
4.2 - <u>Consumo de água pelo caupi</u>	44

	Página
4.3 - <u>Rendimentos de grãos</u>	51
4.3.1 - Efeito das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) sobre o rendimento físico de grãos	51
4.3.2 - Superfície de resposta	55
4.3.2.1 - Produtividades físicas marginais	61
4.3.2.2 - Curvas de produto constante e taxa marginal de substituição	64
4.3.2.3 - Região de produção racional	70
4.3.2.4 - Curvas de isocusto e combinação de custo mínimo	71
4.3.2.5 - Determinação do nível de produção de caupi que maximiza a receita líquida	77
4.4 - <u>Peso médio de 1000 grãos</u>	78
4.5 - <u>Número médio de grãos por vagem</u>	81
4.6 - <u>Tamanho médio da vagem</u>	85
4.7 - <u>Eficiência de uso da água</u>	85
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	94
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	96
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	97
8 - <u>ANEXOS</u>	104

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Médias mensais e anuais das temperaturas, umidade relativa do ar, horas de insolação, evaporação e precipitação pluviométrica em Tracuateua-Bragança, no Estado do Pará, no período de 1976 a 1985	20
2	Características físicas do solo da área do experimento	22
3	Características químicas do solo da área do experimento	23
4	Resumo da análise de variância	35
5	Evapotranspiração da cultura do caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp), na profundidade de 0 a 20cm (Bragança-Pará, 1988)	45
6	Evapotranspiração da cultura do caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp), na profundidade de 0 a 40cm (Bragança-Pará, 1988)	46
7	Valores médios de evapotranspiração de referência (E _{To}) e coeficiente de cultivo (K _c) em quatro estágios do ciclo da cultura do caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp), na profundidade de 0 a 40cm (Bragança-Pará, 1988)	48
8	Valores médios de rendimento (kg/ha) de grãos de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp), em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	52
9	Análise de variância do rendimento de grãos de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp) (Bragança-Pará, 1988)	53

10	Análise de regressão múltipla dos rendimentos de grãos obtidos sob diferentes lâminas de irrigação (W) e diferentes níveis de NPK(10-28-20) (X), para os 7 (sete) modelos testados (Bragança-Pará, 1988)	57
11	Valores estimados para os parâmetros da superfície de resposta do caupi à lâmina total de água e adubação química (NPK) (Bragança-Pará, 1988)	59
12	Produtos físicos marginais da água em cada nível de NPK (10-28-20), para as diversas lâminas totais de água (Bragança-Pará, 1988)	63
13	Produtos físicos marginais de NPK (10-28-20) em cada lâmina total de água aplicada, para os diversos níveis de NPK (Bragança-Pará, 1988) .	65
14	Produtos físicos marginais da água e do NPK (10-28-20) (Valor entre parêntese), para as diferentes lâminas totais de água e doses de NPK (Bragança-Pará, 1988)	66
15	Taxas marginais de substituição de água por adubo, para níveis pré-fixados de rendimentos de grãos (Bragança-Pará, 1988)	69
16	Quantidade de água e adubo que delimitam a região de produção racional (Bragança-Pará, 1988)	72
17	Quantidade de água e adubo que proporcionam combinações de custo mínimo dos diferentes níveis de rendimento para uma relação de preços $P_w/P_x = 0,514/0,44$ (Bragança-Pará, 1988)	76
18	Peso médio de 1000 grãos (g) em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK(10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	79

TABELA

Página

19	Análise de variância do peso médio de 1000 grãos de caupi (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp) (Bragança-Pará, 1988)	80
20	Número médio de grãos por vagem obtidos a partir das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	82
21	Análise de variância do número médio de grãos a partir das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988) .	83
22	Tamanho médio (cm) da vagem a partir das lâminas totais de água e níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	86
23	Análise de variância do tamanho da vagem, a partir das lâminas totais de água e níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	87
24	Eficiência de uso da água (kg/mm) em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	89
25	Análise de variância da eficiência de uso da água em função das lâminas totais de água e das doses de NPK (10-28-20) (Bragança-Pará, 1988)	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança-Profundidade de 10cm	24
2	Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança-Profundidade de 30cm	25
3	Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança-Profundidade de 50cm	26
4	Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança-Profundidade de 70cm	27
5	Distribuição da precipitação do aspersor SAMOTO AJ-25 P ₂ Ø 5,2 x 3,2mm	29
6	Esquema geral do experimento	31
7	Vazão da fonte supridora no mês de setembro/89	32
8	Curvas de produto constante, isoquantas ou iso produtos	40
9	Valores da evaporação do tanque "Classe A" (ECA) da evapotranspiração de referência (ET _o) e da evapotranspiração atual (ET _a)	49
10	Coefficiente de cultivo (K _c) do caupi em regime de irrigação	50
11	Curva de rendimento médio de grãos em função das lâminas totais	56
12	Produção de grãos em função da aplicação de água e adubação	60

FIGURA

Página

13	Curva de rendimento médio de grãos, em função das lâminas totais de água, nos 3 (três) níveis de NPK (10-28-20)	62
14	Curvas de iso-produto, linhas de fronteira e combinações de custo mínimo para água e NPK (10-28-20) para a relação de preços $\frac{P_x}{P_w} = 0,856$	67
15	Representação de uma reta de isocusto	74
16	Número médio de grãos por vagem obtidos em função das lâminas totais de água	84
17	Tamanho médio de vagem obtido em função das lâminas totais de água	88
18	Curvas de eficiência de uso da água em função das lâminas totais de água para cada nível de NPK (10-28-20)	92
19	Curva de eficiência de uso da água para as diferentes lâminas totais de água	93

RESUMO

O experimento foi conduzido na área da Unidade Didática de Bragança, pertencente à EMATER-PARÁ, no município de Bragança-Pará, distando 220km de Belém.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as relações entre as lâminas de irrigação, a adubação química e o rendimento físico do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), estabelecer uma função de produção visando a otimização econômica do uso da água e da adubação mineral, a partir de uma dada estrutura de preços e avaliar a demanda hídrica do caupi.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas sub-divididas, com quatro repetições, e os tratamentos compreenderam a combinação de 6 (seis) lâminas d'água (315,6; 265,5; 182,5; 110,3; 44,7; e 33,1mm) e 3 (três) níveis de adubação (0,75 e 150 kg/ha da mistura 10-28-20).

A cultura utilizada foi o caupi, cultivar Manteiguiña e as irrigações foram controladas a partir da leitura de tensiômetros instalados na área do experimento, a 10cm de profundidade, procedendo-se a irrigação toda vez que o potencial matricial da água no solo atingia -0,5 atm.

A análise dos resultados obtidos constatou um consumo de 305,7mm de água pela cultura para todo o ciclo.

O rendimento máximo de grãos (517,8 kg/ha) pode ser obtido com a aplicação de 226,6 mm de água e 181,4 kg de NPK (10-28-20).

A lâmina de água e a quantidade de adubo que maximizam a receita líquida, dada uma relação de preços $\frac{P_x}{P_w} = 0,856$, são 201,5 mm e 125,8 kg/ha de NPK respectivamente, produzindo

um lucro máximo de NCZ\$ 123,20/ha, a preços de abril de 1989.

A função de produção obtida para estimar o rendimento (Y) de grãos de caupi, em função da lâmina total de água (w) e níveis de NPK foi do tipo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação (r^2) ajustado de 0,9283.

ABSTRACT

A field Study was conducted from august to december 1988, at the EMATER-PA's Demonstration Farm of Bragança, Pará, Brazil, to determine the effects of different irrigation and fertilizer treatments on the yield of cow peas (*Vigna unguiculata* L.Walp, cultivar manteiguinha) stablishing a production function to optimize the economical use of water and fertilizer.

The experimental design was based on randomized blocks with split plots and treatments combining six irrigation water levels (315,6; 265,5; 182,5; 110,3; 44,7 and 33,1mm) replicated four times with three levels of fertilizer application (0; 75 and 150 kg/ha of the mixture 10-28-20); irrigations were monitored by tensiometers at the depth of 10cm and water was applied every time the readings in the tensiometers reached -0.5 atm.

The water consumption by the crop was 305,7 mm for the full cycle of the plants.

The highest grain yield (517,8 kg/ha) may be obtained from the treatment receiving 226,6mm of irrigation water and 121,4 kg/ha of the NPK mixture.

Maximum net return, for a price ratio $\frac{P_x}{P_w} = 0,856$, is obtained for an application of 201,5 mm of water and 125,8Kg/ha of the NPK mixture, resulting in a gain of NCZ\$ 123,20 / ha (for april 1989 prices).

A quadratic polynomial function, with an adjusted coefficient of determination (r^2) equal to 0,9283, represents yield-water-fertilizer relationships for this experiment.

1 - INTRODUÇÃO

O caupi foi introduzido no Brasil no século XVI pelos primeiros colonizadores portugueses e na Região Norte, pelos nordestinos que para lá migraram durante os períodos de seca com o objetivo de trabalharem na extração do látex da seringueira, sendo hoje uma das culturas mais cultivadas na Amazônia, devido a sua capacidade para suportar condições climáticas adversas e uma tolerância para solos ácidos e de baixa fertilidade (WATT & ARAUJO, 1988).

Constitui-se em um dos mais importantes alimentos das populações das Regiões Norte e Nordeste, pelo seu alto valor nutritivo, contendo alto nível de carboidratos, baixo nível de gorduras e razoável nível de proteínas.

No Estado do Pará é cultivado em área equivalente a 80% da área plantada com feijão (WATT & ARAUJO, 1988), muito embora atenda apenas 53% da procura, sendo o restante suprido por outros Estados. (SILVA & AQUINO, 1988).

O caupi no Estado do Pará é plantado na terra firme, no final das chuvas, e nas várzeas no período de agosto a outubro, sendo um dos primeiros cultivos instalados em área de matas recém-desbravadas caindo sua produtividade ao longo dos anos de plantio. Considerando o período que se estende de 1970 a 1985, a produtividade média do caupi no Estado do Pará caiu de 682 para 535 kg/ha (WATT & ARAUJO, 1988).

Dada a sua capacidade em estabelecer simbiose com bactérias no processo de fixação do nitrogênio, o caupi pode ser um cultivo importante na preservação da fertilidade natural dos solos da Amazônia, promovendo uma maior utilização dos nutrientes a um custo mais baixo (WATT & ARAUJO, 1988).

Nas Regiões Bragantina e Guajarina, no Estado do Pará, a produção de caupi em 1977, alcançou 32% da produção total de feijão, tendo sido necessária a aquisição de 35.000t, para suprir a demanda local daquele ano. (WATT & ARAUJO, 1988).

Entre as limitações para a obtenção de uma maior produção no Estado do Pará podem ser citadas: manejo deficiente dos solos das áreas recém-desbravadas, baixa fertilidade da maioria dos solos utilizados (especialmente em fósforo), dificuldade de acesso ao crédito rural pelos agricultores, oferta insuficiente de sementes, infra-estrutura deficiente de comercialização e desorganização dos produtores.

Uma das alternativas para elevar a produção de caupi no Estado do Pará, seria a adoção de um segundo cultivo dessa leguminosa no período de estiagem (setembro/outubro a novembro/dezembro), principalmente nas microrregiões da Região Nordeste do Estado, utilizando-se a irrigação de forma a suprir parcial ou totalmente as necessidades hídricas da cultura, dependendo do município considerado. Dessa maneira, poderiam ser obtidas duas safras por ano, reduzindo-se consideravelmente as compras do produto, para satisfazer a demanda local.

Para a consecução desse objetivo o Estado do Pará se ressentia da disponibilidade de tecnologias voltadas para a cultura do caupi irrigado, especialmente em terra firme. Para as várzeas já existem algumas tecnologias geradas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA para a cultura do arroz, na região do rio Caeté e para milho e feijão na região do Médio Amazonas. A Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, desenvolveu trabalhos nas várzeas do Médio Amazonas, visando a determinação de um método econômico para irrigação do milho e do feijão. Nas várzeas da ilha do Marajó, o Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado do Pará - IDESP, vem realizando experiências com o arroz irrigado. (EMBRAPA/CPATU, 1987).

Em recente diagnóstico da situação da agricultura irrigada na Região Norte, a EMBRAPA considerou, no Pará, a pes

quisa com o caupi, em áreas de terra firme, de primeira prioridade. A determinação do coeficiente de cultivo (kc), estudos de infiltração, condutividade hidráulica, determinação das curvas de retenção de água e outros parâmetros relacionados à física de solos (capacidade de campo, densidade, porosidade, etc) foram listados como essenciais no desenvolvimento da cultura. (EMBRAPA/CPATU, 1987).

Este estudo visa determinar o consumo de água pelo caupi e gerar uma função de produção do caupi para o município de Bragança, Estado do Pará.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - A utilização da função de produção para estimar rendimen- tos

Uma função de produção representa a formulação matemática que expressa a relação entre insumos e produtos. Permite quantificar os insumos que devem ser aplicados visando a obtenção de uma produção máxima, desde que exista uma tecnologia associada a essa relação insumo-produto.

O conceito de função de produção decorre da teoria difundida por FURR & TAYLOR (1939), HAGAN et alii (1959), de que as plantas respondem de maneira diferente às diferentes variações no conteúdo de umidade do solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, mesmo que este não tenha sido alcançado (YARON, 1971).

Para cada tipo de solo, pode-se estabelecer uma relação entre o teor de umidade e a tensão da água no solo, cujos valores plotados em um gráfico semi-logarítmico, geram uma curva denominada curva característica ou curva de retenção da água no solo.

De um modo geral, considera-se que a tensão da água no solo à capacidade do campo aproxima-se de -0,1 e -0,3 atm para solos arenosos e argilosos, respectivamente e de -15,0atm no ponto de murcha permanente (REICHARDT, 1987).

Há várias evidências experimentais que apoiam a teoria da diferente utilização da água pelas plantas a diferentes tensões da água no solo.

STONE et alii (s.d.) citados por STONE & MOREIRA(1986), em experimento conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, em Goiânia-GO, verificaram que a tensão da água

do solo deveria situar-se na faixa de $-0,25$ a $-0,30$ bar, para não haver redução na produção do feijoeiro, dependendo da de manda atmosférica, ocorrendo diminuição da produção quando a tensão alcançava $-0,5$ bar.

MILLAR & GARDNER (1972) observaram que a taxa de transpiração do feijoeiro caiu a tensões maiores que $-0,25$ bar. A $-0,40$ bar a taxa de transpiração foi de 50% do valor médio a uma tensão de $-0,25$ bar.

Investigações no Chile, demonstram que o rendimento de feijão aumentou quando o potencial matricial situava-se em torno de $-0,3$ e $-0,4$ atm (MIRANDA & BELMAR, 1977).

MAGALHÃES & MILLAR (1978), relataram uma queda na produção de feijão em 50% quando a tensão atingia $-6,0$ bar.

A relação entre o uso da água e a produção vem sendo estudada pelos pesquisadores desde o início do século (BRIGGS & SHANTZ, 1913; KISSELBACH, 1916; ADAMS, 1917; e DILLMAN, 1931), citados por VAUX & PRUITT (1983).

Esses trabalhos, de um modo geral, concluíram que a necessidade da água pelas plantas independia da fertilidade do solo, mas era proporcional à evaporação de uma superfície livre de água e da espécie vegetal (VAUX & PRUITT, 1983).

De WIT (1958), ARKLEY (1963) & HANKS (1969), citados por VAUX E PRUITT (1983), encontraram uma relação linear entre a produção e a transpiração em regiões áridas.

HSIAO (1973) identificou a influência da água no crescimento vegetativo, fotossíntese, polinização e frutificação, verificando que a deficiência hídrica afetava esses estágios.

Todos esses estudos anteriores procuravam determinar o conteúdo da água do solo que pudesse permitir a obtenção de um máximo de produção (VAUX & PRUITT, 1983).

Mais recentemente os pesquisadores têm ampliado o campo de utilização das funções de produção.

A determinação da quantidade de água a ser aplicada por unidade de área para alcançar o seu nível máximo de eficiência, a quantificação da área total possível de ser irrigada a partir de um nível de eficiência de aplicação, comparações entre eficiência de uso da água por diferentes cultivos, são aspectos passíveis de serem conhecidos a partir de geração de funções de produção (STEWART & HAGAN, 1969).

O estudo da economicidade do uso da água requer o conhecimento da função resposta do cultivo a diferentes quantidades de água usadas pela planta durante o seu ciclo de crescimento (MINHAS et alii, 1974).

STEWART et alii (1974) desenvolveram programas de irrigação visando a maximização da receita líquida da cultura do milho, em Davis, California, a partir da relação evapotranspiração "versus" rendimento, baseando-se nas características da cultura, condições de evaporação da área irrigada, dados de solo e clima.

Modelos de programação linear para avaliação econômica do "deficit" hídrico e otimização dos componentes de um sistema de irrigação, do ponto de vista de dimensionamento e operação foram desenvolvidos por ALLEN (1986), a partir do ajustamento de funções de produção.

HOGG & VIETH (1977) apresentaram uma metodologia de avaliação de projetos de irrigação, comparando projetos alternativos sob condições de incerteza, compreendendo basicamente: a) geração de variáveis climáticas apropriadas por amostragem de uma distribuição de probabilidade pré-determinada; b) cálculo da capacidade do sistema de irrigação para cada ano de vida do projeto. A quantidade de água a ser aplicada em cada zona do projeto foi determinada a partir de uma função de produção do tipo:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = f\left(\frac{E_a}{E_p}\right) \quad (1)$$

Onde:

- Y_a é a produção atual;
- Y_p é a produção potencial de ser obtida em condições de campo;
- E_a é a evapotranspiração atual; e
- E_p é a evapotranspiração potencial.

Os estudos relacionados com o uso de água a teem considerada como variável independente, de três formas a saber:

- a) conteúdo de umidade do solo ou tensão da água no solo;
- b) evapotranspiração; e
- c) lâmina de água aplicada na irrigação.

Apesar da relação produção "versus" evapotranspiração ser a mais adequada para prever rendimentos, uma vez que é considerada a água realmente consumida pela planta, a produção como função da lâmina de água aplicada desperta mais interesse nos agricultores, pela possibilidade do controle exercido sobre a lâmina de água aplicada.

A forma das funções estudadas relacionando produção com evapotranspiração tem apresentado uma forte tendência para o modelo linear (STEWART et alii, 1976; STEWART et alii, 1977 a; STEWART et alii, 1977 b; CUENCA et alii, 1978; PRUITT et alii, 1980; e HANKS et alii, 1977; HANK & BETTA, 1980), citados por VAUX & PRUITT (1983).

Quando a função estabelece uma relação entre a produção e a lâmina aplicada, normalmente outros modelos são ajustados (parábolas) estando o formato da função em condições de campo dependendo da cultivar utilizada, da heterogeneidade dos indivíduos de uma dada população de plantas, do microrelevo do solo, de sua profundidade, textura, estrutura e fertilidade, épocas de plantio e estágios críticos de crescimento (HENDERSON, 1967 citado por STEWART & HAGAN, 1969).

ALMEIDA (1987) estudou a resposta da cultura do milho a diferentes níveis de umidade e a obtenção de uma função de produção que representasse a relação entre a água como fator variável e sua produtividade, para a Baixada Cuiabana. Obteve uma função quadrática, não obstante o termo quadrático ser muito reduzido em relação ao termo linear. Em decorrência disto, até 900 mm de água aplicada o ajuste linear poderia ser mais adequado.

No período de 1967 a 1972, foram desenvolvidos, nos Estados Unidos, 36 experimentos envolvendo as culturas do milho, trigo, algodão e beterraba açucareira, distribuídos nos Estados do Colorado, Arizona, Texas e Califórnia, objetivando a geração de funções de produção que permitissem a estimativa de colheita a partir da aplicação de água e fertilizantes; a maioria das funções obtidas foram do tipo quadrática, raiz-quadrada e polinomial de grau 1,5 (HEXEM & HEADY, 1978).

FRIZZONE (1986), estudando o efeito da lâmina d'água e da adubação nitrogenada e a interação destes fatores sobre o rendimento econômico e componentes da produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) conduziu um experimento em Ilha Solteira-SP. Como resultado, verificou que a água e o nitrogênio aumentaram o rendimento de grãos, segundo uma relação quadrática, sendo significativa a interação entre esses dois fatores.

COSTA, FERREIRA & SOUZA (1988) estudaram em condições de campo as respostas da cultura do milho a diversas lâminas d'água em Pentecoste-Ceará e encontraram uma relação do tipo quadrático entre o peso total de grãos e a lâmina de irrigação.

CAIXETA & MIZUBUTI (1988) submeteram dez cultivares de batata a nove lâminas d'água utilizando o sistema de irrigação por aspersão em linha. Foi ajustado um modelo quadrático com $r^2 = 0,9484$ para a produção e seus componentes, obtendo melhor produtividade com a aplicação de uma lâmina média, para os 10 cultivares, de 5,41 mm/dia.

MONTEIRO et alii (1989) conduziram um experimento em Sete Lagoas-MG, com milho verde, procurando identificar os efei

tos do nitrogênio e lâminas de irrigação na produção de espigas. Os tratamentos consistiram na combinação de 4 lâminas de irrigação equivalentes a 25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração real e seis níveis de nitrogênio com aplicações de 0,40, 80, 120, 160 e 200 kg/ha.

A função de produção ajustada foi do tipo quadrática, revelando um efeito altamente significativo para as lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio, com um máximo de produção física ocorrendo para uma aplicação de 160 kg/ha de nitrogênio e uma lâmina de irrigação equivalente a 50% da evapotranspiração atual.

Embora uma função de produção seja uma relação que permita quantificar o nível de produção passível de ser alcançada, a partir de um dado nível de insumos, apresenta no entanto algumas limitações.

Na verdade, uma função de produção obtida para uma determinada cultura, pode variar de ano para ano, segundo as práticas de manejo adotadas, a variação na fertilidade dos solos, níveis de eficiência na aplicação da água, etc.

Para uma completa generalização das funções de produção de modo que possam ser usadas na previsão de colheitas para determinadas condições de solo e clima, é necessária a execução de um projeto de larga escala, estendendo-se sobre uma área razoável, por vários anos e com um maior número de variáveis ambientais controladas (HEXEM & HEADY, 1978).

Por outro lado, segundo YARON (1971), curvas ajustadas para um dado cultivo no mesmo local em anos diferentes tendem a se mostrar paralelas, sendo que a diferença entre as curvas pode ser explicada em termos de fertilidade do solo entre as parcelas experimentais e outros efeitos específicos, levando a crer que o efeito do ano é aditivo, não afetando a declividade das curvas.

A geração de funções de produção que explicitam a água como uma das variáveis independentes, pode ser desenvolvida com o emprego de funções relacionadas à variação relativa da produ-

ção às variações dos "deficits" relativos da evapotranspiração (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Este método apresenta como principal dificuldade a necessidade de bordaduras de grandes tamanhos, para impedir que a aplicação da água de um tratamento interfira nos tratamentos adjacentes.

Utilizando-se a irrigação por sulcos ou em faixa, podem ser determinadas funções de produção em culturas irrigadas, considerando-se a aplicação de água durante a fase de avanço, a qual pode ser quantificada através do método do balanço de volume (SCALLOPI, 1983).

2.2 - Resposta do caupi à aplicação de água e adubação química

SILVA (1978) realizou ensaio no Campo Experimental de Bebedouro (CPATSA/EMBRAPA) em Petrolina, Pernambuco, visando verificar os efeitos da lâmina d'água e da adubação nitrogenada sobre a produção do caupi (*Vigna sinensis* L. Savi), utilizando o sistema de irrigação em linha. Como resultado obteve um efeito linear da aplicação da água sobre a produção de grãos, nos níveis de 80 a 120 kg de nitrogênio por hectare, não encontrando significância para lâmina total de água aplicada nos níveis de 0 e 40 kg de nitrogênio por hectare.

STAMFORD (1978), STAMFORD & NEPTUNE (1980), citados por WATT & ARAUJO (1988) concluíram que a partir de 20 a 25 kg de nitrogênio/ha, melhorou a produção de caupi em solos de baixo teor de matéria orgânica. Doses acima de 100 kg/ha tiveram efeito inibidor na fixação biológica do nitrogênio.

OLIVEIRA & CARVALHO (1986) trabalharam com 6 cultivares de caupi e 10 (dez) níveis de fósforo, com o objetivo de determinar que nível mais influenciaria a produção de grãos. Esses pesquisadores obtiveram como resultado o intervalo compreendido entre 40 e 80 kg de P_2O_5 /ha, que influenciou cerca de 80 a 90% da produção máxima.

COUTO et alii (1981) estudaram a curva de resposta do caupi a aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio nos campos

cerrados de Roraima, com dosagens variando desde 50 kg/ha de nitrogênio, 50 kg/ha de fósforo e 20 kg/ha de potássio até 200 kg/ha de nitrogênio, 200 kg/ha de fósforo e 80 kg/ha de potássio; nas dosagens extremas a produtividade alcançada foi de 423 e 956 kg/ha respectivamente, sendo que os tratamentos onde não houve aplicação de fósforo, as plantas não produziram.

Os aspectos relacionados com o intervalo entre as irrigações foram abordadas por COUTO (1979), KEMPE et alii (1974), AL NADI (1975) citados por STONE & MOREIRA (1986). Segundo esses autores, irrigações com frequência de 7 a 10 dias, propiciaram produções elevadas. Por outro lado, RAGGI et alii (1972) citados por STONE & MOREIRA (1986), verificaram que as irrigações podem ser mais espaçadas (9 dias) na fase de crescimento vegetativo.

Visando estudar os efeitos da irrigação, da incorporação ao solo de matéria orgânica vegetal semi decomposta, da adubação química e da interação desses fatores na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), DEMATTE et alii (1974) conduziram um experimento em solo podzólico vermelho amarelo, em São Paulo. Neste estudo foram observados acréscimos na produção da ordem de 41%, 58% e 81%, devido à massa vegetal, à irrigação, e a interação entre esses fatores, respectivamente, na ausência de adubação química. Quando a adubação mineral esteve presente, a interação entre aqueles fatores foi negativa.

CAROLUS & SCHLEUSENER (1970) citados por FRIZZONE (1986) e SILVA (1978), trabalhando com a cultura do feijão, aplicaram cinco lâminas de água e dois níveis de nitrogênio, verificando uma tendência de aumento na produção quando os níveis de irrigação e adubação eram elevados e uma tendência de redução na produção com o aumento da quantidade de água aplicada naquelas parcelas com baixo nível de nitrogênio.

FRIZZONE (1986) aplicou 6 (seis) lâminas de irrigação e 6 (seis) níveis de nitrogênio na cultura do feijão (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg/ha) e constatou elevação no rendimento de grãos para todos os níveis de nitrogênio aplicados, alcançando

um rendimento máximo estimado de 2431,7 kg/ha, a um nível de 90 kg/ha de nitrogênio associado a uma lâmina de irrigação aproximada de 60 mm.

A resposta do caupi à aplicação de nitrogênio, embora tenha sido objeto de vários trabalhos, ainda apresenta controvérsias.

De acordo com a EMBRAPA, estudos mostraram que o caupi não respondeu à aplicação de nitrogênio nos primeiros anos, mas provocou aumentos de produção nos sucessivos anos de cultivo (WATT & ARAUJO, 1988).

REBOUÇAS et alii (1977) trabalhando com caupi (*Vigna sinensis* L. Savi) no município de Quixadá-Ceará, testaram cinco doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha) com aplicações uniformes de 80 kg de P_2O_5 /ha e 40 kg de K_2O /ha, não tendo a cultura respondido significativamente em termos de rendimento de grãos, contrariando resultados encontrados por PAIVA et alii (1971), nos quais o nitrogênio revelou-se como elemento determinante dos aumentos observados de produção.

Em relação ao feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), GUSS & DOBEREINER (1972) MIYASAKA et alii (1963), PONS & GOEPFERT (1972), citados por CABALLERO et alii (1985), afirmam que embora a cultura tenha alto potencial de fixação, a adubação nitrogenada é necessária por não ser suficiente o nitrogênio fixado sibiôticamente.

MONNS (1970) MENGEL & KAMPRATH (1978), citados por WATT & ARAUJO (1988), verificaram que o cálcio e o magnésio são necessários para a formação e desenvolvimento do processo de nodulação do caupi.

SILVEIRA et alii (1984), observaram que o rendimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) praticamente manteve-se constante adotando-se diferentes turnos de rega (1, 4, 7 e 10 dias) para pequenas lâminas de água (2 mm/dia). À medida que a lâmina d'água era aumentada (4 e 6 mm/dia), o rendimento decrescia linearmente com o aumento do turno de rega.

A eficiência máxima de utilização do fertilizante ni trogenado na cultura do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris L.*), foi observado por CABALLERO et alii (1985) na fase de desenvolvi- mento das vagens, tendo a adubação nitrogenada (42 kg/ha), du plicado a produção de matéria seca em relação à testemunha (0kg/ ha), efeito este semelhante ao encontrado por CUNHA et alii (1980). Entretanto, foram obtidos resultados diferentes por PESSANHA & PENTEADO (1982), em experimento conduzido no km-47 da antiga estrada Rio-São Paulo, visando identificar o efeito do nitrogê- nio, do fósforo e da calagem sobre o feijoeiro. Como resulta- do, verificaram que a aplicação de nitrogênio não provocou au- mento estatisticamente significativo no rendimento de grãos.

DANTAS et alii (1986) estudando a absorção de macro e micro nutrientes pela cultura do caupi no Estado da Paraíba, concluíram que com um stand de 40.000 plantas/ha, um hectare da cultura absorveria 130,1 kg de nitrogênio; 13,7 kg de fósfo- ro; 100,5 kg de potássio; 99,0 kg de cálcio; 17,4 kg de magné- sio; 9,5 kg de enxofre.

OLIVEIRA & DANTAS (1984) afirmam que a deficiência de fósforo contribui para um baixo número de grãos/vagens e é o elemento que mais limita a produção do caupi, enquanto o po- tássio não tem se mostrado muito influente na produção de grãos.

2.3 - Efeitos do deficit hídrico sobre o desenvolvimento e ren- dimento do caupi

O estresse hídrico tem efeitos no crescimento e desen- volvimento do caupi, pelo aumento da resistência na difusão es tomatal, provocado pela redução no potencial de turgor da fo- lha, decorrente da redução do potencial de água no solo, para quaisquer condições de luz, temperatura e nutrição (KANEMASU, citado por MILLAR & GARDNER, 1972).

O caupi, na ausência de estresse hídrico, tem a sua transpiração controlada pela luz, nutrientes e CO₂. Em presença de estresse hídrico, o potencial de água no solo e na planta são

reduzidos, diminuindo a abertura estomatal, com redução na taxa de transpiração, na absorção de CO_2 e por consequência da fotossíntese (MILLAR & GARDNER, 1972).

O fato do estresse hídrico afetar o crescimento e a produção de formas diferentes, causa dificuldades para a generalização dos efeitos do estresse na produção dos cultivos (FISCHER & HAGAN, 1965 citados por STEWART & HAGAN 1969).

A resposta da cultura ao "deficit" de água ajuda a determinar a época e quantidade de aplicação de água através de irrigação complementar em culturas de sequeiro (MAGALHÃES, MILLAR & CHOUDRY, 1979).

A seca durante o período vegetativo não afeta a produção, desde que as condições ambientais subsequentes tornem-se favoráveis. O estresse hídrico durante a floração reduz sensivelmente a produção do caupi, embora já se tenha observado a recuperação parcial da produção, uma vez retomada a irrigação, permitindo um novo fluxo de produção de flores. O estresse durante a fase de enchimento de grãos causa uma redução no número de vagens e do número de grãos/vagem (TURK et alii, 1980).

Depois do amadurecimento, o esgotamento da umidade do solo, não tem efeito sobre o rendimento. O "deficit" em um estágio de crescimento tem diferentes efeitos se comparados a um "deficit" em outro estágio.

HOSTALACIO & VÁLIO (1974) observaram a influência do fator água no crescimento e desenvolvimento do fruto do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano Precoce, evidenciando uma redução no número de botões florais 19, 30 e 5,30, à medida que passava de um regime de irrigação diária para 2 (duas) irrigações semanais e de 2 (duas) irrigações semanais para uma irrigação semanal, respectivamente.

RESENDE et alii (1981) concluíram que a transpiração durante o ciclo da cultura, foi o fator mais importante na determinação de produção do feijão em condições de estresse de água na planta. Um "deficit" hídrico em período não crítico, reduz a transpiração enquanto causa pequeno efeito na produção.

ROBINS & DOMINGO (1956) trabalhando com feijoeiro, verificaram uma redução de 20% na produção de grãos, quando ocorreu estresse por 15 dias antes da floração, 18 a 22 dias durante a floração e em torno de 15 dias antes do amadurecimento da lã vagem. O estresse ocorrido antes da floração reduziu o número de vagens por planta, enquanto o estresse durante a floração reduziu também o número de grãos por vagem. O peso dos grãos por vagem sofreu redução devido ao estresse hídrico ocorrido durante o processo de maturação.

Por outro lado, KARA et alii (1988), verificaram que um "deficit" hídrico na fase vegetativa provoca maior redução no rendimento e no número de vagens do que um "deficit" na fase de pré-floração.

ZISKA & HALL (1983) pesquisando a influência do estresse hídrico sobre a eficiência de uso de água e a produção de grãos, concluíram que pode ser alcançada uma eficiência maior no uso da água, pela suspensão da irrigação da emergência da planta até o aparecimento do primeiro botão floral, desde que haja uma certa umidade no perfil do solo e seja procedida a irrigação na fase de floração e na fase do enchimento das vagens.

Resultados semelhantes foram encontrados por SHOUSE et alii (1981), em experimento conduzido em Riverside, Califórnia. O estresse hídrico imposto na fase de floração e enchimento das vagens, provocou redução na produção de 35 a 69% dependendo da duração do tratamento seco, enquanto um "deficit" na fase vegetativa teve um efeito mínimo sobre a produção.

LABANAUSKAS et alii (1981) identificaram a influência do estresse hídrico na concentração de nitrogênio, potássio, cálcio, cobre, boro e ferro nas sementes de caupi. A concentração de nitrogênio resultou inversamente proporcional à produção de matéria seca, enquanto o fósforo, magnésio, zinco e manganês, não foram estatisticamente afetados pelas diferentes lâminas de irrigação utilizadas.

A resistência apresentada pelo caupi ao estresse hídrico na fase vegetativa sem maiores prejuízos para a produção de

grãos, parece ser devida a alguns mecanismos utilizados pela planta para reduzir a perda de água. Quando cultivado em solo com deficiência hídrica, a taxa de crescimento das folhas é reduzida enquanto o índice de abscisão dos folíolos é maior, resultando em menor área coberta pela cultura (TURK & HALL, 1980).

GARRIDO, PURCINO & LIMA (1979) desenvolveram um ensaio com feijoeiro comum, visando medir o efeito do "deficit" de umidade em determinados períodos do ciclo da cultura. Observaram que com um "deficit" imposto na germinação até o aparecimento de quatro folhas verdadeiras não houve produção, enquanto os "deficits" impostos no final na floração e no período de formação e crescimento das vagens, reduziram a produção em 42 e 58%, respectivamente, em relação à testemunha com irrigação a um nível de reposição de 60% da água disponível.

2.4 - Consumo de água pelo caupi

A aplicação de água na irrigação visando obter maiores níveis de produtividade, requer o conhecimento das necessidades de água para as culturas segundo os diversos estágios de crescimento.

As necessidades hídricas de uma cultura englobam as perdas de água por evapotranspiração, isto é, as perdas decorrentes da evaporação direta do solo e as perdas por transpiração das plantas, dada a existência de um gradiente de energia entre estes e a atmosfera, além da água retida nos tecidos.

Entretanto, o cálculo do consumo de água pelas plantas abrange principalmente a quantidade de água perdida por evapotranspiração, uma vez que a demanda de água para satisfazer as necessidades do metabolismo vegetal, é da ordem de 1% (ROSENBERG, 1974, citado por ALBÉRICO, 1979 e citado por MARCA, 1985).

Vários processos têm sido utilizados para a determinação do consumo de água pelas culturas. Entre os mais adotados estão o uso dos lisímetros, o balanço hídrico, o método de Penman, o uso do tanque classe "A", o método de medição da umidade

do solo, além do uso de fórmulas empíricas.

CASTRO NETO et alii (1980) utilizaram o método da medição de umidade do solo para estimar a evapotranspiração real.

A evapotranspiração do caupi tem sido determinada por um número reduzido de pesquisadores com uma pequena abrangência geográfica, ao contrário do feijoeiro, cuja demanda de água tem sido determinada por vários pesquisadores em diferentes locais com o uso de diversos métodos (FRIZZONE, 1986).

SAUNDERS et alii (1985), utilizando o método do balanço hídrico determinaram a evapotranspiração atual do caupi (feijão de corda) em regime pluviométrico, em um volume controlado de solo Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, nas profundidades de 0-40 cm e 0-70 cm, em Quixadá-Ceará.

A evapotranspiração média determinada foi de 3,2mm/dia, alcançando um valor máximo de 5,9 mm/dia no período da floração a frutificação e valores mínimos de 2,2 e 2,1 mm/dia no início e no final do ciclo respectivamente.

SILVA (1978) procurando identificar os efeitos da lâmina d'água e da adubação nitrogenada sobre a produção de caupi (*Vigna sinensis* L. Savi), encontrou, utilizando o balanço hídrico, um consumo médio de água de 3,7 e 3,6 mm/dia, para os níveis de 80 e 120 kg/ha de nitrogênio, respectivamente.

SAUNDERS et alii (1981) conduziram um experimento na Fazenda Experimental do Vale do Curú, em Pentecoste-Ceará, com o objetivo de determinar a evapotranspiração atual do feijão de corda irrigado, utilizando o balanço hídrico. Os valores médios encontrados para evapotranspiração atual e potencial foram de 4,5 e 4,7 mm/dia, respectivamente, com Kc médio igual a 0,96.

MARCA (1985) trabalhando com consórcio feijão-milho-algodão, no município de Pentecoste-Ceará, encontrou uma taxa de evapotranspiração atual de 6,3 mm/dia, enquanto para os estágios de desenvolvimento vegetativo, início da floração, floração/frutificação e maturação, a evapotranspiração atual foi de 5,0; 8,0; 8,1 e 6,1 mm/dia respectivamente.

SILVEIRA, FONSECA & GUIMARÃES (1981) determinaram o consumo de água pelo feijão de 3ª época irrigado por aspersão, encontrando valores de 3,4; 3,5 e 3,6 mm/dia, correspondentes aos períodos da fase de germinação ao início da floração, da floração e do desenvolvimento das vagens à maturação, respectivamente, enquanto para todo o ciclo, o valor médio foi de 3,5 mm/dia, sendo o período de floração o de maior consumo de água.

SILVEIRA & STONE (1979) determinaram as necessidades hídricas do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) através da quantificação dos componentes do balanço hídrico, relacionando-os com os dados do tanque de evaporação classe "A", objetivando obter informações para um melhor manejo do solo e da água na cultura em Latossolo Vermelho Amarelo, franco argiloso, em Goiânia-GO. A evapotranspiração média diária foi de 3,2; 3,2 e 1,7 mm de água, para os estágios da germinação ao início da floração, floração e do desenvolvimento de vagens à maturação, respectivamente.

Para a região dos Cerrados, o CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) caracterizou os valores da evapotranspiração real e Kc durante o ciclo da cultivar CNF- 0010 (Feijão roxão). Para o ciclo completo (80 dias) a evapotranspiração real foi de 363,7 mm e o Kc médio igual a 1,00, sendo a floração o período onde foi observado um maior consumo (6,0 mm/dia) e um Kc de 1,28.

GUIMARÃES et alii (1982) encontraram para o feijoeiro, em Goiânia-GO, um regime de irrigação para um "stand" de 200.000 plantas/ha, 2,2 mm/dia no período de 10 dias após a germinação, 7,0 mm/dia durante a floração e 1,6 mm/dia no período inicial da maturação.

AZEVEDO (1984) citado por FRIZZONE (1986), estimando a evapotranspiração do feijoeiro, nas condições climáticas de Piracicaba-SP, através do balanço hídrico, aplicou em 2 (duas) subparcelas os seguintes tratamentos: (N₂A₄) 30 kg/ha de nitrogênio e 417,0 mm de água; (N₄A₂) 90 kg/ha de nitrogênio e 364,0 mm de água. Os consumos médios diários no período compreendido entre 34º e o 93º dia após o plantio foram 3,2 e 3,8 mm/dia para os tratamentos N₄A₂ e N₂A₄, respectivamente.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da área do experimento

O trabalho foi conduzido na Unidade Didática de Bragança, pertencente a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará (EMATER-Pará), situada no município de Bragança, distando 220 km de Belém, a 46°46'20'' de latitude Sul e 1°5'27'' de longitude W de Greenwich, compreendendo uma área de 104,76ha.

O clima da região, de acordo com a classificação de KÖPEN, corresponde a um tipo que resulta na fórmula Ami, caracterizado como quente e úmido com deficiência hídrica (nos meses de outubro, novembro e parte de dezembro), inserida na faixa de climas megatérmicos embora com pequena concentração de eficiência térmica no verão (VIEIRA et alii, 1981).

As médias anuais de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar são 2390 mm, 25,7°C e 83,2% , respectivamente, sendo que, aproximadamente 93% das chuvas ocorrem no período de janeiro a julho.

A insolação total média anual é de 2155,1 horas sendo a evaporação média de 857,9 mm ocorrendo 60% desta no período de agosto a dezembro.

A observação das variações de precipitação, temperatura e insolação para o período de 1976 e 1985 é mostrada na TABELA 1.

O solo da área onde foi realizado o trabalho pertence à série Bragança, Grande Grupo Latossolo Amarelo, apresentando relevo plano com declives menores que 3% e também com declive pouco inclinado de 5 a 8%. Estes solos originaram-se de sedimentos quaternários, profundos, bem drenados, de textura média

TABELA 1 - Médias mensais e anuais das temperaturas, umidade relativa do ar, horas de insolação, evaporação e precipitação pluviométrica em Tracuateua - Bragança no Estado do Pará no período de 1976/1985.

Meses	Temperatura Média comp. (°C)	Umidade Relativa (%)	Insolação (h)	Evaporação (Piche) (mm)	Precipitação (mm)
Janeiro	25,9	83,2	141,7	71,9	261,1
Fevereiro	25,3	88,0	106,5	44,0	446,6
Março	25,4	88,8	104,7	43,4	454,7
Abril	25,6	89,6	110,1	39,6	399,2
Mai	25,5	89,5	146,7	44,4	278,7
Junho	25,2	86,9	177,6	58,3	212,3
Julho	25,0	86,2	201,3	57,1	162,0
Agosto	25,3	83,4	233,6	70,1	89,0
Setembro	25,8	78,1	243,7	90,4	19,7
Outubro	26,2	75,4	248,0	105,6	10,3
Novembro	26,5	74,0	240,4	117,5	4,7
Dezembro	26,7	75,8	201,0	113,8	51,9
MÉDIA	255,7	83,2	2.155,3	858,0	2.390,2

FONTE: SUDAM

e estrutura fraca com blocos subangulares. De um modo geral apresentam baixa capacidade de troca de cátions, soma de bases trocáveis e saturação de bases (AMARAL FILHO, Z.P. et alii, 1975).

As análises granulométrica e química do solo da área onde foi conduzido o experimento, foram realizadas no laboratório do Departamento de Solos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, e estão apresentadas nas TABELAS 2 e 3, respectivamente.

A curva característica e a densidade do solo foram determinadas no Laboratório de Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias do Ceará, utilizando-se a membrana de pressão e cilindros de volumes conhecidos, a partir de amostras de solo indeformadas coletadas às profundidades de 10 cm, 30 cm, 50 cm e 70 cm (FIGURAS 1, 2, 3 e 4).

3.2 - Cultura e práticas adotadas

Foi utilizada no experimento a cultura do caupi, cultivar "Manteiguinha", com sementes fornecidas pela EMATER-PARÁ.

As práticas culturais foram as mesmas usualmente adotadas pelos agricultores da região, exceto a de preparo do solo que constou de aração e gradagem.

No plantio foram utilizados 40 kg de sementes por hectare, distribuídas em número de 6 a 7 por cova, com um espaçamento de 40cm entre linhas e 30 cm entre plantas.

Quinze dias após o plantio, foram aplicadas as doses de 0,75 e 150 kg/ha de NPK (10-28-20) distribuídas ao acaso nas sub-parcelas.

Decorridos 22 dias após o plantio foi realizada uma operação de amontoa.

3.3 - Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos

TABELA 2 - Características físicas do solo na área do experimento

Profundidade (cm)	Análise Granulométrica(%)				Classificação Textural	Densidade do Solo
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila < 0,002mm		
0 - 20	46	34	13	7	Areia franca	1,70
20 - 40	39	32	15	14	Franco arenoso	1,71
40 - 60	36	28	16	20	Franco arenoso	1,69
60 - 80	36	26	12	26	Franco argilo-arenoso	1,68

TABELA 3 - Características químicas do solo da área do experimento

Profun- didade (cm)	Complexo Sortivo mE/100 g de Solo								100 S/T V %	P ppm	C %	N %	Matéria Orgânica	CE m. mhos/cm	pH
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	T							
0 - 20	0,2	0,1	0,07	0,038	0,408	1,48	0,30	2,188	19	3	0,76	0,06	1,31	0,40	4,1
20 - 40	0,2	0,1	0,02	0,033	0,353	1,42	0,30	2,073	17	5	0,44	0,03	0,76	0,29	3,9
40 - 60	0,3	0,2	0,02	0,039	0,559	1,72	0,40	2,679	21	11	0,42	0,03	0,72	0,35	3,9
60 - 80	0,2	0,1	0,01	0,027	0,337	1,65	0,35	2,337	14	1	0,39	0,04	0,67	0,24	3,9

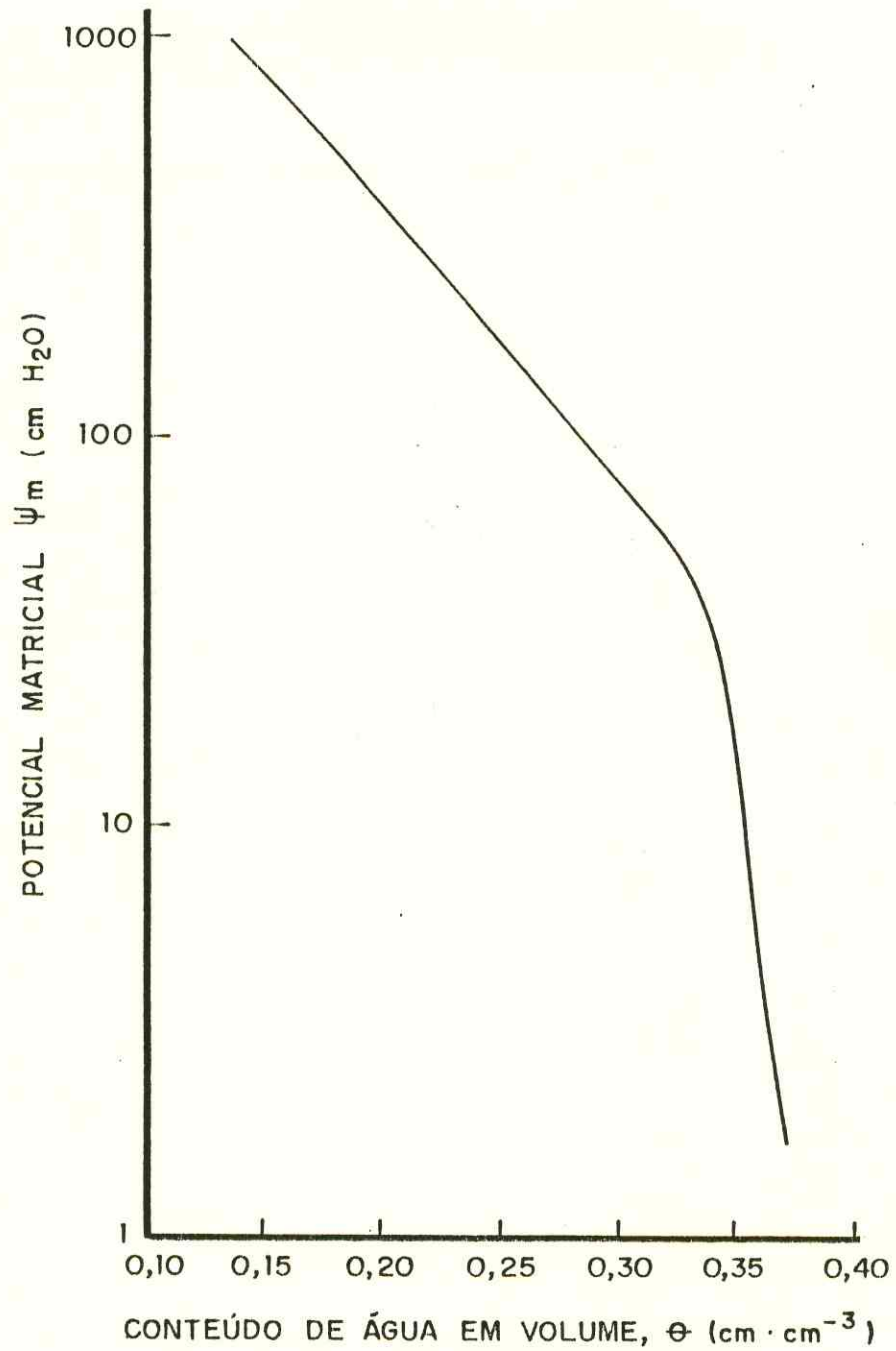


FIGURA 1 - Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança - Profundidade de 10cm.

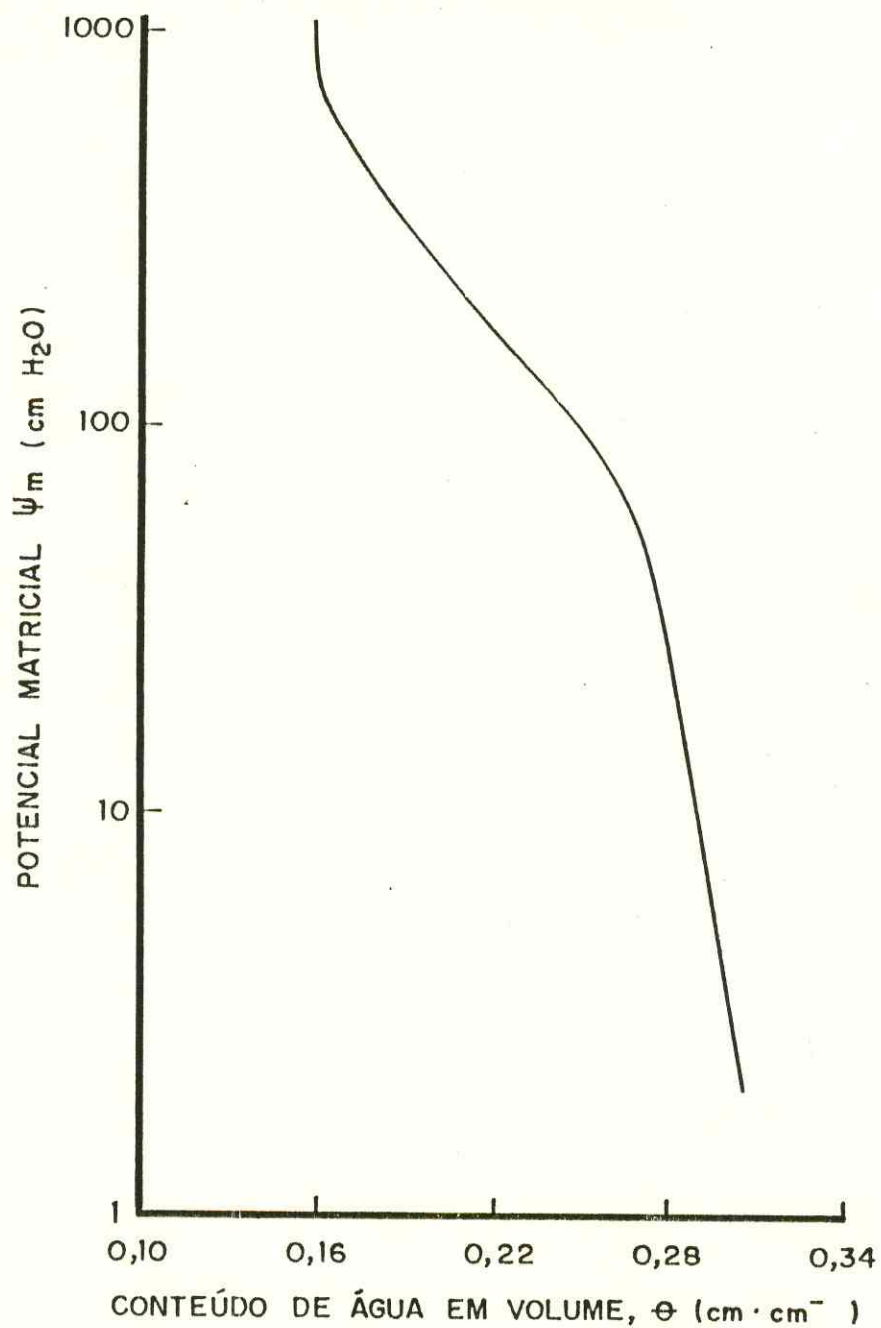


FIGURA 2 - Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança - Profundidade de 30cm.

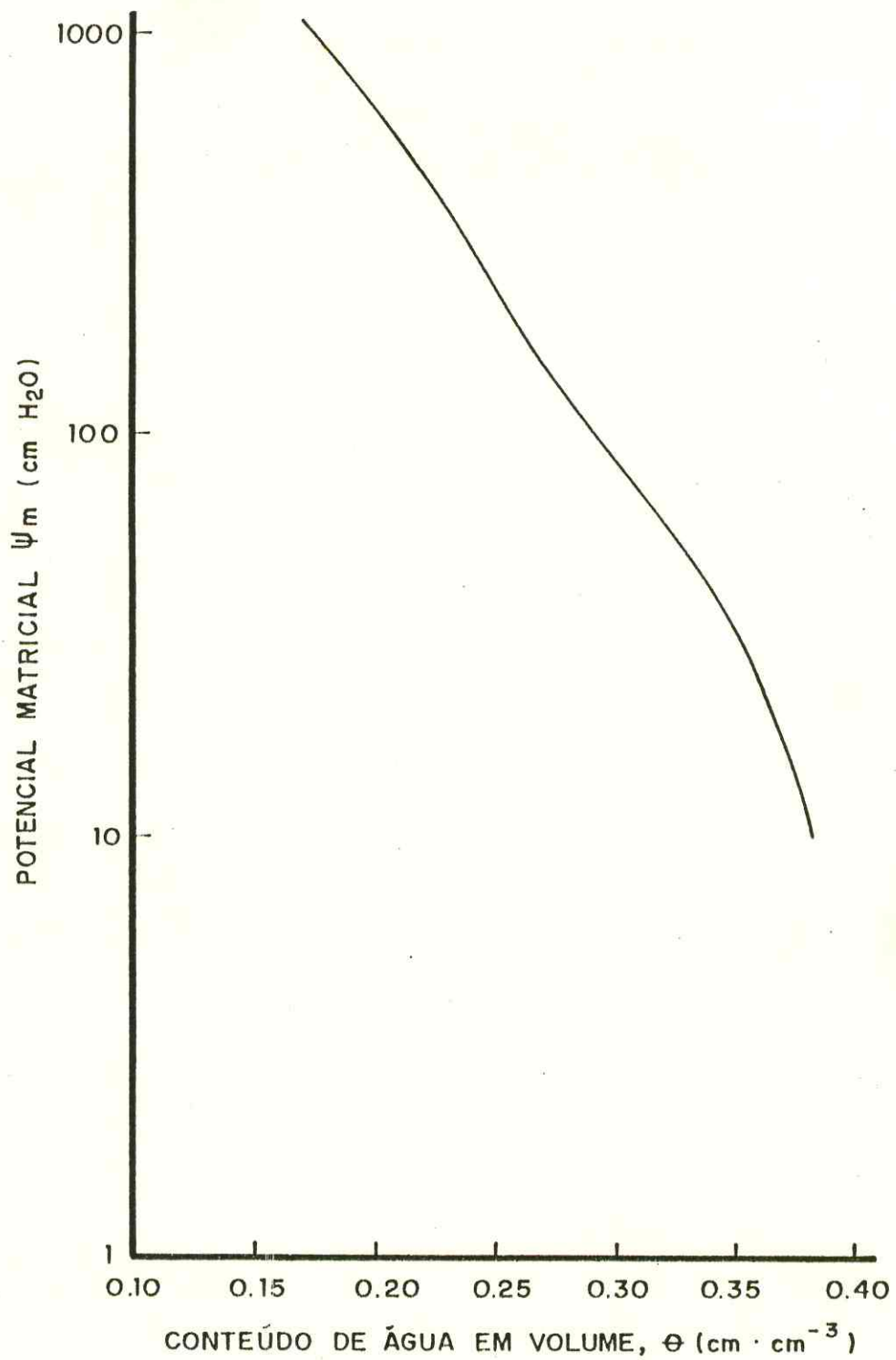


FIGURA 3 - Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança - Profundidade de 50cm.

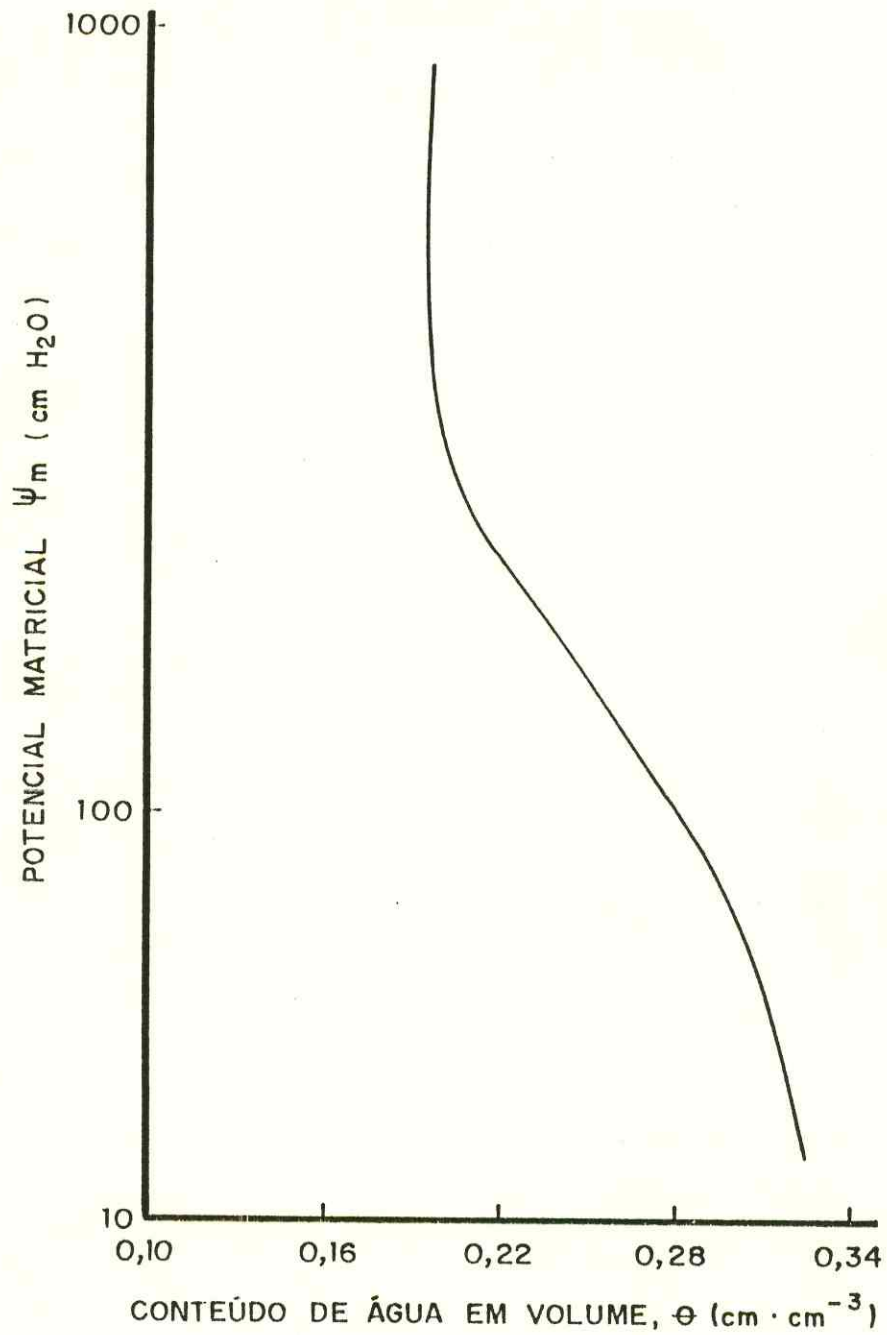


FIGURA 4 - Curva característica de um solo latossólico da Unidade Didática de Bragança - Profundidade de 70cm.

casualizados com parcelas subdivididas ("Split plot"), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de seis lâminas de água e três níveis de NPK (0,75 e 150 kg/ha da fórmula 10-28-20).

Para aplicação das lâminas de água, foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão estabelecido em linha, de acordo com a metodologia desenvolvida por HANKS et alii (1976). Este procedimento consiste em dispor aspersores ao longo de uma tubulação principal, com um espaçamento não superior a 25% do diâmetro molhado, os quais devem produzir um perfil triangular, trabalhando com ventos de baixa velocidade a uma dada pressão.

O perfil triangular obtido, permite a obtenção de lâminas d'água sucessivamente menores à medida que se afasta da linha de aspersão (FIGURA 5).

Como limitações o método apresenta: a impossibilidade de casualização das lâminas d'água aplicadas, o efeito do vento no padrão de distribuição da água, a utilização da irrigação com a mesma frequência em todas as parcelas e a possibilidade de empoçamento ou deflúvio superficial.

Como vantagens, o sistema de aspersão em linha é de baixo custo, simples de instalar e operar.

Foram utilizados 10 aspersores SAMOTO, modelo SAGRA AJ-25 de 2 (dois) bocais com 5,2x3,2 mm de diâmetro, apresentando um diâmetro molhado aproximado de 15,0 m e vazão de $2,4\text{m}^3/\text{h}$, espaçados de 6,0 m, trabalhando a uma pressão de serviço de 2,0 atm.

A vazão dos aspersores foi determinada acoplando-se 2 (duas) mangueiras de plástico aos bocais, recolhendo a água em um recipiente com capacidade para 20 (vinte) litros e cronometrando-se o tempo necessário para enche-lo.

Para a verificação da pressão de serviço, utilizou-se um manômetro adaptado a um tubo de Pitot.

A fim de se evitar a possibilidade de acumulação foram realizados testes de infiltração na área experimental, utilizando-

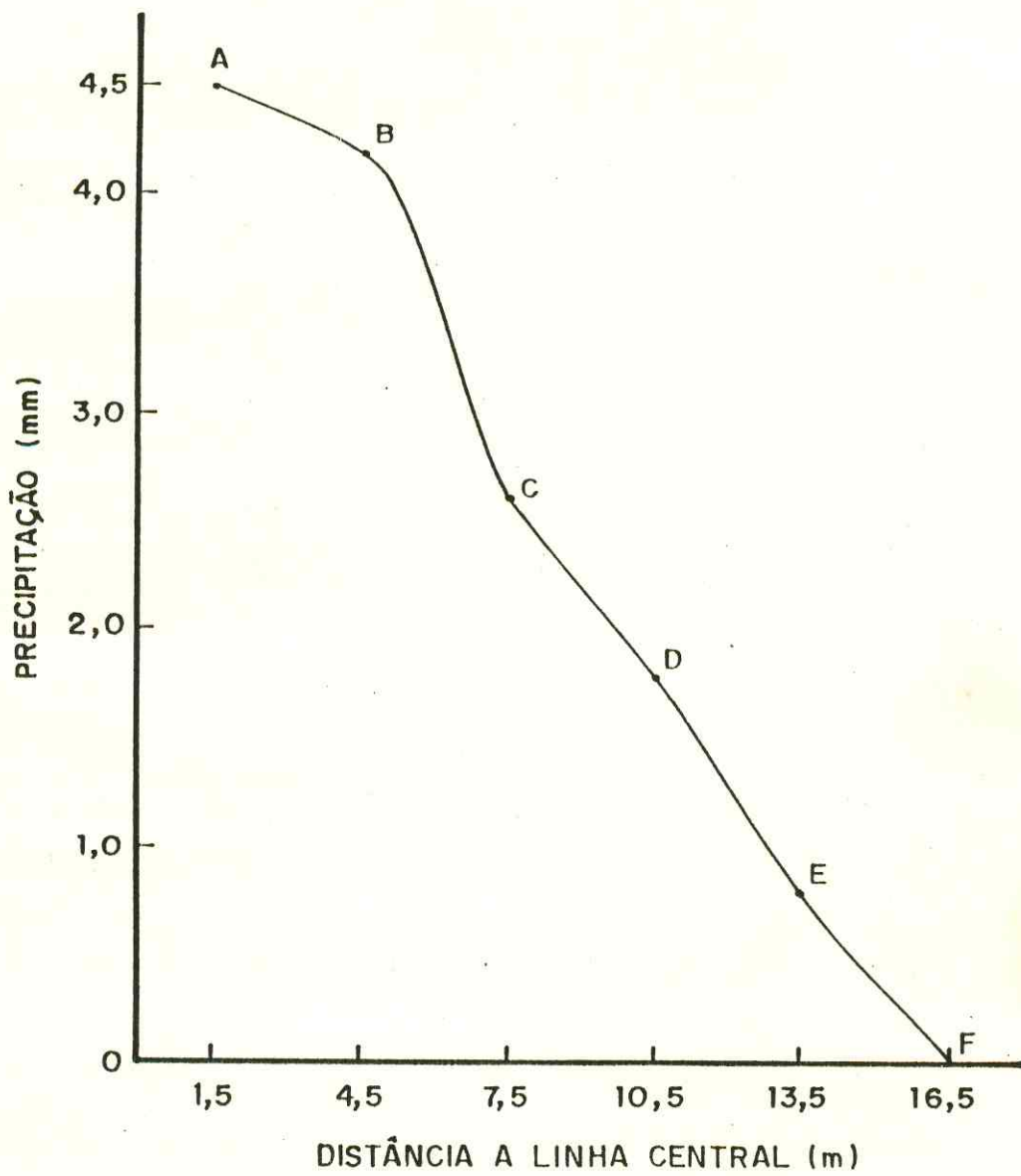


FIGURA 5 - Distribuição da precipitação do aspersor Samoto AJ-25 P2 \varnothing 5,2 x 3,2mm, teste realizado em uma hora.

se o infiltrômetro de anel, composto por 2 (dois cilindros con cêntricos, tendo-se verificado uma taxa de infiltração quatro vezes maior que a precipitação dos aspersores.

Para eliminar o efeito da velocidade do vento, que em média, foi de 4,0 m/s durante o dia, todas as irrigações foram feitas no período noturno, após as 21 horas, ocasião em que a velocidade observada do vento foi praticamente nula.

Os tamanhos das parcelas e subparcelas foram determinados em função do número de aspersores disponíveis e do raio de alcance destes, respectivamente. Desse modo, cada parcela me diu 18 m x 6 m e cada subparcela 6 m x 3 m.

A FIGURA 6, mostra a disposição dos aspersores na área experimental, destacando a subparcela controle (W_2F_2).

3.4 - Manejo e controle das irrigações

Através do teste de determinação de vazão verificou-se a insuficiência da vazão da fonte supridora de água (poço tipo amazonas) para operação simultânea dos 10 (dez) aspersores (FIGURA 7). Para o mês de setembro foi possível operar somente com 4 (quatro) aspersores de cada vez; para os meses de outubro e novembro, foram operados 3 e 2 aspersores de cada vez, respectivamente.

No dia 21 de setembro de 1988, ocorreu uma chuva de 33,1 mm, dispensando a irrigação de pré-plantio programada para facilitar a emergência e o desenvolvimento inicial da cultura. A partir daí, as irrigações passaram a ser realizadas sempre que o potencial de água no solo da subparcela W_2F_2 localizada no Bloco II atingia -0,5 atm, avaliado através da leitura diária às 09:00 horas da manhã, de tensiômetro instalado à profundidade de 10cm.

A lâmina de irrigação referencial a ser aplicada, toma da como controle, foi calculada a partir da equação:

$$W = \frac{cc - U_c}{100} \cdot d \cdot p \quad (2)$$

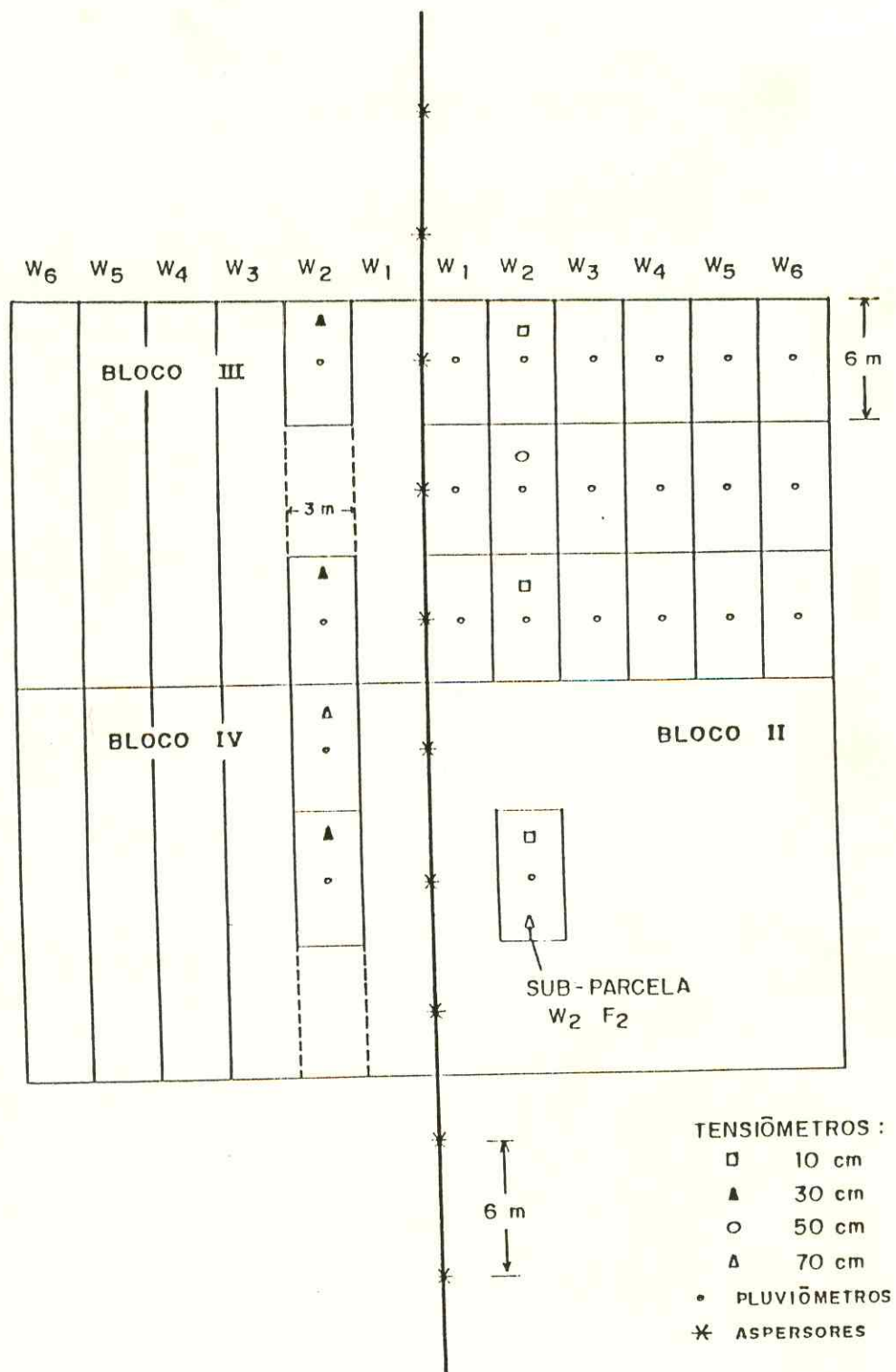


FIGURA 6 - Esquema geral do experimento.

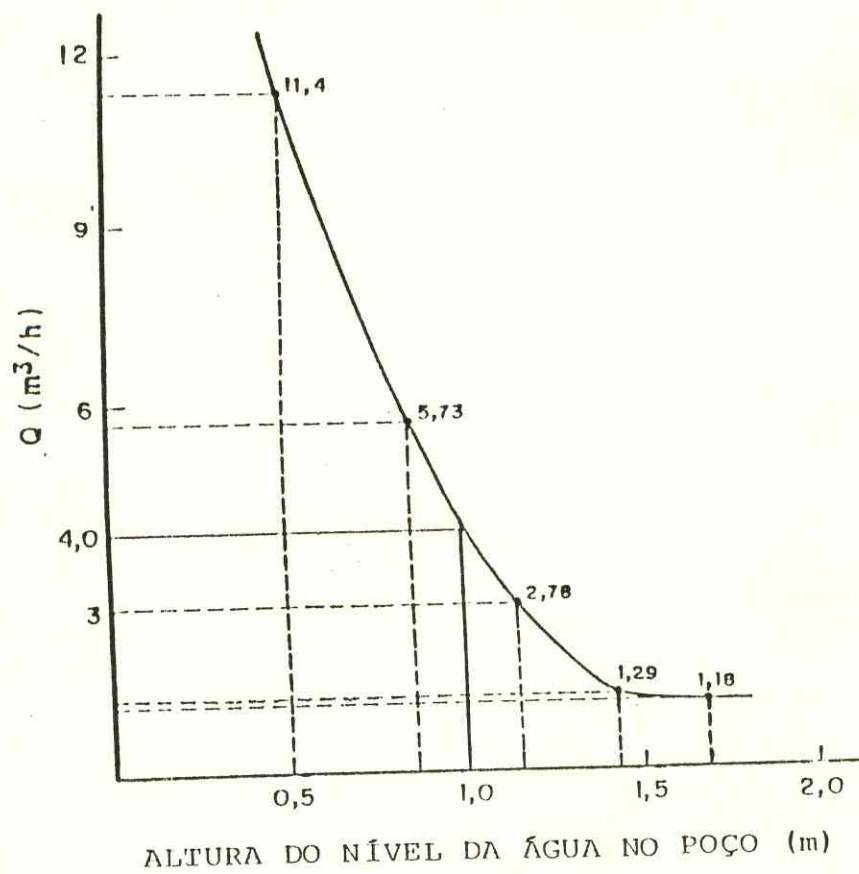


FIGURA 7 - Vazão da fonte supridora no mês de setembro de 1989
Poço tipo Amazonas.

Onde:

- cc é a capacidade de campo em % de peso;
 U_c é o teor da umidade do solo na subparcela controle quando o potencial da água no solo atingia $-0,5$ atm, em % peso;
 d é a densidade do solo na profundidade de 10 cm;
 p é a profundidade do sistema radicular, em mm; e
 W é a lâmina líquida em mm.

Para medição da lâmina d'água aplicada, foram colocados coletores em cada subparcela (72 no total), cujo conteúdo após cada irrigação era medido através de uma proveta graduada em milímetros.

Foram realizadas 8 (oito) irrigações, sendo a última em 22 de novembro de 1988, correspondendo a 10 (dez) dias antes de iniciar a colheita e tendo também como critério a mudança de coloração das vagens, ou seja, quando 50% passaram de verde a amarelo-rosado.

3.5 - Rendimento de grãos, tamanho médio da vagem, número de grãos por vagem e peso de 1.000 grãos

A determinação no rendimento de grãos foi feita para cada subparcela. Foram realizadas 3 (três) colheitas, tendo em vista a fase de maturação ter ocorrido em épocas diferentes, fato esperado pela diferença das lâminas d'água e níveis de NPK aplicados.

Após cada colheita feita manualmente, adotou-se o mesmo procedimento praticado pelos agricultores da região: as vagens foram espalhadas e deixadas a secar ao sol por um período que variou de 3 a 4 dias. Diariamente retirava-se uma amostra de cada parcela e era determinado o grau de umidade utilizando-se o determinador de umidade tipo Dole 400. Quando este atingia 13%, era então feita a pesagem em balança com precisão de 0,01 kg, após realizar a trilha manualmente.

O tamanho médio da vagem foi determinado, utilizando-se uma amostra de 100 vagens de cada subparcela, escolhidas ao acaso e fazendo-se a sua medição com régua de precisão até 0,1 cm.

Para a determinação do número de grãos por vagem, utilizou-se a amostra anterior efetivando-se a contagem dos grãos e dividindo-se o resultado por 100.

O peso de 1.000 grãos foi determinado no laboratório de sementes do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU) da EMBRAPA, em Belém, a partir das amostras retiradas de cada subparcela para determinação do número de grãos por vagem.

A verificação dos efeitos da água, do adubo e da interação água x adubo, sobre o rendimento de grãos, tamanho da vagem, número de grãos por vagem e peso de 1.000 grãos, sob o ponto de vista estatístico, foi feita através da análise de variância, conforme TABELA 4; eventuais efeitos significativos dos blocos não foram considerados, visto não ser de interesse em estudos de natureza semelhante ao presente trabalho (GOMES , 1966).

A constatação da existência de possíveis diferenças entre as médias dos tratamentos aplicados foi feita utilizando-se o teste de Tuckey.

3.6 - Eficiência de uso da água (E_u)

A eficiência de uso da água no presente trabalho, foi calculada dividindo-se o rendimento de grãos pela lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, segundo a equação:

$$E_u = \frac{Y}{W} \quad (3)$$

Onde:

Y é a produtividade em kg/ha; e

W é a lâmina total aplicada em mm.

TABELA 4 - Resumo da análise de variância

Causas da Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Blocos				
NPK				
Resíduo (a)				
Parcelas				
Água				
Água x NPK				
Resíduo (b)				
Sub-Parcelas				
TOTAL				

3.7 - Função de produção

Uma função de produção relaciona uma variável dependente (Y) com vários argumentos chamados variáveis independentes ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), segundo a relação:

$$Y = f (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (4)$$

Neste trabalho, considerou-se a água (W) e o fertilizante (X) como variáveis independentes e o rendimento de grãos (Y) tamanho da vagem (L), número de grãos por vagem (G) e o peso de 1.000 grãos ($Y_{1.000}$) como variáveis dependentes, de acordo com as equações abaixo:

$$Y = f (W, X_1/X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (5)$$

$$L = f (W, X_1/X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (6)$$

$$G = f (W, X_1/X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (7)$$

$$Y_{1.000} = f (W, X_1/X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (8)$$

Onde:

$X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$ São os demais fatores que influenciam em Y, L, G e $Y_{1.000}$, tais como espaçamento, tratos culturais, etc., que nesta pesquisa foram considerados fixos.

As equações (5), (6), (7) e (8), foram obtidas mediante análise de regressão entre as variáveis dependentes (Y, L, G, $Y_{1.000}$) e as variáveis independentes W e X. Para tal foram testados 7 (sete) modelos, sendo escolhido aquele que apresentou melhores propriedades estatísticas além de se comportarem conforme expectativas apriorísticas.

Os modelos testados foram:

$$Y = a + b_1 W + b_2 X + b_3 \sqrt{W} + b_4 \sqrt{X} + b_5 \sqrt{W} \sqrt{X} \quad (9)$$

$$Y = a + b_1 W + b_2 X + b_3 \sqrt{W} + b_4 \sqrt{X} + b_5 W.X \quad (10)$$

$$Y = a + b_1 W + b_2 X + b_3 \sqrt{W} + b_4 \sqrt{X} \quad (11)$$

$$Y = a + b_1W + b_2X - b_3W^2 - b_4X^2 + b_5 W.X \quad (12)$$

$$Y = a + b_1W + b_2X - b_3W^2 - b_4X^2 \quad (13)$$

$$Y = a + b_1W + b_2X - b_3W^{1,5} - b_4X^{1,5} + b_5 W.X \quad (14)$$

$$Y = a + b_1W + b_2X - b_3W^{1,5} - b_4X^{1,5} \quad (15)$$

Assim, como critérios de escolha do modelo, utilizou-se o coeficiente de determinação múltipla (R^2), a magnitude da estatística F de Snedecor estimada, a significância estatística dos parâmetros das equações aferida pelo teste "t", coerência dos sinais dos termos das equações e o conhecimento das relações biológicas entre os efeitos dos vários níveis de água e adubo sobre o rendimento de grãos e seus componentes.

A estimativa dos parâmetros das equações especificadas foi feita pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), partindo-se da suposição de que os termos de erros associados a cada equação atendia aos pressupostos de apresentarem distribuição normal, com média zero, variância constante e não serem auto regressivos. Maiores detalhes sobre procedimentos de estimação de parâmetros pelo método dos MQO, podem ser encontrados em PYNDICK & RUBINFELD (1981), KMENTA (1978) e JOHNSTON (1977).

3.8 - Maximização do rendimento físico e da receita líquida

A maximização do rendimento físico foi obtida a partir da função de produção $Y = f(W, X)$, satisfazendo-se às seguintes condições (ALLEN, 1965):

$$a) \quad \frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{\partial Y}{\partial X} = 0 \quad (16)$$

$$b) \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial W^2} \text{ e } \frac{\partial^2 Y}{\partial X^2} < 0 \quad (17)$$

$$c) \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial W^2} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial X^2} > \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial W \cdot \partial X} \right)^2 \quad (18)$$

Em que:

$\frac{\partial Y}{\partial W}$ é a derivada parcial da função de produção em relação à água;

$\frac{\partial Y}{\partial X}$ é a derivada parcial da função de produção em relação ao adubo;

$\frac{\partial^2 Y}{\partial W^2}$ é a derivada segunda da função de produção em relação à água; e

$\frac{\partial^2 Y}{\partial X^2}$ é a derivada segunda da função de produção em relação ao adubo.

Se em um ponto $X = a$, $X = b$, então $f(a,b)$ será um máximo da função.

A receita líquida foi definida pela equação:

$$RL = Y \cdot P_Y - (W P_W + X P_X + K) \quad (19)$$

Onde:

Y é a estimativa da produção de grãos, obtida pela equação (5), em kg/ha;

P_Y é o preço do produto em NCZ\$/kg;

W é a lâmina total de água aplicada, em mm;

P_W é o preço da água em NCZ\$/mm;

X é a quantidade da fórmula de adubação 10-28-20 aplicada em kg/ha;

P_X é o preço do adubo em NCZ\$/kg; e

K são os demais custos fixos.

Para maximizar a receita líquida é necessário satisfazer as condições de primeira ordem (HENDERSON & QUANDT, (1976):

$$a) \quad \frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{P_W}{P_Y} \quad (20)$$

$$b) \quad \frac{\partial Y}{\partial X} = \frac{P_x}{P_y} \quad (21)$$

Além dessas condições é necessário que a função de produção seja côncava ou que a derivada segunda da receita líquida em relação a W e X seja negativa.

Resolvendo o sistema com as equações (20) e (21), obteve-se os valores de W e X, que conduziram a um rendimento capaz de produzir uma receita líquida máxima.

Substituindo-se esses valores de W e X na equação (5), obteve-se o nível de rendimento economicamente ótimo.

Finalmente, substituindo-se Y, W e X na equação (19), e tendo como conhecidos P_x , P_w , P_y e K, obteve-se a receita líquida máxima possível.

No presente trabalho foram considerados os preços relativos ao mês de abril de 1989; o preço do adubo foi o vigente no mercado naquele mês; o preço da água foi calculado de acordo com a metodologia descrita no ANEXO I.

3.9 - Curvas de isoquantas ou de produto constante

As diferentes combinações de água e adubo utilizadas para obtenção de um mesmo nível de produto, foram obtidas a partir da função de produção (Equação 5), explicitando um fator (água por exemplo) em função do nível de produto escolhido e do outro fator (adubo).

Essas combinações dão origem à curvas denominadas isoquantas, isoprodutos ou curvas de produto constante, mostradas na FIGURA 8.

3.10 - Determinação das combinações de água e adubo que conduzem a um custo mínimo

A determinação de custo mínimo foi feita resolvendo-se

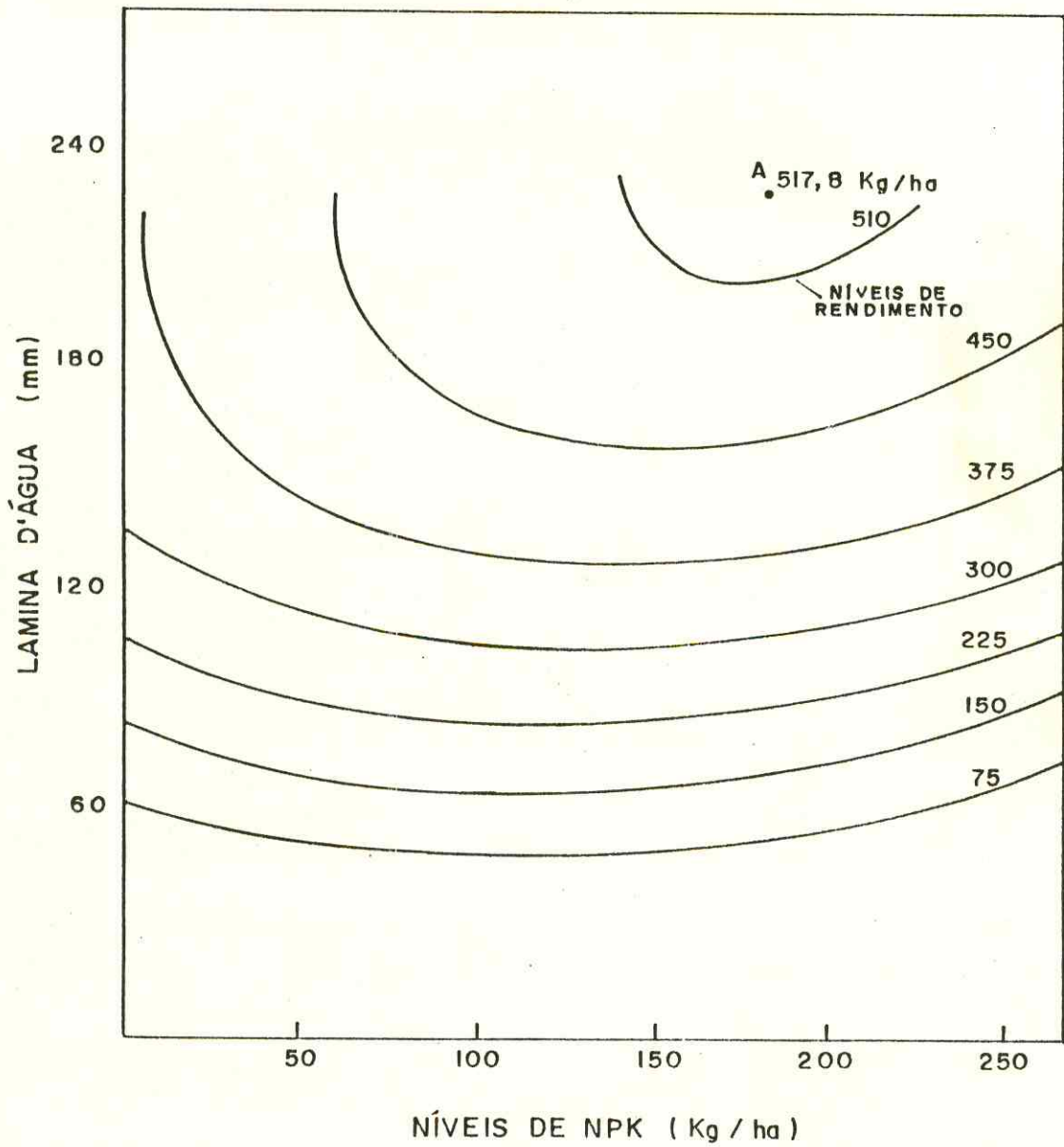


FIGURA 8 - Curvas de produto constante, isoquantas ou isoprodutos.

o sistema composto pelas equações:

$$\frac{\frac{\partial Y}{\partial X}}{\frac{\partial Y}{\partial W}} = \frac{P_X}{P_W} \quad (22)$$

e a equação (5) e substituindo-se W e X na equação de custo total (C):

$$C = WP_W + X.P_X + K \quad (23)$$

Esse procedimento equivale a minimizar (23) sujeita à restrição dada pela função de produção (5).

3.11 - Consumo de água pelo caupi

A estimativa do consumo de água pelo caupi no presente trabalho, baseou-se no teor de umidade do solo, método adequado para solos relativamente uniformes e com água subterrânea a profundidades que não influem na variação de umidade na zona radicular (ISRAELSEN & HANSEN, 1968).

A determinação do teor de umidade foi feita através da leitura de tensiômetros instalados às profundidades de 10, 30, 50 e 70 cm e das curvas características do solo a essas profundidades.

Para a definição dos períodos de cálculo, foram consideradas as leituras após 48 a 60 horas de cada irrigação e a última leitura efetuada antes da irrigação seguinte. Este procedimento foi adotado admitindo-se que no solo onde foi instalado o experimento, dada a sua característica arenosa, a drenagem interna após 48 horas da irrigação, praticamente cessa, tornando-se negligenciável, não afetando os resultados do cálculo da evapotranspiração.

Esse mesmo processo, baseado nas determinações de depleção de umidade do solo foi também utilizado por OTTONI (1986)

a partir de determinadas hipóteses a respeito da intensidade das perdas por percolação profunda.

Como nos intervalos adotados para as leituras não ocorreram precipitações nem irrigações e a componente escoamento superficial foi desprezada, a equação do balanço hídrico resultou-se em:

$$ET_a = \Delta A \quad (24)$$

Onde:

ET_a é a evapotranspiração atual; e
 ΔA é a variação do armazenamento de água no solo, a uma determinada profundidade.

As leituras dos tensiômetros foram feitas sempre às 9:00 horas, obtendo-se melhor redistribuição da umidade ocorrida durante a noite no perfil do solo (CASTRO NETO et alii, 1980).

Os dados de evapotranspiração de referência (ET_o) foram obtidos a partir dos dados de evaporação de um tanque "Classe A" (USWB), instalado na área do experimento, enquanto o coeficiente de cultivo (K_c) foi determinado através da relação:

$$K_c = \frac{ET_a}{ET_o} \quad (25)$$

Onde:

K_c é o coeficiente de cultivo;
 ET_a é a evapotranspiração atual em mm/dia; e
 ET_o é a evapotranspiração de referência em mm/dia.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Manejo e controle das irrigações

A ocorrência de uma chuva de 33,1 mm às vésperas do plantio dispensou a irrigação de pré-plantio planejada para facilitar a emergência e o desenvolvimento inicial da cultura.

Realizado o plantio em 22 de setembro de 1988, as irrigações passaram a ser controladas através de tensiômetros instalados à profundidade de 10 cm, nas subparcelas 8, 20 e 32, tomadas como controle, para as quais foi calculada a lâmina d'água a aplicar, lâmina essa estendida às subparcelas 2, 14, 26, 38, 44, 50, 56, 62 e 68.

As lâminas totais aplicadas variaram de 0 mm até 282,5mm as quais acrescidas da precipitação pluviométrica de 33,1mm ocorrida, alcançaram os valores médios de 33,1mm; 44,7mm; 110,3mm, 182,5mm; 265,5mm; e 315,6mm, correspondendo às lâminas W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 e W_6 , respectivamente.

A 1ª irrigação ocorreu 11 (onze) dias após a semeadura e a última 61 (sessenta e um) dias após a semeadura, tendo sido efetuadas 8 (oito) irrigações com intervalo médio de 7 (sete) dias.

Os maiores intervalos (11 e 9 dias) ocorreram nos períodos compreendidos entre a data do plantio até o 18º dia, enquanto que os menores intervalos (6 dias) ocorreram entre o 49º e o 61º dia após a semeadura.

A ocorrência dos maiores intervalos é explicada pela baixa exigência de água pela cultura nesses períodos (crescimento vegetativo) e a dos menores intervalos justifica-se por constituir o período de floração, formação e amadurecimento das vagens, observações semelhantes as relatadas por GUIMARÃES et

alii (1982), SAUNDERS (1985) e FRIZZONE (1986).

Além disso deve-se considerar que durante a floração e amadurecimento das vagens, ocorreu a maior demanda evaporativa de todo o ciclo da cultura (5,8 mm/dia) enquanto a menor demanda evaporativa foi observada no estágio de desenvolvimento do caupi.

4.2 - Consumo de água pelo caupi

As TABELAS 5 e 6 apresentam os valores da evaporação do tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração potencial de referência (ET_o), evapotranspiração atual (ET_a) e coeficiente de cultivo (K_c), para as profundidades de 0 a 20cm e 0 a 40 cm, respectivamente.

Os períodos de intervalo de tempo utilizados foram os mesmos observados para os intervalos de irrigações realizadas durante o experimento, com exceção do último intervalo que coincidiu com o período compreendido entre a última irrigação (22.11.88) e o início da colheita (30.11.88).

Os valores de ET_o para todos os períodos corresponderam a 0,85 ECA, uma vez que para as condições de umidade relativa do ar, da velocidade do vento e da exposição do tanque observados na área do experimento durante o ciclo da cultura, foi utilizado o mesmo coeficiente de tanque (K_p) sugerido por DOORENBOS & PRUITT (1977).

A evapotranspiração potencial de referência (ET_o) para todo o período, alcançou 361,7 mm enquanto a evapotranspiração atual foi de 305,7mm, ou seja, 4,4mm/dia, valor aproximado ao encontrado por SAUNDERS et alii (1981).

Comparando os dados de ET_a para todo o período nas TABELAS 4 e 5, verifica-se que na camada de 0 a 20cm, a ET_a representa 74,7% da ET_a para a camada de 0 a 40cm, o que está de acordo com o maior percentual de distribuição do sistema radicular na camada mais superficial, resultado semelhante ao observado por DAKER (1984) e por INFORZATO & MIYASAKA (1972), ci-

TABELA 5 - Evapotranspiração da cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na profundida de de 0 a 20cm (Bragança, Pará, 1988).

Períodos	Intervalo (dias)	ECA (mm/dia)	ET _o (*) (mm/dia)	ET _a (mm/dia)	K _c
22/9 a 3/10/88	11	5,26	4,47	1,58	0,35
3/10 a 12/10/88	9	5,37	4,56	2,88	0,63
12/10 a 19/10/88	7	6,35	5,40	3,50	0,65
19/10 a 26/10/88	7	6,29	5,35	4,23	0,79
26/10 a 2/11/88	7	7,38	6,28	4,13	0,66
2/11 a 10/11/88	8	5,76	4,85	3,68	0,76
10/11 a 16/11/88	6	7,04	5,99	4,76	0,79
16/11 a 22/11/88	6	6,99	5,94	4,54	0,76
22/11 a 30/11/88	8	6,24	5,30	2,10	0,40
22/9 a 30/11/88	69	6,18	5,25	3,31	0,63

(*) K_p = 0,85 para todos os períodos.

FONTE: Dados coletados na área do experimento.

TABELA 6 - Evapotranspiração da cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na profundida de de 0 a 40cm (Bragança, Pará, 1988).

Período	Intervalo (dias)	ECA (mm(dia))	ET _o (*) (mm/dia)	ET _a (mm/dia)	K _c
22/9 a 3/10/88	11	5,26	4,47	2,24	0,50
3/10 a 12/10/88	9	5,37	4,56	3,83	0,84
12/10 a 19/10/88	7	6,35	5,40	4,23	0,78
10/10 a 26/10/88	7	6,29	5,35	5,46	1,02
26/10 a 2/11/88	7	7,38	6,28	5,78	0,92
2/11 a 10/11/88	8	5,76	4,85	4,80	0,99
10/11 a 16/11/88	6	7,04	5,99	6,63	1,10
16/11 a 22/11/88	6	6,99	5,94	6,20	1,04
22/11 a 30/11/88	8	6,24	5,30	2,83	0,53
22/9 a 30/11/88	69	6,18	5,25	4,43	0,84

(*) $K_p = 0,85$ para os períodos

FONTE: Dados coletados na área do experimento.

tados por DEMATE et alii (1974).

Observa-se também que a ET_a elevou-se gradativamente, à medida que a cultura se desenvolvia, apresentando menores valores na fase inicial e final do ciclo, comportamento semelhante ao relatado por SAUNDERS et alii (1985), comprovando a influência do estágio de crescimento da cultura e a cobertura do solo nos valores da evapotranspiração, além, é evidente, da temperatura, precipitação, etc.

Considerando os estágios de desenvolvimento do caupi, ficou evidenciado que o período que se estendeu da floração ao amadurecimento dos grãos, constitui o estágio de maior demanda hídrica, enquanto os períodos inicial (11 dias após a semeadura) e final (9 dias antes do início da colheita), são os menos exigentes em suprimento d'água (TABELA 7).

Na FIGURA 9 estão representadas as variações diárias da ECA, ET_o e ET_a , durante o ciclo da cultura. Observa-se que a variação da ET_o em relação a ECA foi constante, uma vez que o K_p manteve-se inalterado por todo o período. A evapotranspiração atual (ET_a) sempre esteve abaixo da evapotranspiração potencial de referência (ET_o), exceção feita ao 7º e 8º períodos, época de plena floração e frutificação. Embora a ET_a do 4º período tenha se situado ligeiramente superior a ET_o , a variação ocorrida foi desprezível.

A variação do coeficiente de cultivo (K_c) durante o ciclo da cultura é mostrada na FIGURA 10. No início do estabelecimento da cultura, o K_c é pequeno, pois uma pequena fração do solo é coberta pela cultura que tem um sistema radicular pouco desenvolvido. Com o desenvolvimento da cultura, o K_c cresce, alcançando valores superiores a 1,0 no período de maior exigência hídrica (REICHARDT, 1987). No final do ciclo, após o amadurecimento dos grãos, o K_c volta a diminuir pelo fato de existir um menor consumo de água nessa fase.

TABELA 7 - Valores médios de evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração atual (ET_a) e coeficiente de cultivo (K_c) em quatro estágios do ciclo da cultura do caupi, na profundidade de 0-40cm (Bragança-Pará, 1988).

Estádio	Dias após a semeadura	ET_o (mm/dia)	ET_a (mm/dia)	K_c
. Da semeadura ao 11º dia.	0 - 11	4,47	2,24	0,50
. Do 11º dia ao início da floração.	11 - 37	5,26	4,76	0,90
. Do início da floração ao amadurecimento das vagens.	37 - 60	5,78	6,08	1,05
. Do amadurecimento das vagens ao início da colheita.	60 - 69	5,43	3,20	0,59

FONTE: Dados coletados na área do experimento

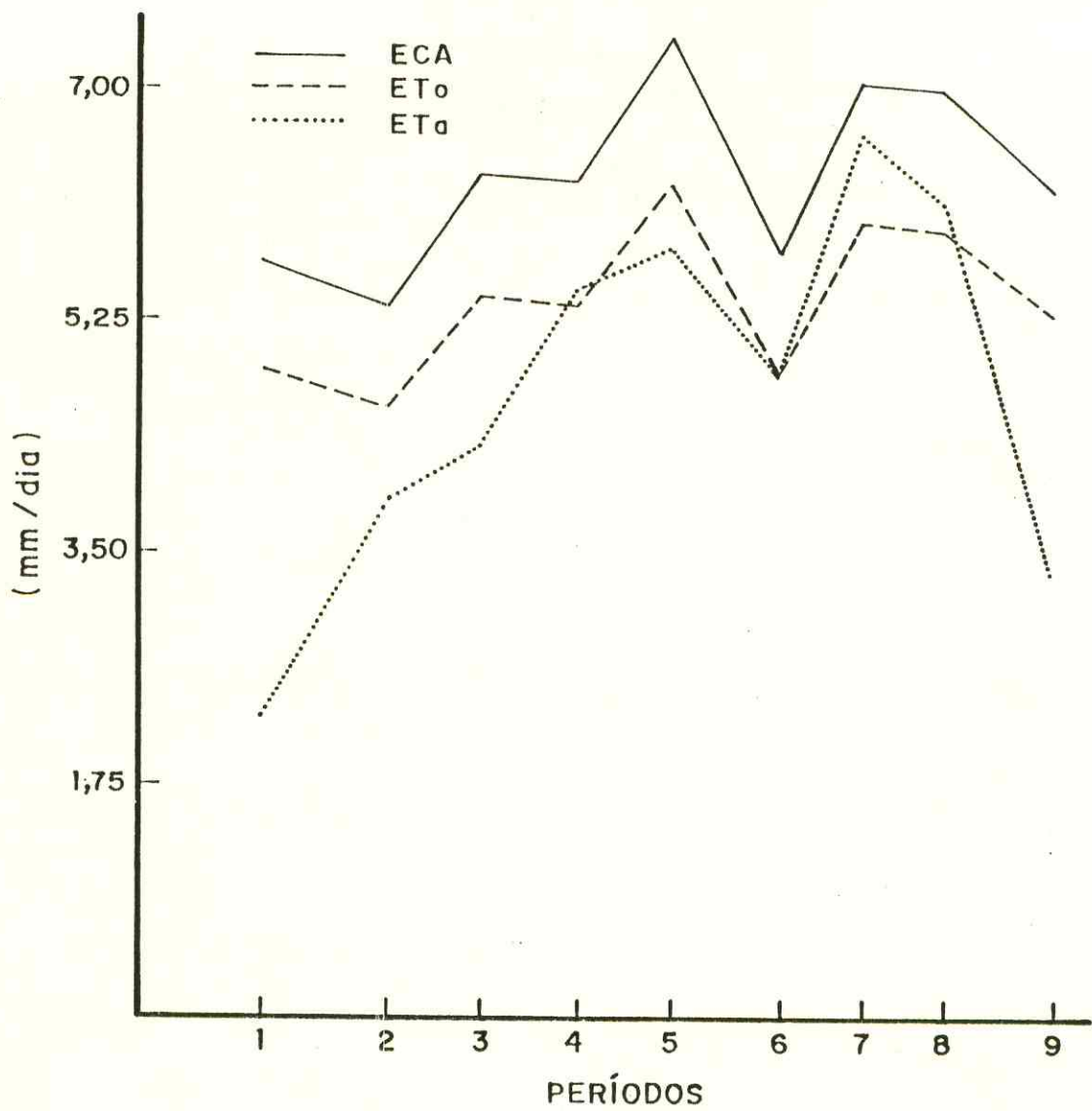


FIGURA 9 - Valores da evaporação do tanque "Classe A" (ECA), da evapotranspiração de referência (ETo), da evapotranspiração atual (ETa).

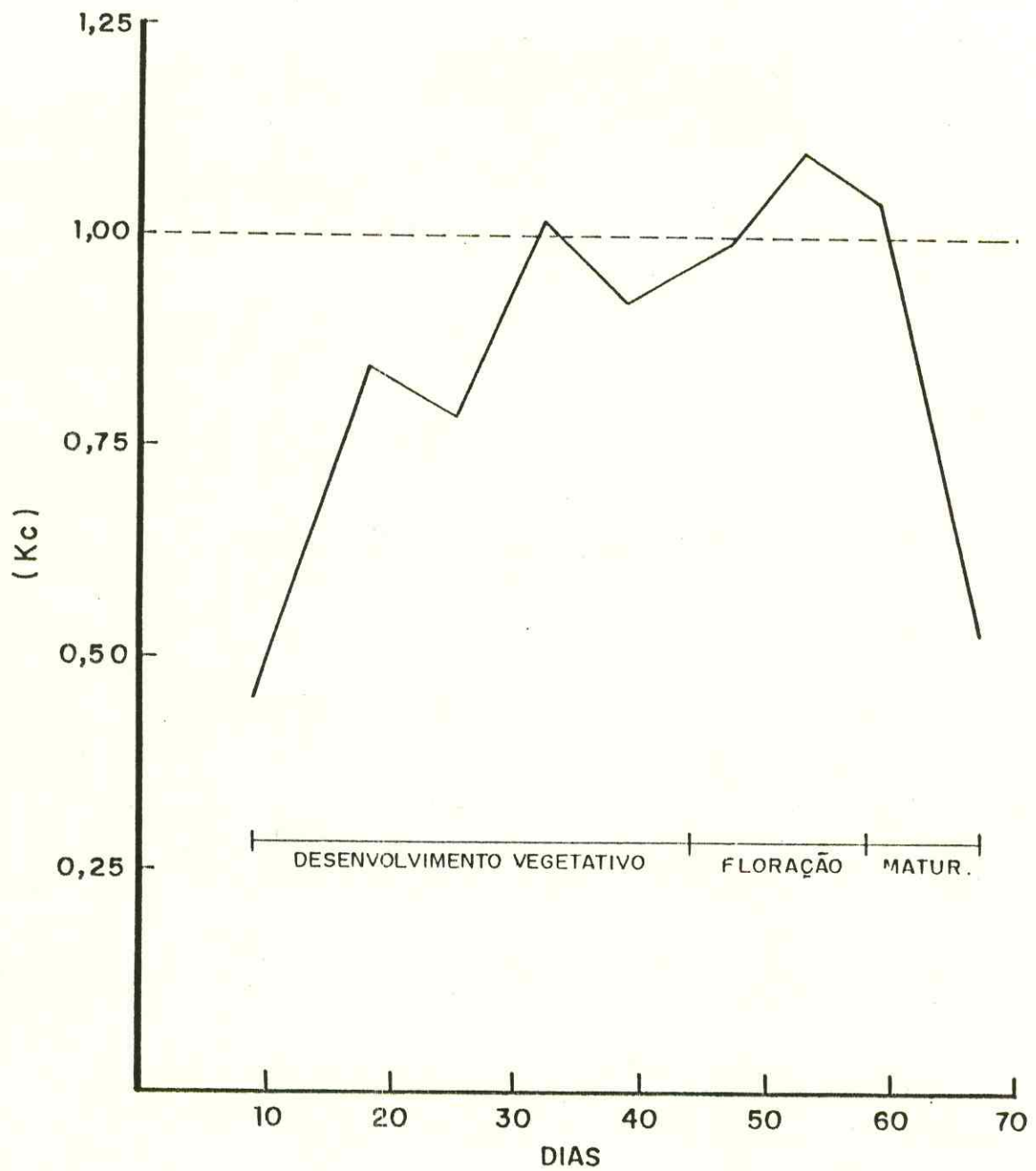


FIGURA 10 - Coeficiente de cultivo (kc) do caupi em regime de irrigação.

4.3 - Rendimento de grãos

4.3.1 - Efeito das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) sobre o rendimento físico de grãos.

Na TABELA 8 são apresentadas as médias de rendimento do caupi, obtidas em função das lâminas totais de água e da aplicação dos diversos níveis de adubação química.

Verifica-se que o tratamento (W_4X_2), equivalente à lâmina de 182,5mm e 150kg/dia de NPK proporcionou o maior rendimento (592,4kg/ha), embora as médias de rendimento obtidas com a aplicação de 182,5mm e 265,5mm não apresentem diferença significativa pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que a maior lâmina (315,6mm) proporcionou uma média de rendimento menor que as lâminas de 265,5 e 182,5mm motivado por empoçamento temporário em algumas subparcelas junto à linha de aspersão, reduzindo a porosidade livre de água; resultados semelhantes foram encontrados por ALMEIDA (1987) na condução de pesquisa da função de produção do milho irrigado da Baixada Cuiabana.

A variação do rendimento em função das lâminas totais de água apresentou o mesmo comportamento para todos os níveis de NPK, havendo uma redução brusca na produtividade do caupi de mais de 95%, quando a lâmina d'água total passa de 110,3mm para 44,7mm; a produtividade praticamente cai a zero, quando a lâmina foi de 33,1mm, proveniente da chuva ocorrida as vésperas do plantio.

Esse fato evidencia que o fator limitante na produção do caupi foi a água, não apresentando a adubação aplicada influência significativa nos níveis de produtividade do caupi, mesmo para as doses mais elevadas.

A análise de variância dos dados de produtividade de grãos revelou efeito altamente significativo, ao nível de 1% de probabilidade, para lâminas totais de água, não apresentando entretanto, efeito significativo para adubação nem interação deste fator com a água (TABELA 9).

TABELA 8 - Valores médios do rendimento (kg/ha) de grãos de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20) (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)			Médias
	0 (X ₀)	75 (X ₁)	150 (X ₂)	
315,6 (W6)	235,38	347,18	321,53	301,51 (B)
265,5 (W5)	240,28	416,40	483,62	380,10 (AB)
182,5 (W4)	327,78	454,17	592,37	458,11 (A)
110,3 (W3)	230,14	322,87	318,48	290,50 (B)
44,7 (W2)	9,72	11,25	14,31	11,76 (C)
33,1 (W1)	0,97	0,83	1,25	1,02 (C)
Médias	174,12 (a)	258,78 (b)	288,59 (b)	

FONTE: Dados obtidos do experimento de campo.

- Obs.: a) Considerando-se as médias na horizontal, os valores seguidos da mesma letra maiúscula, não diferem significativamente, ao nível de 5% pelo Teste de Tukey.
- b) Considerando-se as médias na vertical, os valores seguidos pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo Teste de Tukey.

TABELA 9 - Análise de variância do rendimento de grãos de caupi
(*Vigna unguiculata* L. Walp). (Bragança, Pará, 1988).

CAUSAS DA VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
Blocos	3	86.569,363	28.856,454	0,840 N.S.
NPK	2	169.279,645	84.639,822	2,463 N.S.
Resíduo (a)	6	206.158,558	34.359,760	
Parcelas	11	462.007,409		
Água	5	2.192.837,409	438.567,482	52,049 XX
Água x NPK	10	146.299,743	14.629.974	1,736 N.S.
Resíduo (b)	45	379.174,982	8.426,111	
Sub-parcela	60	2.718.312,134		
Total	71	3.180.319,70		

Média Geral: 240,5

Cv(a) = 77,07%

Cv(b) = 38,17%

O fato da adubação mineral não ter revelado efeito significativo pode ser atribuído às pequenas doses utilizadas no experimento, não sendo suficientes para provocar efeitos na produtividade, em comparação aos níveis adotados em outras pesquisas, cujos teores de fósforo e potássio variam de 80 a 200kg/ha e de 40 a 80kg/ha, respectivamente, (ARAUJO et alii (1984), OLIVEIRA & DANTAS (1984), VIEIRA et alii (1980), COUTO, et alii, 1981 e REBOUÇAS et alii (1977)).

Quanto à aplicação de nitrogênio, embora existam opiniões contraditórias sobre o seu efeito no rendimento de grãos, algumas pesquisas realizadas com esse nutriente, demonstraram o fato contrário; as doses utilizadas sempre foram bem mais elevadas que no presente trabalho, SILVA (1978, PAIVA et alii(1971), COUTO et alii, (1981) e FRIZZONE, (1986), este último trabalhando com feijoeiro.

Segundo WATT & ARAUJO (1988) o baixo nível de fósforo nos solos da Amazônia tem sido identificado como o mais importante fator limitante para o desenvolvimento da cultura.

A análise do solo da área do experimento na profundidade de 40cm revelou baixo teor de fósforo (5,0 ppm), médio teor de potássio (27,4 ppm) e baixo teor de Ca + Mg (0,3 meq/100mg de solo) de acordo com os critérios de classificação adotados por OLIVEIRA & DANTAS (1984).

Como rendimento médio, a produtividade do cultivar Manteiguinha, situou-se muito abaixo dos níveis alcançados em experimentos realizados com caupi em outras regiões do Brasil.

Entretanto, em relação a resultados encontrados no Pará e outros estados da Região Norte, pode-se dizer que os rendimentos médios obtidos no presente trabalho são perfeitamente aceitáveis; considerando o Estado do Pará como um todo, a produtividade média do caupi, cv. Manteiguinha, caiu de 682 para 535 kg/ha, no período de 1970 a 1985 (WATT & ARAUJO, 1988).

A atuação do fósforo como elemento limitante à produção de caupi, foi também observada por COUTO et alii (1982), estudando a curva de resposta do caupi à aplicação de nitrogênio ,

fósforo e potássio nos campos cerrados de Roraima. As dosagens variaram desde 50kg/ha de nitrogênio e fósforo e 20kg/ha de potássio até 200kg/ha de nitrogênio e fósforo e 80kg/ha de potássio; nestas dosagens extremas a produtividade alcançada foi de 523 e 956kg/ha, respectivamente, sendo que nos tratamentos onde não houve aplicação de fósforo as plantas não produziram.

As produtividades médias de grãos de caupi em função das lâminas totais de água aplicadas, estão apresentadas na FIGURA 11, evidenciando que a irrigação provocou aumento no rendimento de grãos numa relação quadrática.

Uma equação de regressão foi ajustada para os rendimentos médios em função das lâminas totais sendo:

$$Y = -210,707 + 6,20895W - 0,0146429W^2 \quad (26)$$

segundo essa relação o rendimento máximo será alcançado com a aplicação de uma lâmina d'água de 212,0mm.

4.3.2 - Superfície de resposta

Para definir a função de produção (Y) que estima os rendimentos de grãos em função das variáveis lâminas d'água (W) e adubação mineral (X), foram testados 7 (sete) modelos matemáticos que tem se mostrado adequados em estudos anteriores realizados no Brasil e no mundo HEXEM & HEADY (1978) & HEADY & DILLON, (1961); a escolha do modelo que melhor representasse a função $Y = f(W, X)$ baseou-se na análise do coeficiente de determinação r^2 , teste F para análise de variância, teste t para os coeficientes das variáveis e a coerência dos sinais das variáveis incluídas nos modelos (TABELA 10).

Dentre as especificações testadas, a que melhor se ajustou às evidências obtidas na pesquisa foi o modelo quadrático, segundo a equação:

$$Y = -229,1145 + 5,90665W + 0,85492X - 0,0146W^2 - 0,00488X^2 + 0,004033W.X$$

(t=10,537) (t=1,107) (t=9,484) (t=1,067) (t=2,165)

(27)

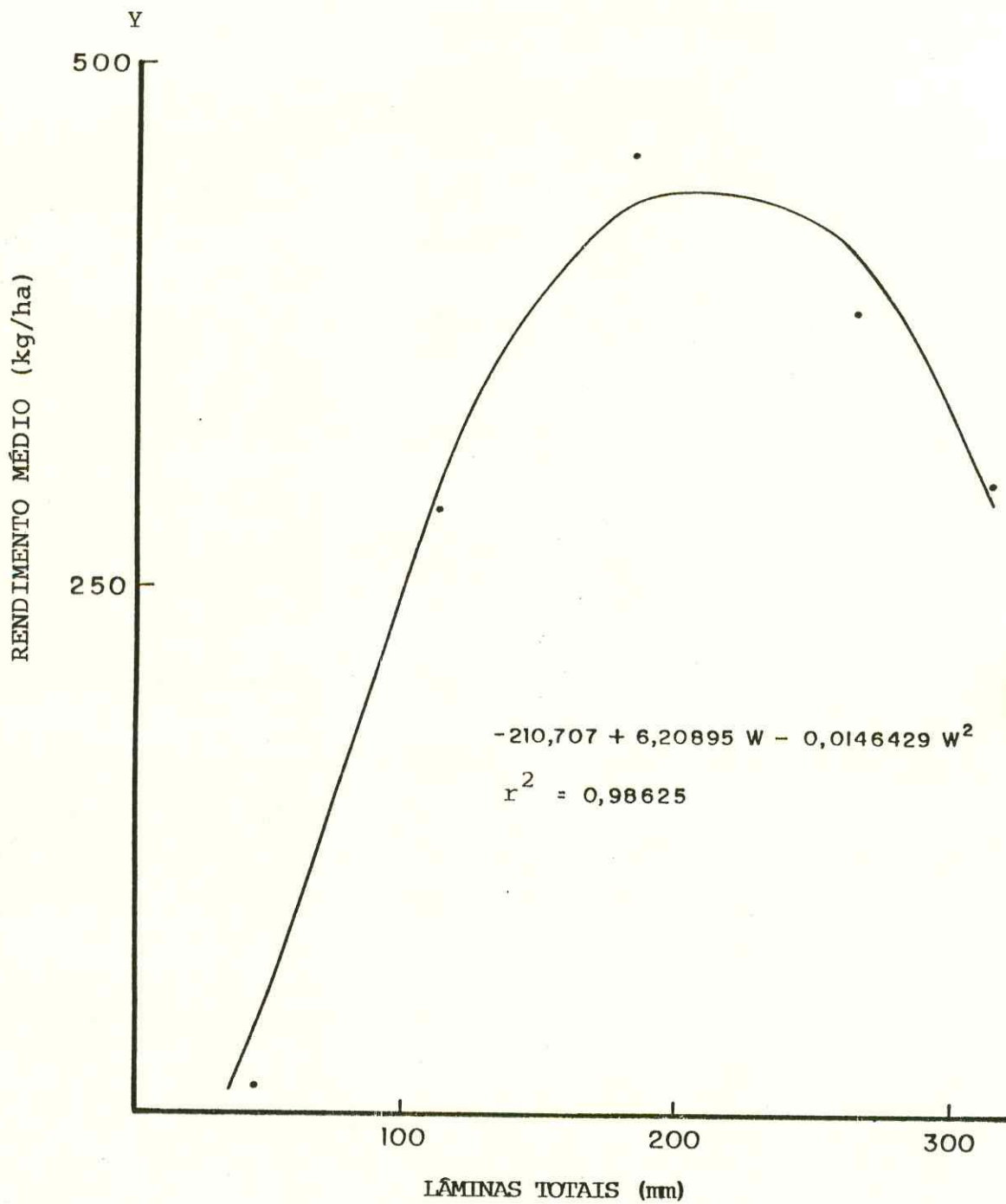


FIGURA 11 - Curva de rendimento médio de grãos em função das lâminas totais.

TABELA 10 - Análise de regressão múltipla dos rendimentos de grãos (Y) obtidos sob diferentes lâminas de irrigação (W) e diferentes níveis de NPK(10-28-20) (X), para os 7 (sete) modelos testados. (Bragança, Pará, 1988).

Modelos	Teste "t"					r	r ²	r ² ajustado	erro padrão	F
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅					
(9)	6,502 (***)	0,122 N.S.	7,284 (***)	0,347 N.S.	2,193 (**)	0,9652	0,9317	0,9032	59,753	32,728
(10)	6,369 (***)	0,688 N.S.	7,386 (***)	0,871 N.S.	1,767 (*)	0,9613	0,9240	0,8924	63,006	29,195
(11)	5,718 (***)	0,105 N.S.	6,849 (***)	0,807 N.S.	-	0,9509	0,9043	0,8748	67,951	30,705
(12)	10,537 (***)	1,107 N.S.	9,484 (***)	1,067 N.S.	2,165 (**)	0,9744	0,9494	0,9283	51,417	45,043
(13)	10,10 (***)	1,849 (*)	8,278 (***)	0,942 N.S.	-	0,9642	0,9207	0,9080	58,252	42,953
(14)	9,871 (***)	1,094 N.S.	9,113 (***)	1,041 N.S.	2,111	0,9730	0,9468	0,9246	52,723	42,721
(15)	9,126 (***)	1,469 N.S.	8,100 (***)	0,925 N.S.	-	0,9628	0,9270	0,9046	59,320	41,304

(*) Significativo ao nível de 10% de probabilidade.
 (**) Significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 (***) Significativo ao nível de 1% de probabilidade.
 N.S. Não significativo.

Onde:

- Y é o rendimento de grãos em kg/ha;
- W é a lâmina total de água aplicada, em mm; e
- X é o nível de NPK aplicado, em kg/ha.

A análise da variância da regressão (TABELA 11) mostrou um efeito altamente significativo para o modelo ajustado ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F; os resultados do teste "t" para os parâmetros da equação evidenciaram efeitos altamente significativos para as variáveis W, W^2 e W.X, o mesmo não ocorrendo com os parâmetros das variáveis X e X^2 , tendo estas sido mantidas na equação por ter alcançado valores maiores que 1.0 através do teste "t", além do fato da interação W.X ter se mostrado significativa, ao nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se que na análise de variância da TABELA 9, a variável W.X não se revelou estatisticamente significativa, enquanto que estudando-se as relações entre Y e X; Y e W; e Y e W.X, através de regressão, há significação estatística da interação água "versus" adubo, como variável influente no rendimento de grãos. Este fato sugere que a análise de regressão constitui um instrumental analítico mais poderoso na seleção de variáveis que devem ser incluídas no modelo.

O coeficiente de regressão associado à variável W.X significa uma variação de 0,004033 unidades de Y, quando, o produto entre as quantidades de W e X variam de uma unidade, sendo tudo mais constante.

O valor do coeficiente de determinação $r^2=0,9283$ indica um bom ajustamento de modelo, podendo ser descrito como a proporção estimada da variância de Y que pode ser atribuída ao modelo matemático ajustado (SNEDECOR & COCHRAN, 1981).

A representação gráfica da função de produção obtida encontra-se na FIGURA 12, alcançando o rendimento de grãos um máximo de 517,8kg/ha, com aplicação de uma lâmina d'água de 226,66mm e 181,39kg/ha da fórmula de adubação 10-28-20.

TABELA 11 - Valores estimados para os parâmetros da superfície de resposta do caupi à lâmina total de água e adubação química (NPK). (Bragança, Pará, 1988).

VARIÁVEIS	COEFICIENTE ESTIMADO	DESVIO PADRÃO	ESTATÍSTICA "t"
W	5,90665 (***)	0,56056	10,537
W ²	-0,01464 (***)	0,00156	9,484
X	0,85492 (N.S.)	0,77232	1,107
X ²	-0,004880 (N.S.)	0,00457	1,067
W.X	0,004033 (**)	0,00186	2,165
CONSTANTE	-229,11450	-	-

$$R^2 = 0,9283 \quad F_{5,12} = 45,043$$

FONTE: Valores estimados a partir dos resultados experimentais.

- (**) - indica significativamente diferente de zero ao nível de 5% de probabilidade.
- (***) - indica significativamente diferente de zero ao nível de 1% de probabilidade.
- (N.S.) - indica não significativamente diferente de zero aos níveis usuais.

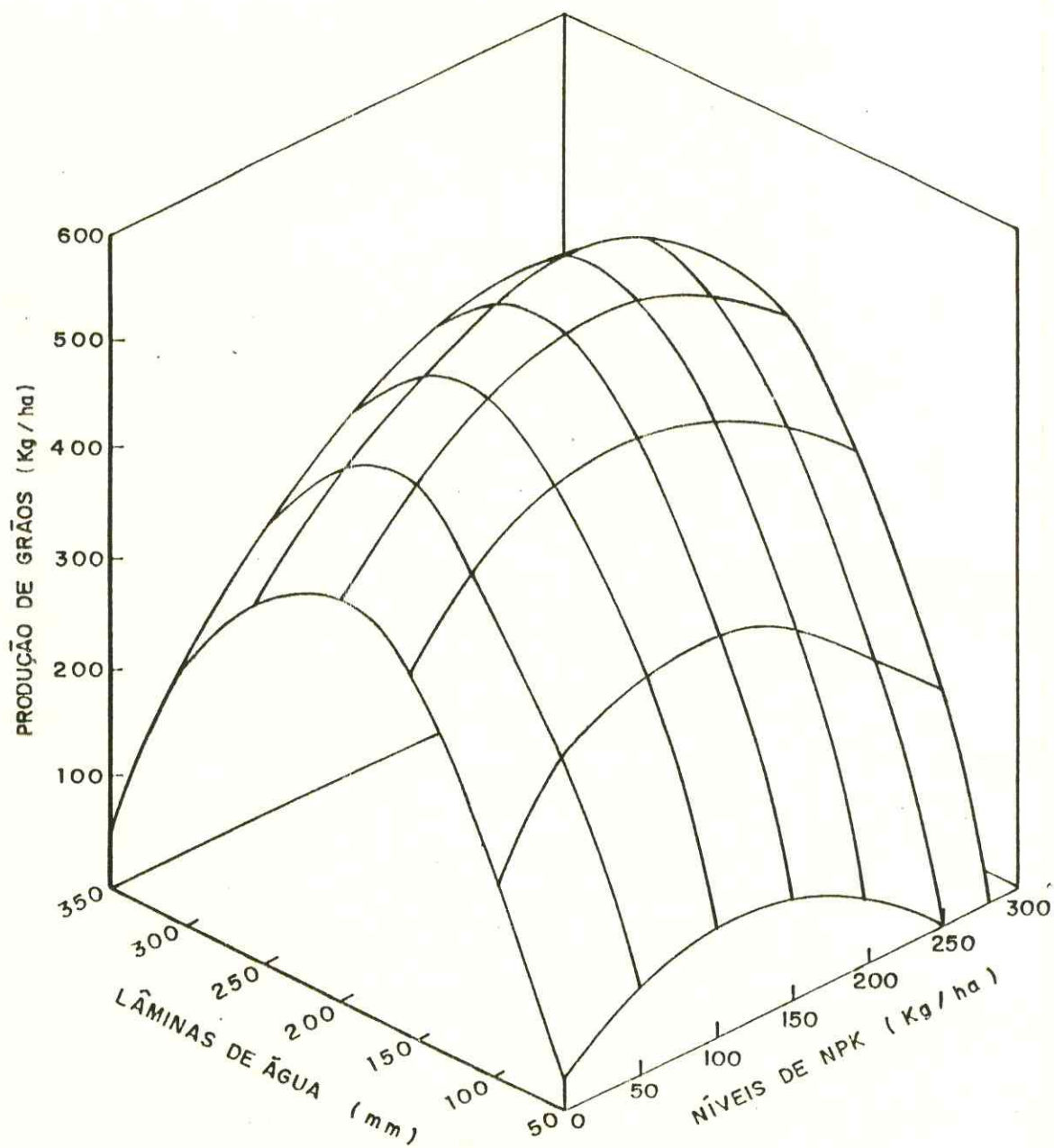


FIGURA 12 - Produção de grãos em função da aplicação de água e adubação.

A análise da variação de declividade das linhas de superfície da água e NPK, demonstra a existência de uma grande influência das diferentes lâminas d'água sobre os níveis de rendimento, para um mesmo nível de NPK, enquanto as dosagens de NPK apresentam efeitos bastantes modestos, para uma mesma lâmina aplicada.

Considerando as variáveis que apresentaram significância estatística, encontra-se em ordem decrescente de impacto sobre a função as variáveis W , W^2 e $W.X$, provavelmente decorrente da aplicação de NPK em níveis insuficientes para que seus efeitos pudessem se manifestar no rendimento de grãos.

Os rendimentos médios de grãos em função da água para cada nível de NPK aplicado, são apresentados na FIGURA 13.

O máximo de rendimento obtido é diretamente proporcional aos níveis de NPK utilizados, alcançando 366,66; 470,64; e 523,47 kg/ha de grãos para os níveis de 0,75; e 150 kg/ha de NPK (10-28-20), respectivamente, reforçando o argumento de que a adubação não foi utilizada em doses que pudessem provocar efeitos na maximização do rendimento físico de grãos; além disso constata-se que o aumento nos rendimentos máximos, à medida que se aumentava a dose de NPK (10-28-20), ocorreu a taxas decrescentes. Para qualquer nível de lâmina d'água, a distância vertical entre as curvas, representa a produção adicional obtida pela aplicação de 75kg/ha adicionais de NPK (10-28-20).

4.3.2.1 - Produtividades físicas marginais

A TABELA 12 mostra os produtos físicos marginais da água em cada nível de NPK, para as diversas lâminas totais aplicadas. Verifica-se para todos os níveis de NPK, o máximo rendimento é alcançado quando a lâmina total se situa entre 182,5 e 265,5mm, uma vez que o produto físico marginal passa de positivo a negativo, assumindo um valor zero nesse intervalo.

De fato, considerando-se os níveis de 0; 75; e 150kg/ha de NPK, a aplicação das lâminas de 201,73; 212,82; e 223,91mm,

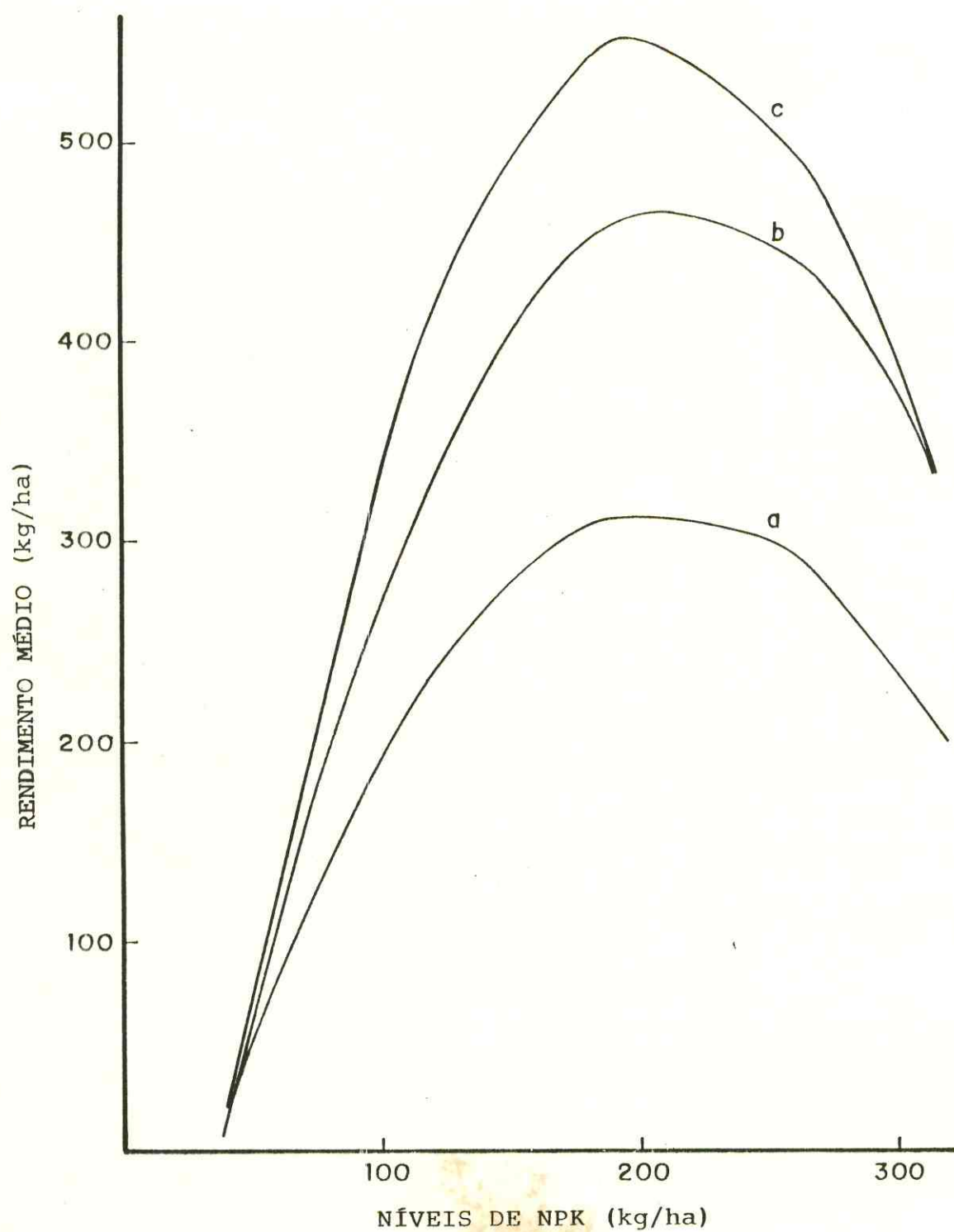


FIGURA 13 - Curva de rendimento médio de grãos em função das lâminas totais de água nos três níveis de NPK (10-28-20).

TABELA 12 - Produtos físicos marginais da água em cada nível de NPK, para as diversas lâminas totais de água. (Bragança, Pará, 1988).

lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)		
	0 (X_0)	75 (X_1)	150 (X_2)
315,6 (W6)	-3,33	-3,10	-2,68
265,5 (W5)	-1,87	-1,54	-1,22
182,5 (W4)	0,56	0,89	1,21
110,3 (W3)	2,68	3,00	3,33
44,7 (W2)	4,60	4,92	5,24
33,1 (W1)	4,94	5,26	5,59

FONTE: Dados coletadas na área experimental.

conduzem ao rendimento máximo em cada nível de NPK, respectivamente.

Na TABELA 13 estão os produtos físicos marginais de NPK (10-28-20) em cada lâmina aplicada, para as diversas doses de adubo químico. Verifica-se que o rendimento físico máximo para as lâminas de 315,6; 265,5; e 182,5mm só é alcançado quando a aplicação de NPK (10-28-20) extrapola os limites dos níveis aplicados no experimento (227,6; 205,38; e 168,56 kg/ha, respectivamente); já para as menores lâminas, a aplicação de NPK (10-28-20) que proporciona as maiores produtividades, se situa entre 75 e 150 kg/ha. Isso demonstra que adubação química não deve ser usada em níveis elevados, na ausência de água ou com pequenas lâminas de irrigação.

Os produtos físicos marginais da água e de NPK são apresentados na TABELA 14.

Verifica-se que do ponto de vista da água, a lâmina que conduz a um maior rendimento físico, situa-se entre 182,5 e 265,5mm, enquanto em relação ao NPK, a dosagem que proporciona a mais alta produtividade está acima de 150kg/ha. Para lâminas menores, 110,3mm por exemplo, melhores rendimentos são alcançados com menores dosagens de NPK (entre 75 e 150kg/ha), evidenciando que o efeito de um dos fatores na produtividade de grãos, de uma certa forma está relacionado com o efeito do outro fator.

4.3.2.2 - Curvas de produto constante e taxa marginal de substituição

A superfície de resposta apresentada na FIGURA 12 pode ser plotada em um gráfico de 2 (duas) dimensões, obtendo-se as denominadas curvas de isoproducto, isoquantas ou curvas de produto constante (FIGURA 14).

A curva de produto constante da FIGURA 14, representa as diferentes combinações de lâminas d'água e quantidades de NPK que podem ser utilizadas para a obtenção de iguais ren-

TABELA 13 - Produtos físicos marginais de NPK (10-28-20) em cada lâmina total de água aplicada para os diversos níveis de NPK. (Bragança, Pará, 1988)

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)		
	0 (X_0)	75 (X_1)	150 (X_2)
315,6 (W6)	0	1,49	0,76
265,5 (W5)	0	1,27	0,54
182,5 (W4)	0	0,91	0,18
110,3 (W3)	0	0,60	-0,13
44,7 (W2)	0	0,32	-0,42
33,1 (W1)	0	0,27	-0,46

FONTE: Dados coletados na área experimental.

TABELA 14 - Produtos físicos marginais de água e do NPK(10-28-20) (Valor entre parênteses) para as diferentes lâminas totais de água e doses de NPK. (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)		
	0 (X_0)	75 (X_1)	150 (X_2)
315,6 (W6)	-3,34 (2,13)	-3,03 (1,40)	-2,73 (0,66)
265,5 (W5)	-1,87 (1,92)	-1,57 (1,19)	-1,26 (0,46)
182,5 (W4)	0,56 (1,59)	0,86 (0,86)	1,17 (0,14)
110,3 (W3)	2,68 (1,30)	2,98 (0,57)	3,28 (-0,16)
44,7 (W2)	4,60 (1,04)	4,90 (0,30)	5,20 (-0,43)
33,1 (W1)	4,94 (0,99)	5,24 (0,26)	5,54 (-0,47)

FONTE: Dados coletados na área experimental.

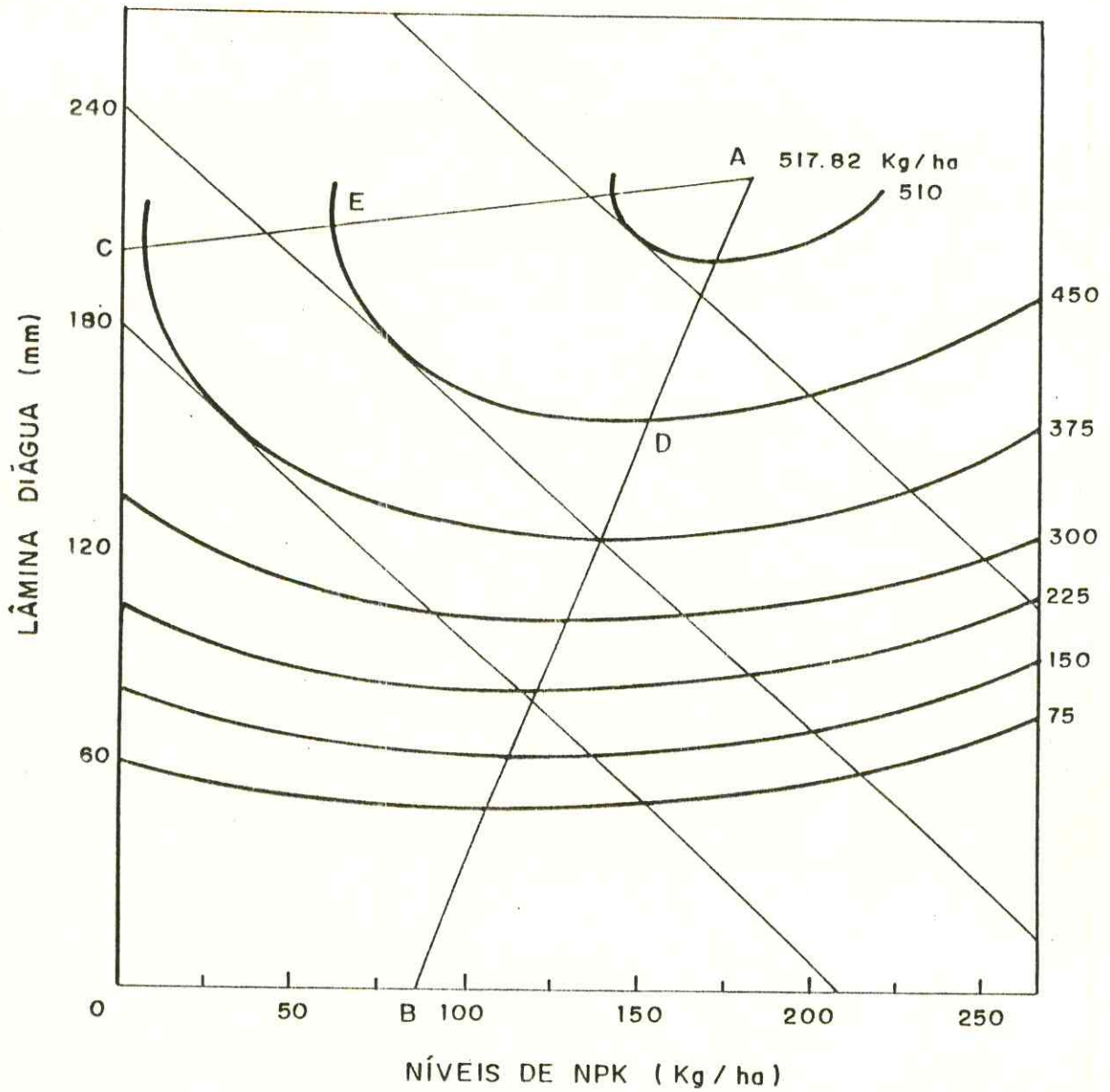


FIGURA 14 - Curvas de isoproduto, linhas de cume e combinações de custo mínimo para alguns e NPK (10-28-20), para relação de preços.

$$\frac{P_x}{P_w} = \frac{0,440}{0,514} = 0,856$$

dimentos de grãos de caupi.

Maiores rendimentos são representados por isoquantas mais altas, até alcançar uma única combinação de água e adubo que proporcionará o maior rendimento possível. No caso do presente trabalho, essa combinação foi de 226,66m de água e 181,39kg/ha de NPK (10-28-20) para uma produtividade máxima de 517,8kg/ha de caupi.

As curvas de isoproduto, são convexas à origem dos eixos, nunca se interceptam e se inclinam para baixo e para direita com exceção dos segmentos situados do lado de fora das linhas AB e AC.

A convexidade de uma isoquanta à origem provem do fato de que, embora os recursos possam ser substitutos técnicos entre si, não são substitutos perfeitos (LEFTWICH, 1976). Quanto mais água e menos NPK for usado para a obtenção da produção de caupi, mais difícil se torna substituir adubo por água. A quantidade em que diminui o emprego de adubo quando se aumenta 1,0mm de água, mantida fixa a produção, chama-se taxa marginal de substituição entre adubo e água, de acordo com a relação.

$$TNS_{x/w} = \frac{\partial X}{\partial W} \quad (28)$$

A taxa marginal de substituição de água por adubo, corresponde à declividade em cada ponto da curva de produto constante da FIGURA 14.

Analisando a TABELA 15, percebe-se que o valor da taxa marginal de substituição de água por adubo, diminui à medida que aumenta a quantidade de adubo e diminui a quantidade de água, confirmando que a substituição se torna mais difícil quando X aumenta e W diminui; observa-se também que à medida que cresce o nível do rendimento Y, um menor número de combinações é possível para a obtenção de um mesmo nível de rendimento.

Os elementos nutritivos constantes na mistura NPK (10-28-20) se combinam com a água participando da formação da solução do solo sendo absorvidas pelo caupi em proporções que

TABELA 15 - Taxas marginais de substituição de água por adubo, para níveis pré-fixados de rendimento de grãos. (Bragança, Pará, 1988).

X (kg/ha)	Y=75kg/ha		Y=150kg/ha		Y=225kg/ha		Y=300kg/ha		Y=375kg/ha		Y=450kg/ha		Y=510kg/ha	
	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS	W (mm)	TMS
0	60,59	-0,27	80,09	-0,33	103,38	-0,44	134,29	-0,71	-	-	-	-	-	-
25	54,93	-0,19	73,07	-0,23	94,15	-0,30	120,31	-0,44	159,60	-0,94	-	-	-	-
50	51,03	-0,12	68,22	-0,16	87,84	-0,20	111,34	-0,29	142,75	-0,49	-	-	-	-
75	48,65	-0,07	65,16	-0,09	83,78	-0,12	105,61	-0,18	133,28	-0,29	179,18	-0,88	-	-
100	47,64	-0,01	63,67	0,03	81,60	-0,05	102,34	-0,09	127,86	-0,15	164,94	-0,37	-	-
125	47,89	+0,03	63,59	+0,02	81,06	-0,01	101,10	-0,01	125,33	-0,05	158,62	-0,16	-	-
150	49,33	+0,08	64,83	+0,08	82,03	+0,07	101,65	+0,06	125,16	+0,04	156,59	-0,01	207,36	-0,52
175	51,92	+0,13	67,33	+0,12	84,42	+0,12	103,87	+0,12	127,09	+0,11	157,82	+0,11	202,97	+0,05
200	55,64	+0,17	71,08	+0,17	88,20	+0,18	107,71	+0,18	131,02	+0,20	161,97	+0,22	208,59	+0,42
225	60,49	+0,22	76,07	+0,22	93,38	+0,24	113,18	+0,25	136,98	+0,28	169,15	+0,35	-	-
250	66,52	+0,26	82,36	+0,28	100,03	+0,30	120,36	+0,32	145,14	+0,37	179,96	+0,52	-	-

FONTE: Dados coletados na área experimental.

obedecem a um processo biológico assumindo um caráter de substitutibilidade entre água e adubo, dentro de certos limites, que se ultrapassados conduzem a alterações fisiológicas, reduzindo o rendimento de grãos.

Além desses limites, o processo biológico de absorção de água e adubo, passa a apresentar um caráter de complementariedade, fazendo com que o aumento da quantidade de um fator, implique no aumento na quantidade do outro fator.

Considerando o nível de rendimentos igual a 300 kg/ha, verifica-se que aumentando a quantidade de NPK, até 125 kg/ha, a taxa marginal de substituição é negativa indicando que um aumento na quantidade de fertilizante implica na redução da lâmina de água aplicada.

A partir daí para que seja mantido o nível de rendimento de 300 kg/ha, à medida que são usadas maiores quantidades de adubo são necessárias também maiores quantidades de água, comportando-se os fatores como complementares.

4.3.2.3 - Região de produção racional

Consideremos o nível de rendimento na FIGURA 14 igual a 450 kg/ha. Para a obtenção desse nível a quantidade mínima de água necessária será de 157,0mm, coincidindo com o ponto D em que o nível de adubo usado é de 152 kg/ha de NPK (10-28-20) e a inclinação da isoquanta é nula; a água foi substituída pelo adubo até onde foi possível e no ponto D a produtividade marginal do adubo é nula, ou seja, prosseguindo a substituição, a produtividade marginal do adubo se torna negativa e o rendimento cairá; de outro lado, se se deseja manter o nível de rendimento em 450 kg/ha, será necessária uma lâmina maior que 157,0mm e uma quantidade de NPK (10-28-20) maior que 152,0kg/ha, incorrendo em maiores custos, passando a lâmina d'água de 156,6 para 157,8mm e a quantidade de NPK (10-28-20) de 150 para 175kg/ha (TABELA 15).

A linha AB que liga os pontos em que as isoquantas tem inclinação nula, é chamada linha de fronteira (LEFTWICH, 1976), isto é, qualquer combinação de água e adubo situado à sua direita, é irracional; também determina as menores lâminas de água que devem ser usadas para a obtenção de um determinado rendimento.

Ainda considerando o nível de produtividade de 450kg/ha, a quantidade mínima de adubo necessário para sua obtenção é 60 kg/ha, coincidindo com o ponto E, em que a lâmina d'água correspondente é 210mm e a inclinação da isoquanta é infinita; o adubo foi substituído pela água até onde foi possível e no ponto E a produtividade marginal da água é nula, ou seja, prosseguindo a substituição, a produtividade marginal da água torna-se negativa e o rendimento cairá; de outro lado, se se deseja manter o nível de produtividade em 450kg/ha, será necessária uma quantidade de adubo maior que 60kg/ha e uma lâmina d'água maior que 210mm, incorrendo em maiores custos.

A linha AC é a linha de fronteira que liga os pontos em que as isoquantas tem inclinação infinita, isto é, qualquer combinação de água e adubo situada a sua esquerda é irracional; também determina as menores quantidades de adubo que devem ser usadas para a obtenção de um determinado rendimento.

Todas as combinações racionais de água e adubo devem se situar na região compreendida entre as linhas de fronteira AB e AC, chamada portanto de região de produção racional. Na TABELA 16 são apresentadas as combinações de água e adubo na região de produção racional para os diversos níveis de rendimento.

4.3.2.4 - Curvas de isocusto e combinação de custo mínimo

Uma vez delimitada a região de produção racional, interessa saber quanto se deve gastar com água e adubo para se atingir determinado nível de rendimento físico (que pode ser o

TABELA 16 - Quantidades de água e adubo que delimitam a região de produção racional. (Bragança, Pará, 1988).

Lâmina d'água e níveis de NPK	Níveis de rendimento (kg/ha)						
	75	150	225	300	375	450	510
NPK (kg/ha)	107,34	113,9	121,2	129,5	139,3	152,4	171,6
W (mm)	183,9	187,7	191,9	196,7	202,4	209,9	221,0

FONTE: Dados coletados na área experimental.

máximo) a um custo mínimo possível.

Uma mesma disponibilidade de recursos financeiros, pode ser gasta com diferentes lâminas de água e diferentes quantidades de adubo.

A essas diversas combinações possíveis de fatores que podem ser adquiridas com um determinado dispêndio, dá-se a denominação de isocusto, representada por uma reta semelhante a da FIGURA 15, onde na abcissa medem-se as quantidades de adubo e na ordenada o volume d'água.

Se todos os recursos fossem gastos com adubo, poder-se-ia adquirir OA quilogramas de NPK; se fosse usado apenas água, poder-se-ia adquirir de OB milímetros de água.

Fundamentalmente, na atividade agrícola, do ponto de vista do produtor, duas questões devem ser solucionadas:

- a) qual o menor custo que se pode ter para obter determinado nível de produção; e
- b) qual o rendimento máximo (ou nível de produção) que se pode atingir com uma determinada disponibilidade fixa de recursos a ser gasto com aquisição dos fatores.

No caso do presente estudo a primeira questão, se resume em minimizar:

$$C = W.P_w + X.P_x + K \quad (29)$$

Onde:

- C é o custo total, em NCZ\$;
- P_w é o preço unitário da água (W), em NCZ\$/mm;
- P_x é o preço unitário do adubo (X), em NCZ\$/kg; e
- K são os custos fixos.

sujeita à restrição dada pela função de produção, conforme a equação (5).

Já foi visto que a taxa marginal, de substituição de água por adubo (TMS), corresponde à inclinação, em cada ponto da curva de produto constante (FIGURA 14). A inclinação da cur

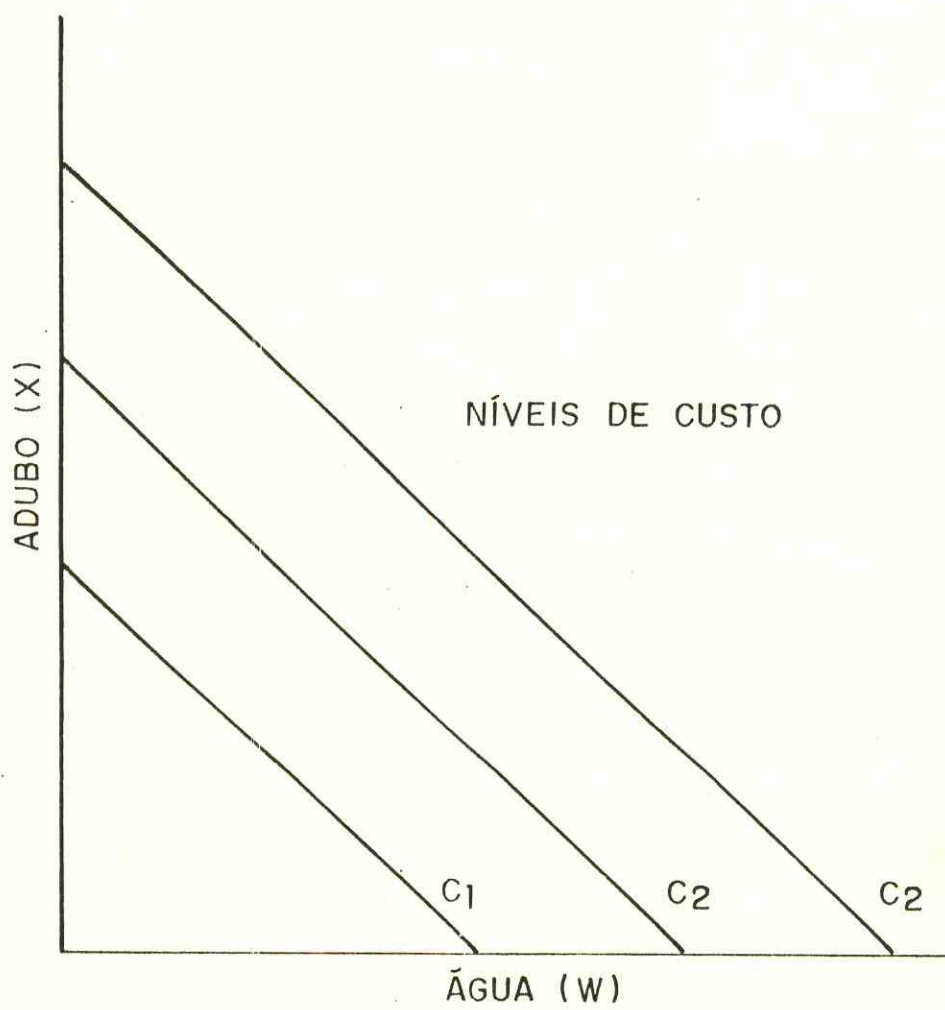


FIGURA 15 - Representação de uma reta de isocusto.

va de isocusto, na FIGURA 15 é:

$$\frac{OA}{OB} = \frac{C-K}{Pw} + \frac{C-K}{Px} = \frac{C-K}{Pw} \times \frac{Px}{C-K} = \frac{Px}{Pw} \quad (30)$$

Observando-se a FIGURA 14, verifica-se que o custo mínimo dispendido com água (W) e adubo (X) para se obter um nível de produção (Y), corresponde ao ponto onde a reta de isocusto tangência a isoquanta, tendo, portanto, inclinações iguais nesse ponto.

Logo podemos escrever:

$$TMS_{w/x} = \frac{OA}{OB} = \frac{Px}{Pw} \quad (31)$$

Pelas equações (5) e (31), pode-se determinar W e X. Substituindo esses valores em (29), obtém-se o custo mínimo a ser dispendido para atingir um nível de rendimento Y.

A equação geral de isocusto pode-se deduzir de (29), explicitando $W = f(x)$, obtendo-se:

$$W = \frac{C-K}{Pw} - \frac{Px}{Pw} \cdot X \quad (32)$$

Em que $\frac{Px}{Pw}$ é a declividade da reta e

$\frac{C-K}{Pw}$ é o intercepto

No presente trabalho, foram considerados os preços relativos do mês de abril de 1989; o preço do adubo (Px) no mercado vigente foi de NCZ\$ 0,44/kg; o preço da água (Pw) calculado segundo a metodologia constante do Anexo I, foi de NCZ\$ 0,514/mm aplicado e o preço do produto (Py) foi de NCZ\$ 1,00/kg de grãos de caupi, vendido na propriedade. Os demais custos fixos somaram NCZ\$ 217,00/ha.

Na FIGURA 14 e na TABELA 17 estão representadas as com

TABELA 17 - Valores de água e adubo que proporcionam combinações de custo mínimo, nos diferentes níveis de rendimento para uma relação de preços $P_w/P_x = 0,514/0,44$. (Bragança, Pará, 1988).

Lâmina d'água e NPK	Níveis de rendimento (kg/ha)		
	375	450	510
W (mm)	157,0	178,7	210,0
NPK (kg/ha)	27,9	75,6	146,0

FONTE: Dados coletados na área experimental.

binações de água e adubo de menor custo para os níveis de rendimentos iguais a 375; 450; e 510kg/ha, para uma relação de preços igual a $\frac{P_w}{P_y} = 1,168$.

Tomando na FIGURA 14 o nível de rendimento $Y = 450$ kg/ha, por exemplo, o ponto de tangência da reta de isocusto e a isoquanta correspondente, tem coordenadas W e X iguais a 178,7mm e 75,6kg/ha, respectivamente.

A segunda questão se resume em maximizar $Y = f(W, X)$, na forma da equação (5) para uma dada disponibilidade de recursos $C-K$, sujeito a restrição de custos na forma da equação (29).

As equações (31) e (32) permitem determinar W e X . Substituindo esses valores em (5) obtem-se o rendimento (Y) correspondente.

No caso do presente trabalho, admitindo-se uma disponibilidade de, por exemplo NCZ\$ 160,00 para ser gasto com água e adubo, encontra-se um valor para a água de $W = 202,2$ mm e para o NPK (10-28-20), 127,4 kg/ha, alcançando uma produtividade máxima de 500kg/ha de grãos de caupi.

4.3.2.5 - Determinação do nível de produção de caupi que maximiza a receita líquida.

Quando não há restrições de disponibilidade de recursos para gastar com água e adubo e nem de mercado, a questão é maximizar a receita líquida sujeita à restrição da função de produção, na forma da equação (5).

As quantidades de água e adubo que maximizam a receita líquida foram obtidas igualando-se as derivadas parciais da função de produção em relação a água e ao adubo à relação P_w/P_y e P_x/P_y , respectivamente, conforme as equações:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = 5,90665 - 0,02928W + 0,004033X = \frac{P_w}{P_y} \quad (33)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = 9,85492 - 0,00976W + 0,004033X = \frac{P_x}{P_y} \quad (34)$$

No caso da presente pesquisa a maximização da receita líquida é alcançada quando se aplica 201,5mm de lâmina d'água total e 125,85kg/ha de NPK (10-28-20). Com estas dosagens o nível de rendimento de grãos do caupi alcança 499,12kg/ha, com uma receita líquida máxima de NCZ\$ 123,20/ha.

4.4 - Peso médio de 1.000 grãos

A TABELA 18 apresenta o peso médio de 1.000 grãos em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK(10-28-20).

O tratamento equivalente à lâmina de 110,3mm e 150kg/ha de NPK, proporcionou o peso médio máximo de 1.000 grãos(72,22 g) embora as médias de peso de 1.000 grãos alcançados com a aplicação de 182,5 e 110,3mm não apresentem diferenças estatisticamente significativamente, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Analisando a TABELA 18 verifica-se que para uma mesma dose de NPK, o peso médio de 1.000 grãos aumenta quando se reduz a lâmina d'água, resultado semelhante ao encontrado por AZEVEDO(1984), citado por FRIZZONE(1986) e contrário ao encontrado por FRIZZONE(1986).

O resumo da análise de variância TABELA 19 revelou efeito altamente significativo pelo teste **F**, ao nível de 5% de probabilidade, para as lâminas totais, enquanto para NPK e interação água e NPK não houve efeito significativo. A média geral foi de 41,78g/1.000 grãos, muito abaixo de 80g/1.000 grãos, citado por ARAUJO et alii(1984).

A análise de regressão para peso médio de 1.000 grãos, ajustou um polinômio tipo raiz quadrada com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,8617 e um valor de **F** igual a 111,64, segundo a equação:

$$Y_{1.000} = -137,5409 - 1,04664W - 0,04808X + 29,32839\sqrt{W} + 0,69048\sqrt{X} \quad (35)$$

(t=12,424) (t=0,530) (t=14,704) (t=0,639)

Considerando os dados de NPK (10-28-20) iguais a 0; 75; e 150kg/ha, os pesos médio máximos alcançados foram 67,9; 70,3; e

TABELA 18 - Peso médio de 1.000 grãos (g) em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20). (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)			Médias
	0 (X ₀)	75 (X ₁)	150 (X ₂)	
315,6 (W6)	55,48	53,55	60,00	56,34 (b)
265,5 (W5)	56,85	55,30	60,52	57,56 (b)
182,5 (W4)	61,78	62,25	61,95	61,99 (ab)
110,3 (W3)	69,82	68,68	72,22	70,24 (a)
44,7 (W2)	-	-	-	4,52 (c)
33,1 (W1)	-	-	-	-
Médias	40,65	44,22	42,45	

FONTE: Dados coletados na área experimental.

Obs.: Considerando-se as médias na horizontal, os valores seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

TABELA 19 - Análise de variância do peso de 1.000 grãos de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). (Bragança, Pará, 1988).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Blocos	3	479,790	159,93	1,709 N.S.
NPK	2	45,945	22,972	0,245 N.S.
Resíduo (a)	6	561,485	93,580	
Parcela	11	1.087,022		
Água	5	57.756,981	11.551,390	259.000 xxx
Água x NPK	10	619,502	61,950	1,389 N.S.
Resíduo (b)	45	2.007,018	44,600	
Sub-parcela	60	60.383,471		
Total	71	61.470,6908		

Média global: 41,78

Cv (a) = 23,15%

Cv (b) = 15,98%

69,2g, respectivamente.

4.5 - Número médio de grãos por vagem

A TABELA 20 apresenta o número médio de grãos/vagem em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK(10-28-20).

O tratamento equivalente a lâmina de 265,5mm e 150kg/ha de NPK, proporcionou o maior número médio de grãos por vagem (12,52), embora as médias do número de grãos/vagem alcançadas com as lâminas de 315,6; 265,5; 182,5; e 110,3mm não apresentaram diferença estatisticamente significativa pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O resumo da análise de variância (TABELA 21) revelou efeito significativo para blocos e lâminas totais de irrigação, pelo teste F ao nível de 5 e 1% de probabilidade respectivamente.

O número médio de grãos por vagem em função das lâminas totais de água aplicadas, é mostrado na FIGURA 16, evidenciando que a irrigação provocou um aumento no número médio de grãos por vagem, segundo uma relação quadrática de acordo com a equação:

$$G = 2,016000 + 0,087130W - 0,000186W^2 \quad (36)$$

De acordo com essa relação, o número médio de grãos alcança um máximo de 12,23, com a aplicação de uma lâmina de 234,5mm.

A análise de regressão ajustou um polinômio tipo raiz quadrada com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,8942 e um valor de F igual a: segundo a equação:

$$G = -8,26551 - 0,08933W + 0,02064X + 2,68015\sqrt{W} - 0,22052\sqrt{X} \quad (37)$$

(t=5,014) (t=1,184) (t=6,414) (t=1,060)

Considerando as doses de 0; 75; e 150 kg/ha de NPK (10-28-20) os números máximos de grãos/vagem foram 11,83; 11,47; e 12,2 respectivamente.

TABELA 20 - Número médio de grãos por vagem obtidos a partir das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20). (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)			Médias
	0 (X_0)	75 (X_1)	150 (X_2)	
315,6 W6	11,00	10,92	12,27	11,40 (a)
265,5 W5	11,12	11,22	12,52	11,62 (a)
182,5 W4	11,40	10,58	11,56	11,18 (a)
110,3 W3	10,16	9,92	10,06	10,04 (ab)
44,7 W2	7,34	6,76	7,52	7,21 (b)
33,1 W1	3,29	2,78	2,78	2,94 (c)
Médias	9,05	8,69	9,45	

FONTE: Dados coletados na área experimental.

Obs.: Considerando-se as médias na horizontal, os valores seguidos de mesma letra minúscula, não diferem significativamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

TABELA 21 - Análise de variância do número médio de grãos a partir das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20). (Bragança, Pará, Brasil).

Causas da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F
Blocos	35,994	3	11,998	7,245 XX
NPK	6,917	2	3,4585	2,098 N.S.
Resíduo (a)	9,937	6	1,656	
Parcelas	52,848	11		
Água	699,789	5	139,958	55,983 XXX
Água x NPK	6,869	10	0,6869	0,275 N.S.
Resíduo (b)	112,49	45	2,500	
Sub-parcela	819,148	60		
Total	871,996	71		
Média geral = 9,066 Cv (a) = 14,19% Cv (b) = 17,44%				

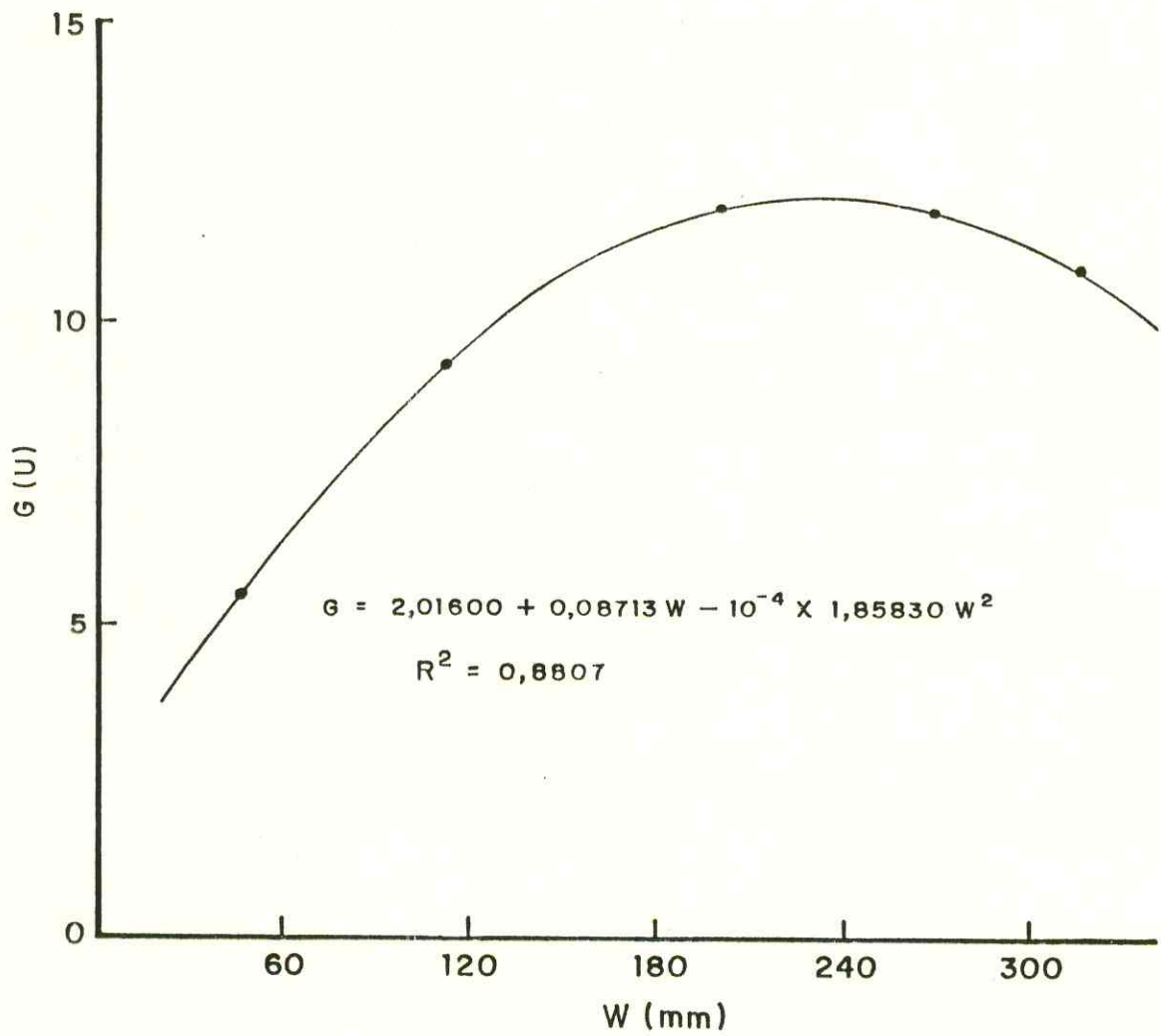


FIGURA 16 - Número médio de grãos por vagem obtidos em função das lâminas totais de água.

4.6 - Tamanho médio da vagem

A TABELA 22 apresenta o tamanho médio da vagem em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK (10-28-20).

O tratamento equivalente à lâmina de 182,5mm e 150kg/ha de NPK (10-28-20) proporcionou o maior tamanho de vagem, embora que somente a média de tamanho obtida com a lâmina de 33,1mm, tenha se mostrado diferente das demais médias, do ponto de vista estatístico, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O resumo da análise de variância (TABELA 23) revelou efeito significativo para blocos e lâminas totais de irrigação, pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

O tamanho médio da vagem em função das lâminas totais de água aplicadas, está representado na FIGURA 17, evidenciando que a irrigação provocou um aumento no tamanho médio da vagem, segundo uma relação quadrática, de acordo com a equação:

$$L = 4,336370 + 0,068220W - 0,000158W^2 \quad (38)$$

De acordo com essa relação o tamanho médio da vagem alcança um máximo de 11,7cm, com a aplicação de uma lâmina d'água de 215,9mm.

A análise de regressão ajustou um polinômio tipo raiz quadrada com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,7577 e um valor de F igual a 14,29 segundo a equação:

$$L = -3,8136 - 0,07840W + 0,03344X + 2,17256\sqrt{W} - 0,32893\sqrt{X} \quad (39)$$

(t=3,770) (t=1,687) (t=4,439) (t=1,406)

Considerando as doses de 0; 75; e 150kg/ha de NPK (10-28-20), os tamanhos máximos da vagem foram 11,23; 10,80; e 12,22, respectivamente.

4.7 - Eficiência de uso da água

A TABELA 24 mostra os valores médios da eficiência de uso da água em função das lâminas totais de água e dos níveis

TABELA 22 - Tamanho médio (cm) da vagem a partir das lâminas totais de água e níveis de NPK (10-28-20). (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK (kg/ha)			Médias
	0 (X ₀)	75 (X ₁)	150 (X ₂)	
315,6 (W6)	10,59	10,36	10,90	10,62 (a)
265,5 (W5)	10,59	10,44	11,08	10,70 (a)
182,5 (W4)	10,80	10,38	12,11	11,10 (a)
110,3 (W3)	10,41	10,49	10,59	10,50 (a)
44,7 (W2)	9,43	8,76	9,42	9,20 (a)
33,1 (W1)	4,26	4,30	4,28	4,28 (b)
Médias	9,35	9,12	9,73	

FONTE: Dados coletados na área experimental.

Obs.: Considerando-se as médias na horizontal, os valores seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

TABELA 23 - Análise de variância do tamanho da vagem, a partir das lâminas totais de água e dos níveis de NPK(10-28-20). (Bragança, Pará, Brasil).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Blocos	3	53,532	17,844	10,647 XXX
NPK	2	4,522	2,261	1,349 N.S.
Resíduo (a)	6	10,056	1,676	
Parcela	11	68,11		
Água	5	402,116	80,423	18,060 XXX
Água x NPK	10	4,715	0,472	0,106 N.S.
Resíduo (b)	45	200,380	4,453	
Sub-parcela	60	607,211		
Total	71	675,3215		

$\bar{X} = 9,3989$ Cv (a) = 13,77 Cv (b) = 22,45%

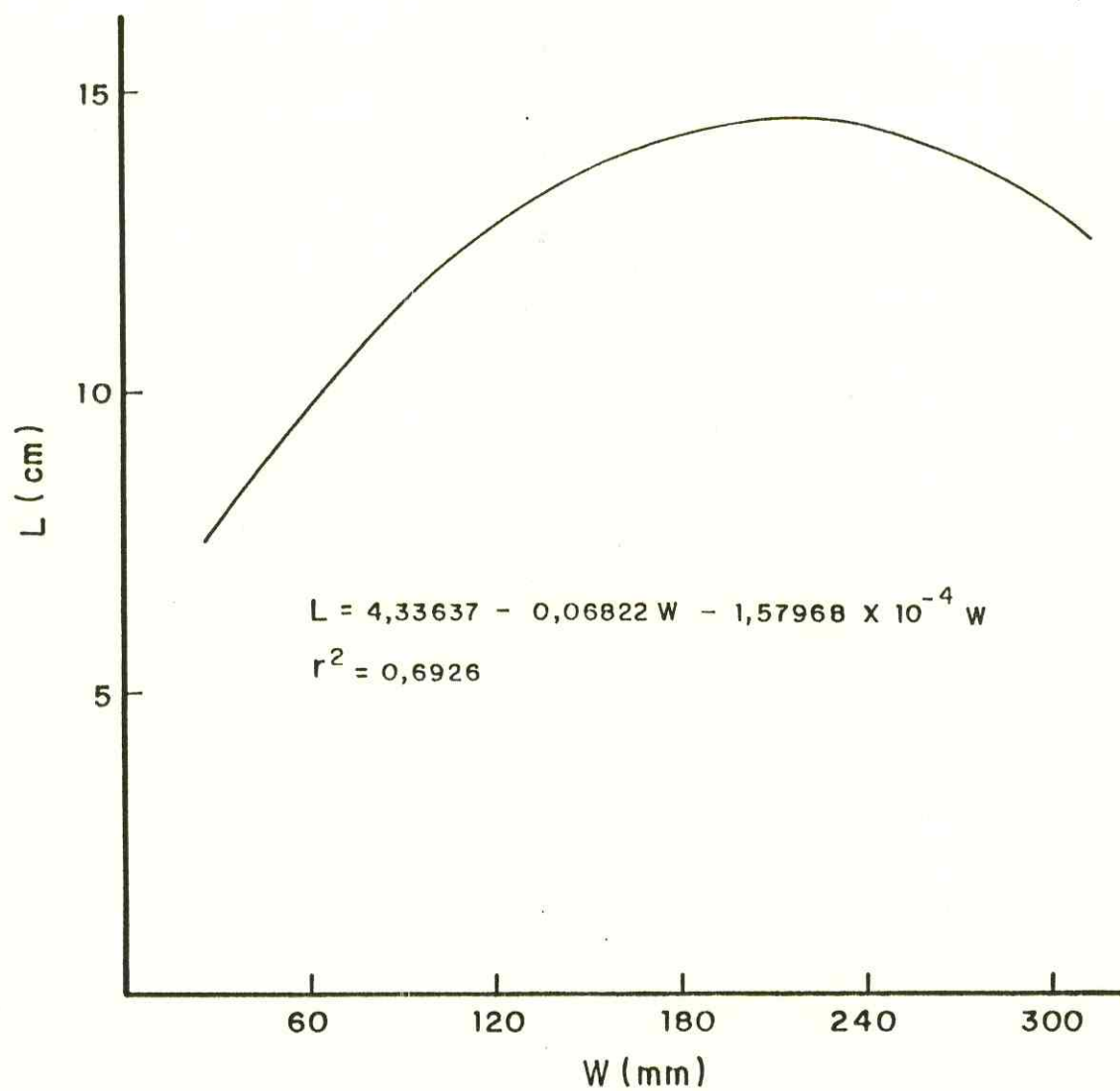


FIGURA 17 - Tamanho médio da vagem obtido em função das lâminas totais de água.

TABELA 24 - Eficiência do uso da água (kg/mm) em função das lâminas totais de água e dos níveis de NPK(10-28-20). (Bragança, Pará, 1988).

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de NPK			Médias
	0 (X ₀)	75 (X ₁)	150 (X ₂)	
315,6 (W6)	0,75	1,10	1,02	0,96 (a)
265,5 (W5)	0,90	1,57	1,82	1,43 (b)
182,5 (W4)	1,80	2,49	3,24	2,51 (cd)
110,3 (W3)	2,09	2,93	2,89	2,64 (d)
44,7 (W2)	0,22	0,25	0,32	0,26 (ef)
33,1 (W1)	0,03	0,02	0,04	0,03 (f)
Médias	0,96	1,39	1,56	1,30

FONTE: Dados coletados na área experimental.

Obs.: Considerando-se as médias na horizontal, os valores seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

de NPK (10-28-20).

A maior eficiência foi alcançada aplicando a lâmina de 182,5mm e a dosagem de 150kg/ha de NPK (10-28-20) embora as médias de eficiência correspondentes às lâminas de 110,3 e 182,5mm não apresentassem diferenças significativas do ponto de vista estatístico.

A maior eficiência foi alcançada aplicando a lâmina de 182,5mm e a dosagem de 150kg/ha de NPK (10-28-20) embora as médias de eficiência correspondentes às lâminas de 110,3 e 182,5mm não apresentassem diferenças significativas do ponto de vista estatístico.

O resumo da análise de variância (TABELA 25) revelou efeito significativo para água, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, enquanto para NPK e a interação água x NPK, não houve efeito significativo.

Foram ajustadas equações de regressão para cada dose de NPK e para a média das dosagens de NPK, representadas nas FIGURAS 18 e 19, respectivamente.

TABELA 25 - Análise de variância da eficiência do uso da água em função das lâminas totais de água e das doses de NPK (10-28-20). (Bragança, Pará, 1988).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Blocos	3	2,0953	0,6984	0,595 N.S.
NPK	2	4,4838	2,2419	1,910 N.S.
Resíduo (a)	6	7,0402	1,1734	
Parcelas	11	13,6193		
Água	5	72,7862	14,5572	4,874 **
Água x NPK	10	3,5975	0,3598	0,120 N.S.
Resíduo (b)	45	11,9973	0,2667	
Sub-parcela	60	88,3810		
Total	71	102,0003		

Média geral = 1,30

Cv(2) = 83,32%

Cv(b) = 39,72%

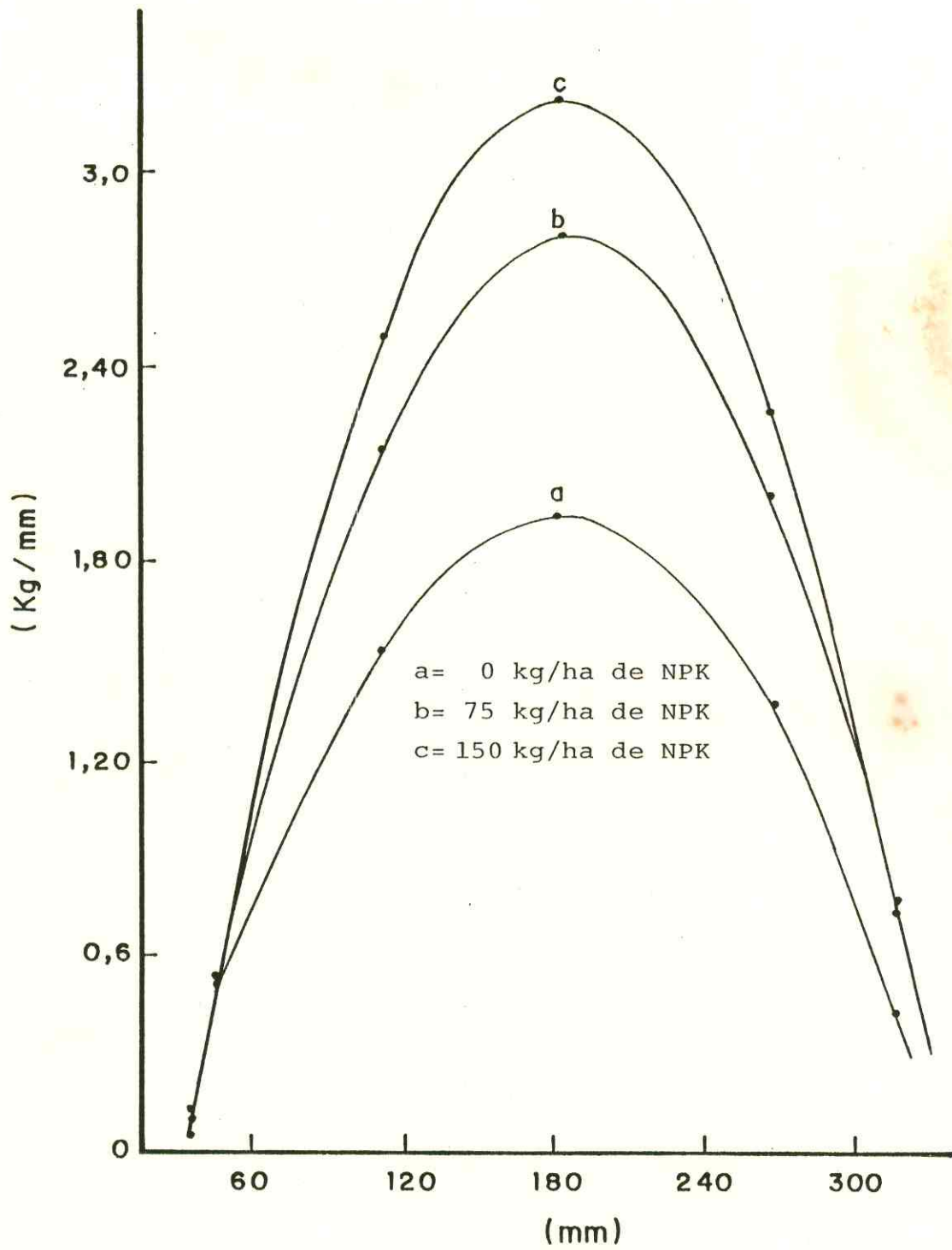


FIGURA 18 - Curvas de eficiência de uso da água em função das lâminas totais de água para cada nível de NPK (10-28-20).

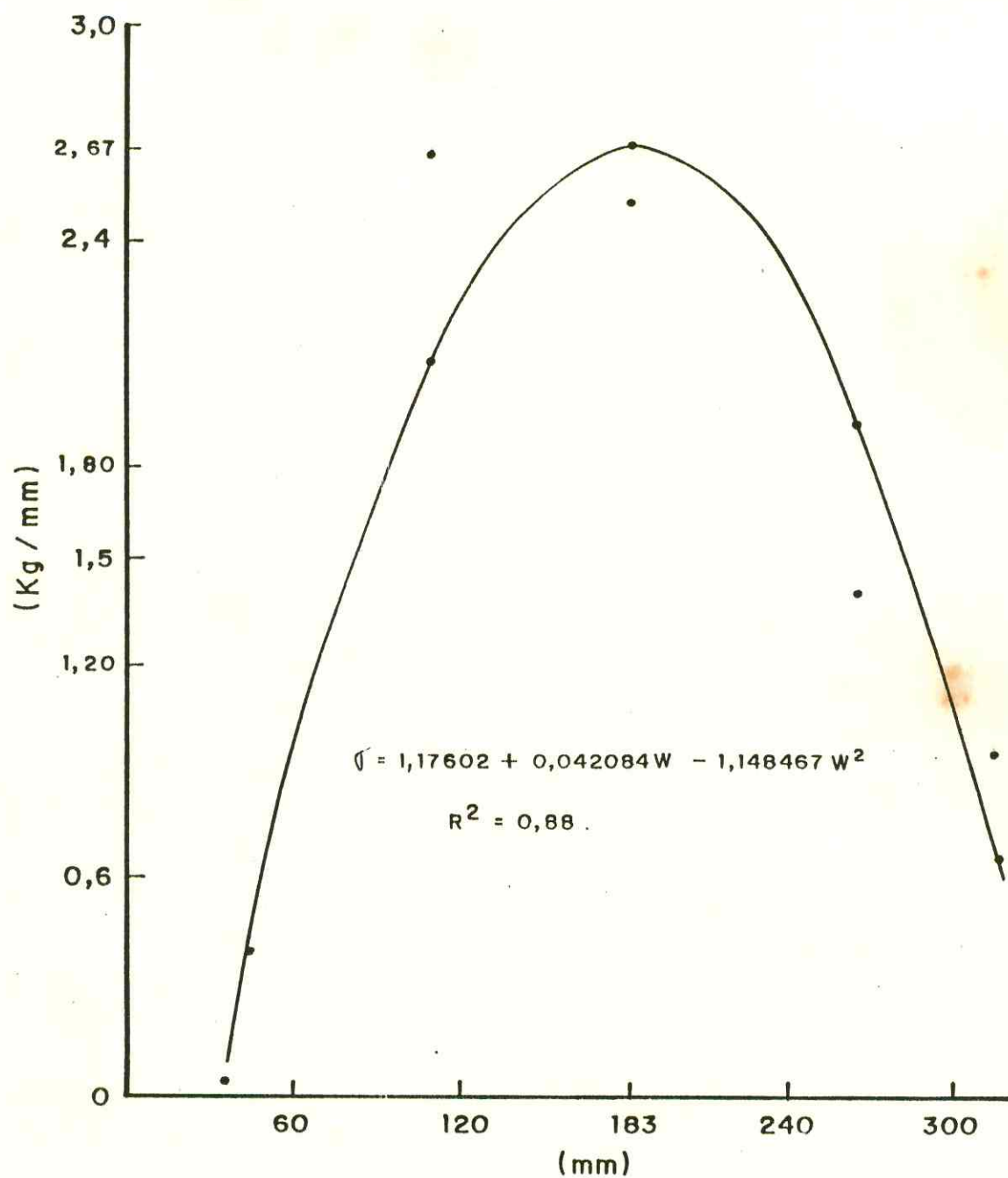


FIGURA 19 - Curva de eficiência de uso da água para as diferentes lâminas totais de água.

5 - CONCLUSÕES

Do presente estudo pode-se constatar que o caupi é, relativamente a outros cereais, pouco exigente em água, tendo apresentado, nas condições em que foi conduzido o experimento, uma evapotranspiração de 305,7mm para todo o ciclo da cultura.

Não obstante ser uma cultura pouco exigente em água, a falta desta na época da floração e da frutificação reduziu sensivelmente o rendimento das sub-parcelas que sofreram um estresse hídrico maior.

O maior rendimento de grãos (592,37 kg/ha) foi proporcionado pelo tratamento equivalente a aplicação da lâmina total de 182,5mm e de 150 kg/ha de NPK(10-28-20).

A adubação não apresentou efeitos substanciais no rendimento de grãos, provavelmente devido às baixas dosagens usadas no experimento, sugerindo que a mesma não deve ser usada em níveis elevados, na presença de pequenas lâminas de água.

A função de produção do caupi relacionou-se com a lâmina total d'água aplicada e os níveis de adubação, segundo uma relação quadrática, cujo rendimento máximo (517,8 kg/ha) é atingido quando a lâmina aplicada é de 226,7mm e a dose de NPK (10-28-20) é de 181,4 kg/ha.

Considerando os preços de abril de 1989, a lâmina d'água e a quantidade de NPK que maximizam a receita líquida é de 201,5mm de água e 125,8 kg/ha de NPK (10-28-20), alcançando uma receita líquida máxima de NCZ\$ 123,20/ha para um rendimento de 499,1kg/ha de grãos.

Os valores máximos para peso médio de 1.000 grãos, número médio de grãos por vagem e tamanho médio da vagem, foram obtidos na dosagem de 150kg/ha de NPK(10-28-20), porém com lâmi

nas diferentes iguais a 110,3; 265,5; e 182,5mm, respectivamente.

Doses crescentes de NPK (10-28-20), proporcionaram níveis de eficiência de uso da água mais elevados, atingindo o máximo de 3,25kg de grãos por cada mm de água aplicado.

6 - RECOMENDAÇÕES

Dadas as vantagens da irrigação em áreas úmidas ou subúmidas (menores perdas por evapotranspiração, suprimento parcial de água pelas chuvas, inexistência do problema da salinização, menor necessidade de água), uma melhor avaliação institucional e econômica deve ser procedida para a definição de uma política de irrigação, visando aumentar a produção de alimentos.

Dada a importância que a cultura do caupi representa para o Estado do Pará, novos estudos na mesma área e em outras regiões do Estado devem ser identificados, objetivando a generalização das funções de produção para previsão de colheitas, se possível com um maior número de variáveis ambientais controladas.

Outros experimentos com a cultura de caupi irrigado, devem ser desenvolvidos para verificar a economicidade da aplicação da adubação com dosagens mais elevadas do que os que foram utilizados no presente estudo.

O cultivo do caupi, para a região Bragantina deve ser estimulado na época de menor precipitação (agosto-dezembro), usando irrigação suplementar, com o objetivo de se obter duas safras por ano.

Como indicação básica de uso, testar os diversos métodos de determinação da evapotranspiração.

Outras culturas devem ser incluídas nos planos de pesquisas, visando a identificação das necessidades potenciais de água.

7 - LITERATURA CITADA

- ALBÉRIO, I.A.A. Estudo sobre modificações introduzidas no Tanque Classe "A" e no método de Penman. Piracicaba. 91p. 1979 (Dissertação de Mestrado).
- ALLEN, R.G. Sprinkler irrigation project design with production function. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 112(4): 305-321, 1986.
- ALLEN, R.G.D. Análise matemática para economistas. Volume 2. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1965.
- ALMEIDA, J.E.L. Determinação da função de produção do milho irrigado na baixada cuiabana. Tese de Mestrado, 1987, UFC, Fortaleza. 83p.
- AMARAL FILHO, Z.P. et alii. Estudo detalhado dos solos de uma área do município de Bragança. Belém, IDESP, 1975. 93p. ilust. (Monografias, 19).
- ARAÚJO, J.P.P et alii. Cultura do Caupi, *Vigna Ungiculata* (L.) Walp; Descrição e recomendações técnicas de cultivo. Goiânia, CNPAF, 1984. 82p. (EMBRAPA/CNPAF. Circular Técnica, 18).
- BERNARDO, S. et alii. Efeito dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).
- CABALLERO, S.U. et alii. Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. Pesq. agropec. bras., Brasília, 20(9): 1031-1040, 1985.
- CAIXETA, T.J. e MIZUBUTI, A. Efeito de diferentes lâminas de água em alguns cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.) VIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Florianópolis, 1988. Anais, vol. 1. 65-87.

- CASTRO NETO, P. et alii. Estimativa da evapotranspiração real baseada na evapotranspiração potencial estimada pela equação de Penman e na umidade do solo. *Cient.Prant.Lavras*. 4(2) : 92-102, 1980.
- COSTA, J.O; FERREIRA, L.G.R.; e SOUZA, F. de. Produção de milho submetido a diferentes níveis de estresse hídrico. *Pesq. agropec.bras.*, Brasília 23(11): 1255-1261, 1988.
- COUTO, W.S.; CORDEIRO, A.C.C. e ALVES, A.A. Adubação mineral do caupi em latossolo de campo cerrado de Roraima, Goiânia, 1982. Resumos da 1ª Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 4).
- CUNHA, J.M. et alii. Níveis de nitrogênio, na cultura do feijão. *Pesq.agropec.bras.*, Brasília, 15(1): 47-52, 1980.
- DAKER, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem, 6ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984. Volume 3. 543p.
- DANTAS, J.P. et alii. Absorção de macro e micronutrientes pela cultura do feijão caupi. Areia, EMEPA/PB, 1986.
- DEMATTE, J.B.I., et alii. Estudo da interação entre irrigação, adubação mineral e incorporação de matéria vegetal semi-decomposta na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). s.l., Instituto Agrônômico, 1974. 27p. (IAC. Boletim técnico, 15).
- DOORENBOS, J. e KASSAM, A.H. Crop response to water. FAO irrig. an Drain. Paper nº 33, 1979.
- DOORENBOS, J. e PRUITT, W.O. Crop water requirements Roma. FAO, 1975. 179p. ilustr. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Departamento de Estudos e Pesquisas, Brasília-DF. Diagnóstico e prioridades de pesquisa em agricultura irrigada: Região Norte. Brasília, 1987. 64p.
- FRIZONNE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. Piracicaba, ESALQ/USP, 1986. 133p. Tese de Doutorado.

- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C.; e LIMA, C.A.S. Efeito do de fic it de água em alguns períodos do ciclo de crescimento so bre o rendimento do feijoeiro comum. Proj. feijão: relat. 77/78, Belo Horizonte, 1979.
- GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba, ESALQ, 1966. 436p.
- GUIMARÃES, C.M.; STEINMETZ, S.; e CASTRO, T.A.P. Uso de micro lis im etros na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: 1ª REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO Anais. EMBRAPA-CNPAP, Goiânia. p. 133-137, 1982.
- HANKS et alii. Line Source sprinkler for continuous variable irrigation - crop production studies. Soil. Sco. Soc. Am. J. 40: 426-429, 1976.
- HEADY, E.O. e DILLON, J.L. Agricultural production functions. The Iowa State University Press. Ames Iowa, 1961. 667p.
- HENDERSON, J.M. e QUANDT, R.E. Teoria microeconômica. São Paulo, Pioneira, 1976.
- HEXEM, R.W. e HEADY, E.O. Water production functions for irrigated agriculture, 1978. The Iowa State University Press. Ames Iowa 1ª ed. 215p.
- HOSTALÁCIO, S. e VALIO, I.F.N. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. Pesq. agropec. bras., Brasília 19(2): 211-218, 1984.
- HOGG, H.C. e VIETH, G.R. Method for evaluating irrigation projects. Journal of the Irrigation and Drainage Division. 103: 43-52, 1977.
- HSIAO, T.A. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant. Physiol. 24: 519-570, 1973.
- ISRAELSEN, O.W. e HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego. Barcelona, Reverté S/A, 1965. 396p.
- JARA, J.J. et alii. Respuesta fisiomorfológica y productiva del frejol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) frente al deficit hídrico. Agro. Ciência 4(1): 21-26, 1988.

- JOHNSTON, J. Métodos econométricos. São Paulo, Atlas, 1977. 318p.
- KMENTA, J. Elementos de Econometria. São Paulo, Atlas, 1978.
- LABANAUSKAS, E.K.; SHOUSE, P.; e STOLZY, L.H. Effects of water stress at various growth stages on seed yield and nutrient concentrations of field - grown cowpeas. Soil Sci. 131 (4): 249-256, 1981.
- LEFTWICH, P.H. O sistema de preços e a alocação de recursos. São Paulo. Pioneira, 1976. 399p.
- MAGALHÃES A.A. e MILLAR, A.A. Efeito do deficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. Pesq. agropec. bras. Brasília, 13(2): 55-60, 1978.
- MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A.; e CHOUDHURY, E.N. Efeito do deficit fenológico de água sobre a produção de feijão Turrialba, 29(4): 269-273, 1979.
- MARCA, O.R. Determinação da evapotranspiração do consórcio feijão-milho-algodão pelo método do balanço hídrico e através de fórmulas empíricas sob regime de irrigação por sulcos. Fortaleza. 83p. 1985 (Dissertação de Mestrado).
- MILLAR, A.A. e GARDNER, W.R. Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. Agronomy Journal, Madison 64(5): 559-561, 1972.
- MINHAS, B.S.; PARIKH, K.S.; e SRINIVASAN, T.N. Toward the structure of a production function on for wheat yields with dated inputs of irrigation water. Water. Resowac. Res., 10 : 383-392, 1974.
- MIRANDA, O e BELMAR, C. Deficit hídrico y frecuencia de riego en frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura técnica (Santiago) 37(3): 111-117, 1977.
- MONTEIRO, M.A.R. et alii. Níveis de nitrogênio e lâminas de irrigação no rendimento do milho verde. Pesq. agropec. bras. Brasília, 24(6): 741-749, junho 1989.

- OLIVEIRA, A.F.F. de et alii. Comportamento de cultivares de Caupi na Região Amazônica. Belém, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, 1980. 34p. (EMBRAPA/CPATU. Circular técnica, 10)-
- OLIVEIRA, I.P. e CARVALHO, A.M. Estudos da eficiência de linhasagens de caupi ao uso de fósforo. I. Determinação de níveis críticos de fósforo. Goiânia, CNPAF, 1976.
- OLIVEIRA, I.P. e DANTAS, J.P. Sistemas de deficiência nutricionais e recomendações de adubação para o caupi. Goiânia, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 1984. 23p. (EMBRAPA. Documentos, 8).
- OTTONI, T.B. Avaliação do desempenho da irrigação e da evapotranspiração usando-se dados de água do solo. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Brasília, 1986. Anais. Vol. 1. 293-310.
- PAIVA, J.B.; ALBUQUERQUE, J.J.L.; e BEZERRA, F.F. Adubação mineral em feijão de corda (*Vigna sinensis* Endl.) no Ceará - Brasil. Ciênc. agron., Fortaleza, 1(2): 75-78, 1971.
- PESSANHA, G.G. e PENTEADO, A. e F. Efeito de N, P e calagem sobre a cultura do feijão. Pesq. agropec. bras., Brasília, 17(3): 375-379, 1982.
- PYNDICK, R.S. e RUBINFELD, D.L. Econometric models and economic forecasts. New York, McGraw Hill, 1981.
- REBOUÇAS, M.A.A.,; CRISÓSTOMO, L.A.; e BEZERRA, P. Estudo de adubação nitrogenada do feijão de corda, (*Vigna Sinensis* L. Savi), pela análise química das folhas. Ciênc. agron., Fortaleza, 7(1-2): 39-43, 1977.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo. Manole, 1987. 188p.
- RESENDE, M.; HENDERSON, D.W.; e FERRERES, E. Frequência de irrigação, desenvolvimento e produção do feijão Kidney. Pesq. agropec. brqs. Brasília, 16(3): 363-370, 1981.

- ROBINS, J.S. e DOMINGO, C.E. Moisture deficit in relation to the growth and development of dry beans. *Agronomy Journal*, Madison. 48: 67-70, 1956.
- SAUNDERS, L.C.U. et alii. Dinâmica da água no solo com a cultura do feijão de corda (*Vigna sinensis*(L.) Savi), em aluvião eutrófico. *Ciênc. Agron. Fortaleza*. 12(1/2): 141-148, 1981.
- SAUNDERS, L.C.U. et alii. Evapotranspiração atual da cultura do feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.)Walp), na microrregião-homogênea de Quixeramobim, Ceará, *Ciênc. Agron. Fortaleza*, 16(1): 75-81, 1985.
- SCALOPPI, E.J. Metodologia para determinação de funções de produção da água. *Item*. Ed. nº 15/83 31-33, 1983.
- SHOUSE, P. et alii. Water deficit effects on water potential yied and water use of cowpeas. *Agro. J.* 73: 333-336, 1981.
- SILVA, J.F.A.F. e AQUINO, S.F.F. A cultura do caupi. Problemas e perspectivas - Palestra proferida durante o Simpósio sobre Produtividade Agroflorestal da Amazônia: problemas e perspectivas em Belém de 20 à 23.6.1988.
- SILVA, M.A. Efeito da lâmina de água e da adubação nitrogenada sobre a produção de feijão de corda (*Vigna sinensis* L. Savi), utilizando o sistema de irrigação por "Aspersão em Linha", Viçosa, UFV, 1978. 53p. Tese de Mestrado.
- SILVEIRA et alii. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 19 (2): 219-223, 1984.
- SILVEIRA, P.M.; FONSECA, J.R.; e GUIMARÃES, C.M. Consumo de água pelo feijão de 3ª época irrigado por aspersão. Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1981 a (EMBRAPA-CNPAF Comunicado Técnico,9).
- SILVEIRA, P.M. e STONE, L.F. Balanço de água na cultura do feijão em latossolo vermelho-amarelo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 14(2): 111-115, 1979.

- SNEDECOR, G.W. e COCHRAN, W.G. Statistical methods. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, U.S.A., 1981. 507p.
- STEWART, J.I. e HAGAN, R.M. Predicting effects of water shortage on crop yield. Journal of the Irrigation and Drainage Division. New York. 100 (IR1): 91-104, 1969.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M.; e PRUITT, W.O. Functions to predict optimal irrigation programs. Journal of the Irrigation and Drainage Division New York 100 (IR2): 179-197, 1974.
- STONE, L.F. e MOREIRA, J.A.A. Irrigação do feijoeiro. Goiânia, CNPAF, 1986. (EMBRAPA, CNPAF. Circular técnica, 20).
- TURK, K.J. e HALL, A.E. Drought adaptation of cowpea. II influence of Drought on Plant water status and relations with seed yield, Agron. J. 72: 421-427, 1980.
- VAUX, H.J.Jr. e PRUITT, W.O. Crop - Water production functions. Advances in Irrigation. 2: 61-93, 1983.
- VIEIRA, L.S. et alii. Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP). Adaptação de cultivares às condições amazônicas. Belém, 1981. 87p. (IDESP-Cadernos Paraenses, 49).
- WATT, E.E. e ARAUJO, J.P.P. Cowpea research in Brazil. Transl. Earl Engene Watt. Brasília, IITA/EMBRAPA, 1988, 360p.
- YARON, D. Estimation and use of water production functions in crops. Journal of the Irrigation and Drainage Division. New York. 97 (IR2): 291-302, 1971.
- ZISKA, L.H. e HALL, A.E. Seed yields and water use of cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) WALP), subjected to planned-water deficit irrigation. Irrig. Sci. (3): 237-245, 1983.

A N E X O

CÁLCULO DO CUSTO UNITÁRIO DA ÁGUA (NCZ\$/mm)

a) Determinação do valor da amortização do equipamento utilizado

I - Cálculo da depreciação

$$D = I : (N \times d)$$

Onde:

D - é a depreciação/dia, em NCZ\$;

I - é o valor do investimento atualizado para 31.12.80, em NCZ\$;

N - é a vida útil restante a partir de 31.12.88, em anos; e

d - é a dias de uso/ano.

II - Cálculo dos juros

$$j = (J \times I) : d$$

Onde:

j - são os juros diários, em NCZ\$; e

J - são os juros anuais, em % de I.

III - Conservação

$$c = (C \cdot I) : d$$

Onde:

c - é a despesa de conservação/dia, em NCZ\$; e

C - é a despesa de conservação/ano, em % de I.

IV - Custo horário de amortização

$$c_{ha} = (D + J + c) / t$$

Onde:

c_{ha} - é o valor de amortização, em NCZ\$/hora; e

t - é o número de horas/dia utilizados com o equipamento.

V - Valor da amortização/mm aplicado

$$C_a = c_{ha} : p$$

Onde:

c_a - é o valor da amortização por mm aplicado, em NCZ\$/mm; e

p - é a precipitação do aspersor, em mm/hora.

b) Cálculo do custo da mão-de-obra

$$C_{mo} = PNS_h : p$$

Onde:

C_{mo} - é o custo da mão-de-obra, em NCZ\$/mm; e

PNS_h - é o piso nacional de salário corrigido para 1,0 hora, em NCZ\$/hora.

c) Cálculo do custo com combustível

$$c_c = (C_h - P_c) : p$$

Onde:

c_c - é o custo com combustível, em NCZ\$/mm;

C_h - é o consumo horário do sistema, em litros/hora; e

P_c - é o preço unitário do óleo diesel, em NCZ\$/litro.

d) Custo total de água

$$P_w = C_a + C_{mo} + c_c$$

Onde:

P_w - é o custo unitário da água (NCZ\$/mm); e

C_a - é o valor da amortização por mm aplicado, em NCZ\$/mm.