



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tese de Doutorado

FUNÇÕES DE RESPOSTA DA GOIABEIRA A LÂMINA DE
ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA

JOSÉ LINS MACIEL

Biblioteca UFCEG
SMBC_CDSA
CAMPUS DE SUMÉ
Reg. 10422/12

Campina Grande
Paraíba

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ – REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

TESE DOUTORADO

**FUNÇÕES DE RESPOSTA DA GOIABEIRA A LÂMINA DE
ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA**

JOSÉ LINS MACIEL

**Campina Grande - PB
Fevereiro, 2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**FUNÇÕES DE RESPOSTA DA GOIABEIRA A LÂMINA DE ÁGUA E
FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA**

JOSÉ LINS MACIEL

Tese apresentada ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Doutor.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem
Linha de pesquisa: Manejo de Água e Solo
Orientadores: Dr. José Dantas Neto
Dr. Pedro Dantas Fernandes

Campina Grande - PB
Fevereiro, 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M125f Maciel, José Lins
2006 Funções de resposta da goiabeira a lâmina de água e fertirrigação nitrogenada/
José Lins Maciel.- Campina Grande, 2005.
100f.: il.

Referências.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores : José Dantas Neto, Ph.D e Pedro Dantas Fernandes, Ph.D.

1— Fruticultura 2— Manejo de Irrigação 3 — Análise Econômica I-Título

CDU 634.42



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

OSÉ LINS MACIEL

FUNÇÕES DE RESPOSTA DA GOIABEIRA A LÂMINAS DE ÁGUA
E FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Osé Dantas Neto
Dr. Osé Dantas Neto-Orientador

APROVADO

Pedro Dantas
Dr. Pedro Dantas Fernandes-Orientador

Aprovado

Osé Antônio Frizzone
Dr. Osé Antônio Frizzone-Examinador

APROVADO

Osé Crispiniano Feitosa Filho
Dr. Osé Crispiniano Feitosa Filho-Examinador

Aprovado

Raimundo Nonato Távora Costa
Dr. Raimundo Nonato Távora Costa-Examinador

APROVADO

Hugo Orlando Carvalho Guerra
Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra-Examinador

Aprovado

FEVEREIRO - 2006

Em memória dos meus pais,
Raimundo de Souza Maciel e
Maria Elizanete Maciel exemplo de
dedicação e amor para com os
filhos.

MINHAS HOMENAGENS

A minha esposa Eliane Maria Pinto
Maciel e às minhas filhas Camila
Tássia Pinto Maciel e Carine Ellen
Pinto Maciel. Sem vocês esta
conquista seria impossível

DEDICO

Aos meus irmãos Lourdinha,
Francinaldo, Auxiliadora, Gelúcia,
Ednaldo e Fabiano pela amizade e
companheirismo que cultivamos
através de uma convivência
harmoniosa.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pois tudo o que faço em minha vida, sou eternamente grato a Ele.

A Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S/A – EBDA, pela oportunidade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pela ajuda financeira ao Projeto de Pesquisa Manejo da irrigação e fertirrigação em fruteiras.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade da realização do doutorado.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado da Paraíba - EMEPA, Campo Experimental de Veludo Itaporanga-PB, por ceder suas instalações, funcionários, equipamentos. Em especial aos pesquisadores João Felinto dos Santos, Euzeli Cipriano dos Santos e João Nildo Lemos; ao técnico agrícola Zacarias; e ao operário de campo Edvan Pinto da Silva.

Aos orientadores Dr. José Dantas Neto e Dr. Pedro Dantas Fernandes, pelos ensinamentos, incentivos dispensados durante a realização do curso, dedicação e apoio nas atividades de campo e pela relação de amizade e confiança.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem.

Aos colegas de curso, em especial a Gustavo Henrique, Fred Antonio, Maria Salydelânida, Vanda, Genival e Alexandre, pela valiosa companhia, amizade e dedicação durante todas as etapas do curso.

Ao pessoal do Laboratório de Irrigação e Salinidade e da secretaria da COPEAG, pelos serviços prestados e amizade.

A todos que acreditaram e/ou contribuíram para a realização e conclusão deste curso.

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Pág.
1 Características físico-hídricas do solo cultivado com goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade. Itaporanga, PB, 2005.....	20
2 Características químicas de solo cultivado com goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade. Itaporanga, PB, 2005.....	21
3 Características químicas da água de irrigação utilizada no cultivo da goiabeira cultivar Paluma com quatro anos de idade. Itaporanga PB, 2005.....	24
4 Fase fenológica da goiabeira variedade Paluma e coeficiente de cultivo (Kc).....	26
5 Fator de correção de precipitação (f).....	27
6 Leitura de vazão dos emissores para determinação do coeficiente de uniformidade experimental (UD). Itaporanga, PB, 2005.....	27
7 Custo de produção (C_p) para o sistema de produção de 1,0 ha de goiaba variedade Paluma com 4 anos de idade, irrigada por microaspersão. Itaporanga, PB, 2005.....	36
8 Esquema da análise de variância e regressão.....	40
9 Resumo da análise de variância e componentes de regressão para as variáveis número de frutos por planta (NF), peso total de frutos (PTF) em kg/planta e peso médio de fruto (PMF) em kg. Itaporanga, PB, 2005.	42
10 Análise de regressão das lâminas de água em função dos níveis de nitrogênio para peso total de fruto (PTF) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Itaporanga, PB, 2005.....	46
11 Análise de regressão dos níveis de nitrogênio em função das lâminas de água para a variável peso total de fruto (PTF) em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Itaporanga, PB, 2005.....	49
12 Resumo da análise de variância e regressão para as variáveis teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK) teor de cálcio (TCa) e teor de magnésio (TMg) em $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ em folhas de goiabeira cultivar Paluma. Itaporanga, PB, 2005.....	54
13 Produtividade média de goiaba ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para o fator lâmina total dentro de cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.....	59
14 Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam o rendimento físico (L_m), a receita líquida (L^*) e a receita líquida equivalente (L_e) para a relação de custo $C_l/Py = 1,3$, para cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.....	62

15	Análise econômica para as lâminas totais de água utilizadas no experimento, para cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.....	63
16	Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam a receita líquida (L_L^*) e a receita líquida equivalente (Le_L), e as lâminas utilizadas no experimento, para a relação custo $C_L/Py = 1,3$. Itaporanga, PB, 2005.....	65
17	Produtividade média de goiaba ($kg \cdot ha^{-1}$) para o fator nível de nitrogênio dentro de cada lâmina total (irrigação + precipitação). Itaporanga, PB, 2005.....	66
18	Análise econômica para os níveis de nitrogênio que maximizam o rendimento físico (N_m), a receita líquida (N^*) e os níveis de nitrogênio utilizados no experimento, para a relação custo $C_N/Py = 2,3$. Itaporanga, PB, 2005.....	69
19	Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam o rendimento físico (L_m), a receita líquida (L^*) para a relação de custo $C_L/Py = 1,3$. Itaporanga, PB, 2005.....	74
20	Combinações de lâminas de água (L) e doses de nitrogênio (N) que resultam em custo mínimo para produtividade de goiaba de 14.000 a 34.000 $kg \cdot ha^{-1}$ para a relação de custo $C_N/C_L = 1,769$. Itaporanga, PB, 2005.....	80
21	Produto físico marginal da água em cada níveis de nitrogênio, para as lâminas totais de água (irrigação + precipitação). Itaporanga, PB, 2005...	83
22	Produto físico marginal de níveis de nitrogênio em cada lâmina total de água para cada níveis de nitrogênio (irrigação + precipitação). Itaporanga, PB, 2005.....	84
23	Taxas marginais de substituição ($TMS_{L/N}$) de lâminas de água por níveis de nitrogênio, para níveis pre-fixados de rendimento de goiaba. Itaporanga, PB. 2005.....	87
24	Eficiência do uso da água ($kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$) em função das lâminas totais de água e níveis de nitrogênio aplicados. Itaporanga, PB, 2005.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Pág.
1 Esquema de funções de receita bruta (a), custo (b) e receita líquida (c), sendo L_m e L^* , respectivamente, as quantidades de água que proporcionam a máxima produtividade e máxima receita líquida (FRIZZONE, 1993).....	17
2 Croqui da área experimental. Itaporanga, PB, 2005.....	23
3 Precipitação efetiva, em mm, distribuída durante o ciclo da cultura. Itaporanga, PB, 2005.....	29
4 Número de frutos de goiaba em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.	43
5 Número de frutos de goiaba em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.	44
6 Peso total de frutos de goiaba (kg/planta) em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.	47
7 Peso total de fruto de goiaba (kg/planta) em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.	50
8 Peso médio de fruto de goiaba (kg) em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.	52
9 Peso médio de frutos de goiaba (kg) em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.	52
10 Teor de fósforo (a), teor de potássio (b) e teor magnésio (c) ($g.kg^{-1}$) em folhas de goiabeira cultivar Paluma em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.	57
11 Teor de nitrogênio (a) e teor de cálcio (b) ($g.kg^{-1}$) em folhas de goiabeira cultivar Paluma em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.	58
12 Produtividade de goiaba ($kg.ha^{-1}$) em função da lâmina total (irrigação + precipitação) dentro de cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005...	60

13	Produtividade de goiaba ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função de níveis de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. Itaporanga, PB, 2005.....	67
14	Superfície de resposta da produtividade de goiaba em função de lâminas totais de água e de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.....	71
15	Curvas de isoproducto (isoquantas) da função de produção de goiaba. Itaporanga, PB, 2005.....	77
16	Curvas de isoproducto e combinação de custo mínimo na produtividade de goiaba. Itaporanga, PB, 2005.....	79
17	Superfície de resposta para determinação da lâmina ótima econômica (L^*) em função dos custos de água e nitrogênio para o preço da goiaba (P_y) de $\text{R\$ } 0,50 \text{ kg}^{-1}$. Itaporanga, PB, 2005.....	81
18	Superfície de resposta para determinação do nível de nitrogênio ótimo econômico (N^*) em função dos custos de água e nitrogênio para o preço da goiaba (P_y) de $\text{R\$ } 0,50 \text{ kg}^{-1}$. Itaporanga, PB, 2005.....	82
19	Curvas de isoproducto e taxa marginal de substituição de água por nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.....	86

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da irrigação e da adubação nitrogenada aplicada via fertirrigação na produtividade da goiabeira variedade Paluma, com quatro anos de idade, sob sistema de microaspersão no espaçamento 6x5 m. Determinaram-se, também, os níveis ótimos econômicos destes dois fatores na produtividade da goiabeira. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Veludo, município de Itaporanga, PB, no delineamento experimental blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 4x4, quatro lâminas de irrigação $L_1=0,60 L_b$, $L_2=1,00 L_b$, $L_3=1,40 L_b$ e $L_4=1,80 L_b$ (L_b é a lâmina de água calculada com base na evaporação diária do tanque classe A e coeficiente da cultura) e quatro níveis de nitrogênio, $N_1=50$, $N_2=100$, $N_3=150$ e $N_4=200 \text{ kg.ha}^{-1}$. As irrigações foram realizadas diariamente durante o ciclo da cultura (198 dias) após poda de frutificação. A fertirrigação foi realizada numa frequência de três aplicações semanais durante o ciclo da cultura (80 aplicações). A quantidade total de água (irrigação + precipitação) por tratamento foi $L_1=1.144$; $L_2=1.465$; $L_3=1.785$ e $L_4=2.106$ mm. Avaliaram-se os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis de produção, número de frutos por planta (NF), peso total de frutos por planta (PTF) e peso médio de frutos (PMF). Avaliaram-se, também, os efeitos dos tratamentos sobre o rendimento físico econômico da goiabeira, considerando-se o custo da água de R\$ 0,65 mm.ha^{-1} e o custo do nitrogênio de R\$ 1,15 kg^{-1} . Os resultados da análise de variância e componentes de regressão apresentam efeito quadrático dos fatores água e nitrogênio sobre as variáveis. O número máximo de frutos por planta é estimado em 466 unidades com peso total de 112,67 kg/planta obtido com a aplicação L_3N_3 . A função de resposta para o fator lâminas totais de água (L) apresenta produtividade máxima econômica de 37.258 kg.ha^{-1} com a aplicação de $L=1.766$ mm e $N=150 \text{ kg.ha}^{-1}$, com uma receita líquida de R\$ 14.149,48 ha^{-1} , já para o fator níveis de nitrogênio (N) apresenta produtividade máxima econômica de 42.425 kg.ha^{-1} com aplicação de $N=144 \text{ kg.ha}^{-1}$ e $L=1.785$ mm, com receita líquida de R\$ 18.715,18 ha^{-1} . A função de resposta para os dois fatores (L x N) estima uma produtividade de 35.594 kg.ha^{-1} com a aplicação de $L=1.721$ mm e de $N=167 \text{ kg.ha}^{-1}$, com receita líquida de R\$ 13.154,68 ha^{-1} .

Palavras-chave: fruticultura, manejo de irrigação, análise econômica.

ABSTRACT

The objective of this was study the effects of the irrigation and of the fertilization nitrogen applied using fertigation in the productivity of the guava tree, variety Paluma, with four years old, under microirrigation system with 6x5 m. It was, also, determined the economical great levels of these two factors in the productivity of the guava tree. The experiment was carried in the Experimental Station of Veludo, in Itaporanga city, PB. The experimental design was randomized blocks, in 4x4 factorial with four repetitions, four irrigation levels, $L_1=0,60 L_b$, $L_2=1,00 L_b$, $L_3=1,40 L_b$ and $L_4=1,80 L_b$ (L_b in the depth of water calculated according to the daily evaporation of class A Pen and the coefficient of the crop) and four levels of nitrogen, $N_1=50$, $N_2=100$, $N_3=150$ and $N_4=200 \text{ kg.ha}^{-1}$. The irrigation was accomplished daily during the cycle of the culture (198 days) after fructification pruning. The fertigation was realized three days a week during the cycle of the crop (80 applications). The total amount of water by treatments (irrigation + precipitation) was $L_1 = 1.144$, $L_2 = 1.465$, $L_3 = 1.785$ and $L_4 = 2.106 \text{ mm}$. The effects of the treatments were evaluated by production, number of fruits by plant, total weight of fruits by plant end medium weight of the fruits. It was, also, analyzed the effects of the treatments under the physical economical productivity of guava, being considered the cost of the water R\$ 0,65 mm.ha^{-1} and the cost of the nitrogen R\$ 1,15 kg^{-1} . The results of the analysis of variance and the components of regression presented a square effect of the water and nitrogen factors. The maximum number of fruits by plant is estimated on 466 units with total weight of 112,67 kg/plant with the application L_3N_3 . The maximum economic productivity of 37.258 kg.ha^{-1} with application $L = 1.766 \text{ mm}$ and $N = 144 \text{ kg.ha}^{-1}$, the total income was R\$ 14.143,78 ha^{-1} on the other hand, the nitrogen level presented the maximum economic productivity of 42.425 kg.ha^{-1} with application $N=144 \text{ kg.ha}^{-1}$ and $L = 1.785 \text{ mm}$, the total income was R\$ 18.715,18 ha^{-1} . The productivity for the two factors ($L \times N$) was 35.594 kg.ha^{-1} with the application of $L = 1.721 \text{ mm}$ and $N = 167 \text{ kg.ha}^{-1}$, with total income of R\$ 13.154,68 ha^{-1} .

Key words: fruit culture, irrigation management, economic analysis.

1. INTRODUÇÃO

São muitas as vantagens econômicas e sociais da fruticultura irrigada, como elevação do nível de emprego, fixação do homem no campo, melhor distribuição da renda regional, geração de produtos de alto valor comercial e expressivas receitas e impostos, além de excelentes expectativas de mercado interno e externo gerando divisas. Em 2004 foram produzidas em torno de 920.000 toneladas de frutas diversas, através da fruticultura irrigada, com receita bruta superior a R\$ 200 milhões e geração de mais de 50.000 empregos diretos e indiretos (CODEVASF 2005). De acordo com a IBRAF (2005), a fruticultura é um dos segmentos de maior destaque na agricultura brasileira, cuja produção em 2002 atingiu o patamar de 38 milhões de toneladas de frutas, com uma exportação de 668 mil toneladas e faturamento de US\$ 241 milhões. São mais de 40 culturas exploradas, destacando-se manga, uva, coco e banana. Entre as novas alternativas, encontra-se a cultura da goiaba, atividade de alta rentabilidade e com grande possibilidade de expansão no país.

Originária de regiões de clima tropical e subtropical, a goiabeira (*Psidium guajava* L.) vegeta e produz, satisfatoriamente, desde ao nível do mar até a altitude de 1.700 metros. É uma planta relativamente resistente à seca, exige temperaturas médias anuais superiores a 22°C e adapta-se bem a noites de temperaturas amenas. Adapta-se melhor em solos areno-argilosos, profundos, bem drenados, com faixa de pH entre 5,5 e 6,8 e, preferencialmente, cultivados antes com outras culturas, para reduzir o custo de correção da acidez e elevação da matéria orgânica (MEDINA 1991).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais desta fruta juntamente com a Índia, Paquistão, México, Egito e Venezuela. A produção brasileira em 2000 foi cerca de 300 mil toneladas de goiaba, colhida em 13,5 mil hectare, tendo como principal produtor os estados de São Paulo, Pernambuco e Bahia, que juntos respondem por mais de 80% do volume produzido no Brasil (BRASIL, 2001).

Dentre as cultivares, pode-se citar a Pedro Sato, a Rica e a Paluma, de aptidões mistas, muito utilizadas para renovação ou implantação de novos pomares, com destino prioritário à indústria, especialmente as duas últimas, sendo a 'Paluma' a mais difundida no País (KAVATI, 1997). Pelas características tecnológicas da goiaba 'Paluma' é possível se produzir goiabada, geléia e compota de alta qualidade, com amplas vantagens em relação ao material tradicionalmente cultivado, apresentando assim, dupla finalidade, consumo “in natura” e industrializado (MANICA et al. 2001).

O cultivo irrigado de goiabeira no Nordeste brasileiro tem um nível de produtividade relativamente alto em relação às outras regiões do país e pode produzir até duas safras por ano, devidas principalmente, à alta disponibilidade de energia solar, permitindo ao agricultor comercializar seus frutos em diferentes épocas do ano. Irrigando a lavoura e fazendo podas programadas é possível colher durante todo o ano, permitindo ao produtor a comercialização dos frutos no período de entressafra. Efetuando-se o devido controle de pragas e doenças, é possível obter produtividade superior a 40 toneladas por hectare (GONZAGA NETO & SOARES, 1994).

A região semi-árida paraibana, principalmente os vales úmidos dos rios Piancó, Piranhas e do Peixe, tem alta potencialidade para instalação de culturas nobres como a videira, mangueira e goiabeira, dentre outras, devido às condições favoráveis de solo, clima. Estes fatores são requeridos para implantação de grandes projetos agrícolas com fruteiras, a exemplo do Vale do São Francisco. As fruteiras, quando irrigadas, encontram condições essenciais para desenvolver todo o seu potencial produtivo, proporcionando altos rendimentos e maior retorno econômico para o fortalecimento da agricultura familiar.

O desenvolvimento da agricultura, a intensificação dos cultivos, o aspecto econômico, a falta de água em algumas regiões e a escassez de mão-de-obra requerem maior eficiência e controle nas aplicações de água e fertilizantes, visando à manutenção da capacidade produtiva dos solos e à obtenção de frutos de boa qualidade, que atendam às exigências dos mercados consumidores. Tem-se mostrado que a fertilização combinada com a irrigação responde às necessidades agrícolas, sendo adaptável aos diferentes planos

de irrigação em todos os sistemas, sejam eles fixos, semi-fixos ou móveis (THREDGILL et al., 1990).

O manejo dos fertilizantes em fruteiras tropicais deve levar em consideração a necessidade da cultura, a disponibilidade de nutrientes no solo, o modo e o custo de distribuição do fertilizante no campo, o parcelamento de acordo com as fases de desenvolvimento da planta e a preservação do meio ambiente.

O lucro constitui o principal objetivo da empresa agrícola, portanto, o uso racional dos recursos disponíveis no processo de produção, de forma a se obter os mais altos níveis de rendimento econômico, deve ser considerado. As maiores variações no rendimento de uma cultura depende de variações nos níveis de água e de fertilizantes, expressando a alta sensibilidade do rendimento aos níveis destes fatores de produção. Portanto, o uso das funções de resposta das culturas constitui fonte valiosa de informações a ser utilizada nos modelos de tomada de decisão, permitindo a otimização do uso dos fatores envolvidos na produção.

Algumas pesquisas foram realizadas para estudar os efeitos de lâminas (SOUSA, 1997; BASSOI et al. 2002), e os efeitos de nutrientes (MARTINEZ JUNIOR & PEREIRA, 1986; QUEIROZ et al., 1986; GONZAGA NETO, 1982), sobre a produtividade da goiabeira, cultivar distintas, solos e climas variados, no entanto, não se constatou qualquer registro de estudos envolvendo os efeitos conjunto de água e nutrientes sobre o rendimento desta cultura.

O trabalho foi fundamentado na seguinte hipótese: os níveis dos fatores de produção, lâmina de água (L) e nitrogênio (N), proporcionaram efeitos significativos sobre o produto (produtividade da goiabeira).

Para validar esta hipótese foi realizado um experimento com a cultura da goiabeira, cujos objetivos específicos foram: i) estudar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio, aplicados via fertirrigação na produtividade da goiabeira variedade Paluma, irrigada por microaspersão; ii) determinar os níveis econômicos de lâmina de água e nível de nitrogênio que proporcione a máxima receita líquida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura da goiabeira

A goiabeira pertence à família *Myrtaceae*, abrangendo mais de 70 gêneros e aproximadamente 2.800 espécies, distribuídas em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo, principalmente na América e na Austrália (PEREIRA, 1995). O gênero *Psidium* compreende de 110 a 130 espécies de árvores e arbustos, todos naturais da América Tropical e Subtropical, sendo a espécie *Psidium guajava* L. a mais conhecida e importante no Brasil (MEDINA, 1991; PEREIRA, 1995).

A goiabeira é um arbusto de pequeno porte, que em pomares adultos conduzidos sem poda, pode atingir de 3 a 6 m de altura. O tronco é geralmente tortuoso, liso e descamante, com diâmetro médio de 15 a 30 cm. As folhas são oblongas ou elípticas, opostas, com pontos glandulares diminutos, curto-pecioladas, comprimento variando de 5 a 15 cm e largura de 3 a 6 cm, ligeiramente grossas e coriáceas, de cor verde ou verde-amarelada e ligeiramente lustrosa na face superior, caindo após a maturação. O sistema radicular formado de raízes adventícias primárias, que se concentram a uma profundidade de solo de 30 cm. As flores são brancas, hermafroditas, e surgem em botões isolados ou em grupos de dois ou três botões, sempre na axila das folhas que brotam em ramos maduros, após poda de frutificação ou naturalmente. O fruto é do tipo baga, com formato ovóide, piriforme ou arredondado, com diâmetro médio de 5 a 7 cm e comprimento médio de 4 a 12 cm, comumente de cor amarelada na maturação, com polpa succulenta doce e um forte

aroma agradável. As sementes são numerosas, reniformes e de cor amarela (MEDINA, 1991; GONZAGA NETO & SOARES, 1994; PEREIRA, 1995; GONZAGA NETO, 2001).

A goiaba é uma fruta de ótima qualidade nutritiva, pois, além de conter cerca de 150 a 209 calorias por 100 g de fruta, possui um dos mais altos teores de vitamina C (ácido ascórbico), vitaminas A e do grupo B, como tiamina e niacina, além de fósforo, ferro e cálcio. Além de ser consumida sob a forma de doces, sucos, geléias e compotas, a goiaba também é saboreada como fruta fresca. Estas características proporcionam à fruta um excelente mercado e uma função nutricional das mais importantes (FIORAVANÇO et al., 1994; GONZAGA NETO & SOARES, 1994; GONZAGA NETO, 2001). Além da expressividade econômica, segundo PEREIRA & MARTINEZ JÚNIOR (1986), a goiaba é um dos frutos tropicais e subtropicais de maior valor nutricional. Tais características são importantes quando o destino da produção é o consumo *in natura*, e podem representar redução no uso de aditivos químicos nos frutos processados.

A goiabeira, embora originária da América Tropical, encontra-se, hoje, amplamente difundida por regiões de clima subtropical, onde se localiza a maioria dos plantios comerciais. A cultura vegeta e produz, satisfatoriamente, desde ao nível do mar até altitudes em torno de 1.700 m, sendo os limites de difusão da cultura condicionados, particularmente, pela temperatura, luminosidade, umidade atmosférica e pela disponibilidade hídrica do solo. Em decorrência de diferenças climáticas, a época de florescimento, assim como a sua duração, pode diferir de um local para outro. Em regiões de clima tropical, as goiabeiras podem florescer e frutificar, continuamente, durante o ano todo, desde que haja disponibilidade hídrica no solo (MEDINA, 1991; GONZAGA NETO & SOARES, 1994).

A goiabeira é tolerante a vários tipos de climas tropicais e subtropicais, porém, a temperatura do ar é um dos fatores que mais influenciam na produtividade e na qualidade dos frutos. A faixa ideal de temperatura está entre 23°C e 38°C. A umidade do ar durante o ciclo da goiabeira é muito importante, podendo influenciar tanto os aspectos fisiológicos quanto ao surgimento de doenças fúngicas. Valores mais elevados proporcionam o desenvolvimento de ramos mais vigorosos, porém, quando associados às temperaturas ambientais elevadas, a incidência de fungos é muito maior, provocando mais danos econômicos, e podendo inviabilizar a produção comercial de frutos (GONZAGA NETO, 1990).

Em relação à precipitação pluviométrica, a goiabeira não é resistente às secas, segundo Medina (1991) em regiões com estação de seca prolongada (em torno de 5 meses durante o ano), obtém-se uma única safra anual, no entanto, com a irrigação podem-se obter frutos em qualquer época do ano (GONZAGA NETO, 1990).

A goiabeira adapta-se melhor aos solos areno-argilosos, profundos e bem drenados, ricos em matéria orgânica, com pH entre 5,0 e 6,5. As plantas não prosperam em terras pantanosas, encharcadas ou úmidas, ficando raquíticas e doentes. Os solos excessivamente argilosos ou arenosos, os impermeáveis e os muito ácidos ou rasos devem ser evitados para o seu cultivo (MEDINA, 1991; GONZAGA NETO, 2001).

Pomares de goiabeira destinados, principalmente, à produção de frutas para consumo *in natura* devem ser podados de acordo com a conveniência do produtor visando à frutificação. Sabe-se que a goiabeira responde bem a poda de frutificação, pois independentemente da época do ano, as flores surgem somente nas brotações oriundas dos ramos maduros, no entanto, devem-se observar dois aspectos importantes, que são a época e a intensidade da poda; a poda poderá ser programada em função do período de colheita e comercialização dos frutos, isto é, dependerá do período em que se pretende comercializar a produção. Quanto à intensidade, a poda de frutificação pode ser definida como contínua ou drástica. A seleção de um ou outro método depende basicamente do sistema de manejo e da expectativa de venda do produtor, que devem estar atrelados às conveniências do mercado comprador (GONZAGA NETO, 2001).

Dentre as cultivares, podem-se citar a Pedro Sato, a Rica e a Paluma, de aptidões mistas, muito utilizadas para renovação ou implantação de novos pomares, com destino prioritário à indústria, especialmente as duas últimas (KAVATI, 1997). As plantas da cultivar Paluma são altamente produtivas ($50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), destacando-se atualmente, como a principal entre as cultivadas e comercializadas no Brasil nos últimos anos, principalmente, no Nordeste brasileiro (KAVATI, 1997; GONZAGA NETO, 2001; LIMA et al., 2002).

Além de ser apreciada para consumo *in natura*, os frutos da goiaba 'Paluma' são indicados para produção de goiabada, geléia e compotas de alta qualidade, por suas características tecnológicas com amplas vantagens em relação ao material tradicionalmente cultivado (MANICA et al. 2001).

O fruto da goiabeira 'Paluma' tem peso entre 140 e 250 g, forma ovóide com pescoço curto, diâmetros longitudinal de 8 a 10 cm e transversal de 7 a 9 cm; com peso

médio de 140,2 g, polpa com coloração vermelha intensa, espessura de 1,2 a 1,3 cm, pequena porcentagem de sementes (4,96%) e bom rendimento de polpa (93,76%); apresenta, ainda, consistência firme, sabor muito bom e boa capacidade de conservação pós-colheita (MEDINA, 1991; KAVATI, 1997).

2.2. Necessidades hídricas

A goiabeira é muito exigente quanto a condições hídricas. O cultivo em sequeiro só será satisfatório em regiões com precipitação pluvial anual entre 800 e 1.000 mm. Nas áreas onde a precipitação é suficiente e as chuvas são bem distribuídas não há necessidade de irrigações suplementares para que se obtenham safras compensadoras.

Zanini & Pavini (1997) chamam a atenção para a importância da boa distribuição das precipitações ao longo do período de crescimento ativo da goiabeira, tais como; brotação, florescimento e desenvolvimento dos frutos. Qualquer deficiência hídrica pode acarretar redução na produção e na qualidade dos frutos.

Em algumas áreas de cultivo onde ocorrem precipitações insuficientes e altas demanda evapotranspiratória, como no caso do semi-árido brasileiro, torna-se necessário o fornecimento de água por meio da irrigação, considerando o atendimento das necessidades fisiológicas de crescimento, manutenção e de produção de frutas. Nessas condições, a goiabeira ainda pode sofrer certo grau de estresse hídrico quando o fornecimento de água não atende à demanda evapotranspiratória. Uma deficiência hídrica prolongada pode provocar atraso no florescimento e queda dos frutos, com redução significativa da produtividade (SOUZA et al., 1997).

O excesso de chuvas, por outro lado, combinando com temperaturas elevadas, torna a cultura muito susceptível a doenças fúngicas e ainda proporciona a obtenção de frutos mais aquosos, com baixo teor de açúcar e de ácido ascórbico. Para evitar os inconvenientes causados pelo excesso de precipitação pluviométrica, é preferível que a cultura vegete em condições em que as necessidades hídricas sejam satisfeitas por meio da irrigação. Os frutos colhidos no período chuvoso têm menor resistência pós-colheita e deterioram-se com maior facilidade por causa do excesso de água (GONZAGA NETO, 2001).

Em regiões de clima tropical, a goiabeira pode florescer e frutificar continuamente durante o ano todo, desde que haja disponibilidade hídrica no solo, observando-se também a possibilidade de se obter duas safras por ano (MEDINA, 1991).

A necessidade de água para as culturas é um parâmetro extremamente importante, seja para o dimensionamento do sistema de irrigação, seja para o manejo da água ao longo do ciclo fenológico. Para culturas frutícolas como a goiabeira, a demanda de água pode ser calculada com base na evapotranspiração de referência (GONZAGA NETO, 2001).

De acordo com Doorembos & Kassam (1994), a evapotranspiração é um processo dinâmico, sendo representada pelas perdas ocorridas na forma de vapor, através da superfície do solo (evaporação) e foliares (transpiração), com variações locais e espaciais provocadas pelas condições edafoclimáticas e pelo estágio de desenvolvimento da cultura.

As necessidades hídricas das plantas são estimadas, geralmente, com base no processo da evapotranspiração de referência (ET_o), através de diferentes fórmulas obtidas por autores diversos, dentre eles, a de Penman-Monteith. Essas fórmulas baseiam-se em dados meteorológicos e variam bastante, necessitando desde poucos dados até modelos mais complexos que exigem um grande número de elementos climáticos. O método de Penman-Monteith é considerado atualmente o método padrão para cálculo de ET_o . No entanto, este método necessita de dados meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis nas localidades irrigadas. Uma maneira bastante prática e barata de se estimar a ET_o , é através do Tanque Classe A (SILVA, 2002).

O tanque Classe A tem sido adotado em diversas áreas com irrigação, principalmente no Nordeste Brasileiro. A partir dos valores de ET_o , pode-se determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) multiplicando-se ET_o por um coeficiente K_c . Os valores de K_c dependem da área foliar e podem variar conforme a região, a espécie cultivada, o sistema de irrigação e o manejo adotado (ALLEN et al., 1998).

Segundo Sedyama (1996), quando se deseja um manejo racional na prática da irrigação, a determinação do total de água necessário durante o ciclo de uma cultura, tem-se como fator básico a evapotranspiração de referência (ET_o).

Poucos são os estudos existentes no Nordeste brasileiro que quantificam as necessidades hídricas da goiabeira para as condições semi-áridas. Moura (2005) obteve evapotranspiração do pomar de goiabeira determinada pelo método do balanço de energia com base na Razão de Bowen, em média, igual a $5,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, já a determinada pelo balanço hídrico no solo para o tratamento em área de produtor foi igual a $6,3 \text{ mm.dia}^{-1}$.

Ferreira (2004) utilizou medidas da umidade do solo obtidas com sonda de nêutrons e TDR para determinar o consumo de água em um pomar de goiabeiras instalado num Latossolo Vermelho amarelo de textura média, sob irrigação por microaspersão no Submédio São Francisco. De acordo com os resultados obtidos, o consumo total de água pela cultura foi igual a 679,17 mm e 691,38 mm, determinados pelo BHS com a umidade do solo determinada, respectivamente, pela sonda de nêutrons e pelo TDR, o que resultou em um consumo médio diário de 3,63 mm e 3,70 mm, respectivamente.

Bassoi *et al.* (2002), estudando o manejo de água em goiabeira, quando cultivadas no espaçamento de 6 m x 5 m e irrigada por microaspersão, com 42% de área molhada, encontraram consumo de água variando de 17,1 a 49,3 L/planta.dia⁻¹ para o primeiro ciclo de produção e de 39,6 a 60,2 L/planta.dia⁻¹ para o segundo ciclo.

2.3. Necessidades Nutricionais

Como planta bastante rústica, a goiabeira adapta-se bem aos mais variados tipos de solos. Essencialmente, o que se requer nos pomares para produção de frutas destinadas ao consumo *in natura* é o manejo adequado em termos de nutrição e adubação. Como toda frutífera, a goiabeira tem alta demanda de nutrientes; para a obtenção de alta produtividade, frutos de qualidade e plantas com maior longevidade, devem-se realizar práticas corretivas do solo como calagem e adubação. Com uma adubação adequada e bem equilibrada, o produtor se beneficiará da qualidade dos frutos, do estado fitossanitário e do vigor das plantas, bem como da produtividade de seu pomar. Por se tratar de planta produtora prolífera e crescer sob condições diversificadas de clima e solo, a goiabeira é frequentemente negligenciada quanto a uma adubação correta (TAVARES *et al.*, 1995).

Dispõe-se de poucos resultados de pesquisas realizadas no Brasil e em outros países que determinem as verdadeiras necessidades nutricionais dessa cultura (MAIA *et al.*, 1991). Enquanto, para a maioria das fruteiras economicamente importantes, já se conhecem as chamadas doses econômicas de nitrogênio, fósforo e potássio para cada tipo de solo, determinadas a partir de resultados experimentais, para a goiabeira praticamente inexistem recomendações (MEDINA, 1991).

Considerando que a goiabeira se desenvolve e produz satisfatoriamente em solos com pH de 5,0 a 6,5, é preciso que a cada dois anos, pelo menos, se faça uma análise do solo do goiabal, para verificar não só a necessidade de aplicação de corretivos, mas também para adequar os níveis de cálcio e magnésio. Sabe-se que a goiabeira necessita mais de N, P, K, e Ca para o crescimento vegetativo, e de N, P e K para a frutificação. Gonzaga Neto (1990) frisa que as recomendações sobre adubação formuladas para uma região nem sempre devem ser adotadas generalizadamente, principalmente se não forem acompanhadas de uma caracterização minuciosa do solo e da tecnologia de manejo adotada.

Segundo Martinez Júnior & Pereira (1986), a goiabeira responde positivamente à adubação nitrogenada no que diz respeito ao aumento da produtividade, enquanto que a resposta à adição de fósforo é positiva apenas em baixos níveis ($150 \text{ g.planta}^{-1}$ de P_2O_5). Esses autores recomendam a dosagem de 300-150-300 g/planta de NPK, respectivamente. Queiroz et al. (1986) informam que adubações potássicas em períodos que antecedem a colheita melhoram a qualidade do fruto.

Gonzaga Neto (1982) recomenda adubação com 200 g de sulfato de amônio, 400 g de superfosfato simples e 200 g de cloreto de potássio por planta, após cada ciclo fenológico de produção.

A composição química da goiaba é dependente da variedade, da nutrição, do estágio de maturação e das condições climáticas durante o período de desenvolvimento dos frutos. O conhecimento da composição química mineral dos frutos proporciona subsídios, não só para um programa de adubação e restituição ao solo, como também, para a manutenção de sua fertilidade. De acordo com EMBRAPA (1999), o nível adequado de nitrogênio na análise foliar da goiabeira deve variar de 20 a 26 g.kg^{-1} .

Segundo Natale et al. (1996; 2002), para o desenvolvimento inicial da goiabeira a necessidade de macronutrientes obedeceu à ordem decrescente, $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$ em folhas. Os mesmos autores encontraram teores de macronutrientes, N ($20\text{-}23 \text{ g.kg}^{-1}$); K ($14\text{-}17 \text{ g.kg}^{-1}$); Ca ($7\text{-}11 \text{ g.kg}^{-1}$); Mg ($3,4\text{-}4,0 \text{ g.kg}^{-1}$) e P ($1,4\text{-}1,8 \text{ g.kg}^{-1}$), considerados adequados para a goiabeira a partir do 3º ano de idade, determinados em folhas coletadas durante o período de pleno florescimento.

Tavares et al. (1995), estudando o efeito de fósforo no desenvolvimento inicial de mudas de goiabeira, concluíram que os teores de N e K no tecido da parte aérea diminuem e os de P aumentam com o nível de fósforo aplicado ao solo.

2.4. Irrigação

De acordo com Scaloppi (1986), fatores técnicos, econômicos e culturais, interferem na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado. Dentre tais fatores, destacam-se: i) recursos hídricos (potencial hídrico, situação topográfica, qualidade e custo da água); ii) topografia; iii) solos (retenção de água, infiltração, características químicas e profundidade); iv) clima (precipitação, vento e umidade relativa); v) cultura (exigência agrônômica e valor econômico); vi) aspecto econômicos (custos iniciais, operacionais e de manutenção); e vii) fatores humanos (nível educacional, poder aquisitivo e tradição, dentre outros).

Ferreira et al. (1998) recomendam, para a grande maioria das culturas, dentre elas a fruticultura, o uso do método de irrigação localizada. No entanto, o custo inicial deste método é relativamente alto, apesar de ser um método que permite automação total, o que requer menor emprego de mão-de-obra na operação.

Segundo Natale & Prado (2004), um aspecto importante da agricultura moderna é o uso da irrigação, que permite manter a umidade no solo adequada para que a planta expresse todo o seu potencial genético de produção. A fruticultura irrigada tem efeito positivo em dois aspectos dos mais importantes na moderna e globalizada economia atual, quais sejam: aumento da produtividade e a melhoria da qualidade dos frutos.

Dentre os sistemas de irrigação, a localizada, proporciona aumento significativo no rendimento das culturas e uma grande economia de água (BAR-YOSEF et al. 1999). Lopez et al. (1992) mencionam, também, que a irrigação localizada possibilita o uso da fertirrigação, maior eficiência no controle de pragas e doenças, não interfere nas práticas culturais, adapta-se a diferentes tipos de solos e topografias e pode ser usada com água salina ou em solos salinos. Como geralmente são instalações fixas, formadas por unidades de irrigação com funcionamento independente, prestam-se muito bem ao emprego da automatização operacional programada.

A aplicação de pequenas vazões aliada à necessidade de não molhar toda a superfície do terreno cultivado, implica numa substancial economia de água em relação a outros métodos de irrigação. As perdas d'água por percolação e por evaporação são pequenas e as por escoamento superficial praticamente inexistem (LOPEZ et al. 1992).

Segundo Almeida et al. (2004), o uso eficiente da irrigação tem grande importância na obtenção de elevadas produtividades, na redução dos custos de produção e, certamente,

na manutenção da fertilidade do solo, conservação do meio ambiente, diminuição dos riscos de erosão e lixiviação dos nutrientes.

Testezlaf (1997) aconselha utilizar a microaspersão em locais onde há escassez de água, o que é o caso do semi-árido nordestino, e no cultivo da fruticultura, pelo fato de esse tipo de cultura apresentar alto rendimento na colheita, compensando, assim, o elevado custo de instalação desse sistema. Segundo Ranieri et al. (2003), a fruticultura perene tem grande adaptação a esse sistema, principalmente pelo fato de não aplicar água na parte aérea das plantas, facilitando, assim, o controle de pragas e doenças.

O cultivo da goiabeira irrigada no Nordeste brasileiro apresenta um nível de produtividade relativamente alto, em relação às outras regiões do país, pode produzir até duas safras por ano, devidas principalmente à alta disponibilidade de energia solar, permitindo ao agricultor comercializar seus frutos em diferentes épocas do ano (GONZAGA NETO & SOARES, 1994).

2.5 Fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica utilizada há anos pelos agricultores dos Estados Unidos, Israel e Itália, tornando-se de uso generalizado nesses países com o desenvolvimento de sistemas de irrigação modernos. No Brasil, o emprego da fertirrigação é em geral mais adotada pelos produtores que utilizam irrigação localizada e pivô central. Essa técnica ajusta-se bem à fertilização de fruteiras, exigentes em nutrientes, nitrogênio e potássio (SOTO, 1992; BORGES et al., 1997; GOMES & NÓBREGA, 2000).

A fertirrigação é uma prática agrícola essencial ao manejo das culturas irrigadas quando se utilizam sistemas de irrigação localizada e pivô central, sendo uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicação de fertilizantes às plantas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Com a aplicação de fertilizantes em menor quantidade por vez e numa maior frequência, é possível manter um nível uniforme de nutrientes no solo durante todo o ciclo da cultura, o que aumenta a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (BERNARDO, 1995).

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e de equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com água de

irrigação (SOUSA & SOUSA, 1998), viabilizando o acompanhamento e o controle dos nutrientes no perfil do solo e de seus efeitos na água, no solo e na cultura.

Papadopoulos (1999) enfatizando a necessidade de aumentar a produtividade agrícola em virtude do incremento populacional, cita a fertirrigação como uma prática capaz de promover esse acréscimo nos rendimentos a serem alcançados.

Lopez (2000) afirma que a fertirrigação bem planejada possibilita o uso mais eficiente da água e dos nutrientes por ela carregados, proporcionando, assim, a redução de acúmulo de sais no solo e de desequilíbrio hídrico e nutricional.

A aplicação de pequenas quantidades de fertilizante via água de irrigação durante todo o ciclo da cultura, sem causar problemas de deficiência ou de toxidez por nutrientes, além de manter níveis ótimos de nutrientes no solo, permitem maiores índices de aproveitamento de fertilizantes, como também pode reduzir as perdas dos nutrientes por lixiviação, comuns na adubação convencional (SOUSA & SOUSA, 1998).

O uso da tecnologia de fertirrigação está diretamente relacionado com a extensão de seu retorno financeiro. O nível de aumento na produtividade, a melhora na qualidade do produto, uso eficiente das aplicações e a economia de energia e de mão-de-obra, são fatores principais, diretamente relacionados à aceitação do procedimento da fertirrigação pelos agricultores (PAPADOPOULOS, 2001).

De acordo com Nakayama & Bucks (1986), a injeção de produtos químicos via água de irrigação é um importante e eficiente componente de operação em todos os sistemas, principalmente em irrigação localizada.

O uso de irrigação localizada permite a aplicação parcelada e de forma racional dos fertilizantes em quantas vezes forem necessárias, obedecendo às exigências da cultura, conforme as fases de seu ciclo (LOPEZ, 2001).

Como o nitrogênio é um nutriente móvel no sistema solo-planta e se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação, o parcelamento durante o ciclo das culturas e sua aplicação diretamente na zona efetiva do sistema radicular, pode aumentar a eficiência de utilização desse nutriente (PAPADOPOULOS, 1999).

Burt et al., (1995) afirmam que a fertirrigação é a mais econômica e eficiente forma de aplicação de fertilizantes, especialmente quando utilizado através de sistemas de irrigação localizado. A fertirrigação assegura que os fertilizantes sejam aplicados diretamente na região de maior concentração de raízes das plantas, permitindo o fracionamento das doses e o aumento na eficiência da adubação. A quantidade de

nutrientes lixiviados do solo é função da lâmina de água perdida por percolação e da concentração dos nutrientes no perfil do solo, potencialmente lixiviáveis. No entanto, estas perdas são influenciadas pela uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação, pela lâmina de água aplicada por irrigação, pela capacidade de retenção de água no solo na profundidade efetiva da raiz, pelo tipo de fertilizante usado via fertirrigação, pela frequência de aplicação e pelo tipo de solo.

Segundo Coelho et al. (2001), em áreas irrigadas, com aplicação localizada de água (gotejamento e microaspersão), pode ser afetada a distribuição de raízes no perfil do solo, e que a fertirrigação é a alternativa mais adequada de aplicação de fertilizantes ao solo. Assim, todo o volume de solo explorado pelas raízes absorventes (especialmente as finas e muito finas) recebe os nutrientes, permitindo a absorção por um maior número de raízes, enquanto, na aplicação via solo, a certa distância do tronco da planta, apenas parte do sistema radicular tem acesso aos nutrientes, sendo, pois, necessária uma quantidade maior para a mobilização dos elementos e a absorção dos mesmos. Além disso, a possibilidade do fornecimento de água e nutrientes em conjunto, pode satisfazer a exigência nutricional da planta em qualquer fase do ciclo de produção, permitindo maior número de parcelamentos e, conseqüentemente, aumento da eficiência dos fertilizantes.

O nitrogênio e o potássio são os elementos aplicados com maior frequência via água de irrigação; enquadram-se perfeitamente a essa técnica devido à alta mobilidade no solo e quase 100% de solubilidade em água. Com o uso da fertirrigação, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados e potássicos de acordo com a demanda das culturas, aumentando a eficiência de uso dos nutrientes, e reduzindo as perdas por lixiviação (COELHO, 1994).

2.6. Função de Produção

Na agricultura irrigada, o fator água deve ser otimizado, possibilitando, sem maiores riscos, aumentar a utilização dos demais insumos de produção e, como conseqüência, obter maiores produtividades com uma melhor combinação dos insumos empregados. Para tanto, o conhecimento das funções de produção, obtidas por meio das superfícies de resposta e curvas de respostas (isoproducto), é fundamental para auxiliar nas

decisões, haja vista que estas funções possibilitam determinar as interações entre os diversos fatores (água e adubação) que afetam a produtividade, e escolher as soluções mais condizentes com a realidade regional, permitindo assim o manejo racional da irrigação em bases técnicas e economicamente viáveis (BERNARDO, 1998).

Segundo Frizzone (1993), a função de resposta ou de produção das culturas é uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para uma dada tecnologia conhecida. Assim, ao se supor que a função de resposta representa o máximo que se pode obter com o uso de cada combinação de insumos, está se definindo uma relação funcional entre os insumos e o produto. O mesmo autor chama atenção para o fato de que a produção das culturas em resposta a água aplicada depende de fatores tais como quantidade e frequência de irrigação, método de aplicação de água, estágio de desenvolvimento da cultura, variabilidade do solo, condições climáticas, entre outros.

Uma função de produção é uma representação gráfica ou uma relação estatística que expressa os relacionamentos entre insumos e produtos. Indica, também, a máxima quantidade de produto que pode ser obtida de uma quantidade específica de insumos, dentro de uma dada tecnologia adotada (FRIZZONE, 1993), e pode ser representada por uma função estatística com derivadas de primeira e segunda ordem (FRIZZONE, 1998).

A forma da função de produção indica que quanto maior a quantidade de fatores utilizados, maior será o nível do produto obtido até alcançar o máximo. As possibilidades de combinação, por exemplo, água (W) e fertilizante (X) para obtenção de rendimento de uma determinada cultura (Y), incluem toda a área sobre a superfície e no seu interior. Os diversos níveis de produção são obtidos a partir das diversas combinações, tecnicamente possíveis de W e X. Se as combinações de W e X estiverem sobre a superfície, elas serão tecnicamente eficientes e se estiverem abaixo da superfície, serão tecnicamente deficientes (AGUIAR, 2005).

A exploração de qualquer atividade agrícola que se destina à obtenção de um produto requer a utilização de certa quantidade de recursos, que são combinados em quantidade e qualidade conforme o conhecimento de tecnologias disponíveis, por quem decide realizar a exploração. A relação entre o processo de conversão de diversos fatores de produção (recursos) em um determinado produto é uma função de produção, cuja relação insumo-produto pode ser contínua ou descontínua (AGUIAR, 2005).

A função de resposta da cultura à água é um importante dado para qualquer decisão pública ou privada em programas de utilização do uso ótimo de água. Representa, na verdade uma dada produção tecnológica expressa em coeficientes físicos de entrada e saída e um sistema de compra e venda de produtos. Dantas Neto (1994) utilizou funções de resposta da cultura à água, associada à técnica de programação linear, para otimizar o padrão de cultivo do projeto de irrigação Senador Nilo Coelho, PE. A otimização dos recursos água proporcionou maior área irrigada e conseqüentemente um aumento de 37% nos lucros.

Em uma função de produção, quando se faz variar um único fator e se mantém os demais constantes, os rendimentos obtidos do produto final podem assumir valores constantes, crescentes e decrescentes. Na agricultura irrigada, a função de produção engloba um segmento de retornos crescentes para pequenas quantidades do fator variável e um segmento onde prevalece a Lei da Produtividade Marginal Decrescente (AGUIAR, 2005).

Segundo Salomon (1985), a curva de produção versus água aplicada, tem uma zona de déficit de água e outra zona após o ponto de máxima produção, que é a zona de excesso de água, Figura 1a. Para Hargreaves & Samani (1984), o trecho da curva da relação produção versus água aplicada até 50% da quantidade que resulta na produção máxima, pode ser considerado uma reta; a partir daí, os acréscimos de água correspondem a ganhos progressivamente menores na produção, até o ponto de máxima produção, a partir do qual os acréscimos na produção são negativos.

Para English (1990), quanto mais à quantidade de água aplicada se aproxima da irrigação sem déficit, menos eficiente é a irrigação. O declínio da curva de produção a partir do ponto máximo deve-se à diminuição da aeração do solo, à lixiviação dos nutrientes e doenças associadas com o solo úmido (STEGMAN et al., 1980).

De acordo com Frizzone (1993), a representação gráfica dos custos de operação e aplicação de água é uma reta, Figura 1b, e a da função que representa a receita líquida é uma curva, Figura 1c; a quantidade de água (W^*) que proporciona a receita líquida máxima é inferior à quantidade de água (W_m) que proporciona a máxima produção.

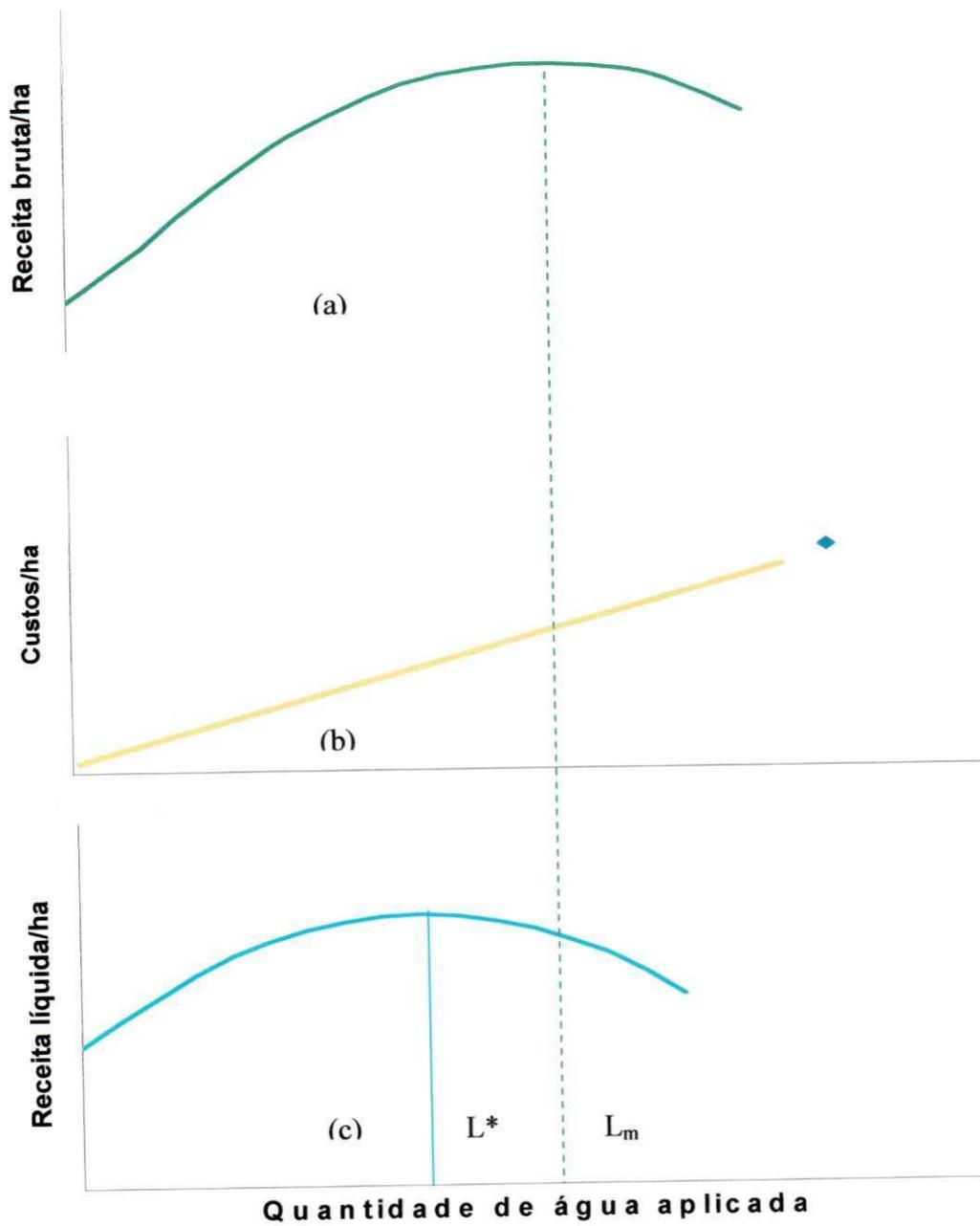


Figura 1. Esquema de funções de receita bruta (a), custo (b) e receita líquida (c), sendo L_m e L^* , respectivamente, as quantidades de água que proporcionam a máxima produtividade e a máxima receita líquida, FRIZZONE (1993).

Segundo Bernardo (1998), o alto custo de implantação do sistema de irrigação, aliado à relação entre o custo de operação da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada, conduz cada vez mais à necessidade de se otimizar tanto o uso da água com um bom manejo da irrigação quanto dos demais insumos de produção. Dentre os fatores de produção, a água e a adubação são os que limitam os rendimentos com maior intensidade.

Quando se estuda esta relação como uma função de dois fatores, um modelo polinomial é originado, e sua representação gráfica é uma curva de resposta que projetada num gráfico de duas dimensões origina isolinhas de contorno. Cada isolinha representa as diferentes combinações de fatores (quantidade de água aplicada e doses de adubação) necessários para o rendimento fixado num dado nível, induzindo o conceito de que um fator pode ser substituído por outro na obtenção de determinado produto (MELLO JÚNIOR, 1992; FRIZZONE, 1993; AGUIAR, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em um pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), variedade Paluma espaçamento de 6,0 x 5,0 m, com quatro anos de idade, localizado na Estação Experimental de Veludo, pertencente à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba-EMEPA, município de Itaporanga-PB, cujas coordenadas geográficas são 07°18'00'' de latitude Sul e 38°09'0'' de longitude oeste, e altitude 291m, a aproximadamente 300 km do centro da cidade de Campina Grande - PB.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo AW', quente e úmido com chuvas de verão e de outono, precipitação média anual de 806 mm, concentrada nos meses de janeiro a abril; as médias de temperatura anual nunca são inferiores a 24°C e a umidade relativa do ar média anual de 73,8%.

A cultura foi implantada em solo classificado como Neossolo (SUDENE, 1972), com relevo tipicamente plano. Este tipo de solo é pouco evoluído e diferencia-se em grande parte pelo seu material de origem e paisagem, ocorrendo nas áreas ribeirinhas da bacia do rio Piancó e em alguns de seus afluentes, com bom potencial para explorações agrícolas. Sua textura é franco-argilosa para as camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m e as suas características físico-hídricas e químicas determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, conforme metodologias propostas por EMBRAPA (1997), podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Características físico-hídricas do solo cultivado com goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade. Itaporanga, PB, 2005.

Características Físicas	Profundidade (m)	
	0 – 0,20	0,20 – 0,40
Granulometria (%) Areia	41,89	44,61
Silte	26,92	28,15
Argila	31,19	27,24
Classificação Textural	Franco-argilosa	Franco-argilosa
Densidade do solo (g.cm^{-3})	1,29	1,27
Densidade das partículas (g.cm^{-3})	2,77	2,76
Porosidade total (%)	53,42	53,98
Características Hídricas		
Umidade (%) - Natural	3,46	2,82
10 kPa	29,11	26,37
33 kPa	23,85	22,36
100 kPa	18,44	16,18
500 kPa	12,18	11,10
1000 kPa	11,43	10,38
1500 kPa	11,42	10,35
Água Disponível (33 –1500 kPa)	12,63	12,01

Tabela 2 - Características químicas do solo cultivado com goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade. Itaporanga, PB, 2005.

Características Químicas	Profundidade	Profundidade
	(0-0,20 m)	(0,20-0,40 m)
Cálcio (cmol_c.kg⁻¹)	6,80	7,20
Magnésio (cmol_c.kg⁻¹)	7,68	7,88
Sódio (cmol_c.kg⁻¹)	1,87	2,05
Potássio (cmol_c.kg⁻¹)	0,38	0,32
S (cmol_c.kg⁻¹)	16,73	17,45
Hidrogênio (cmol_c.kg⁻¹)	0,00	0,00
Alumínio (cmol_c.kg⁻¹)	0,00	0,00
T (cmol_c.kg⁻¹)	16,73	17,45
Carbonato de cálcio qualitativo	presença	Presença
Carbono orgânico (g.kg⁻¹)	0,60	0,30
Matéria orgânica (g.kg⁻¹)	1,03	0,65
Nitrogênio (g.kg⁻¹)	0,06	0,03
Fósforo assimilável (mg.kg⁻¹)	14,55	11,37
pH em H₂O (1:2,5)	8,07	7,40
Condutividade Elétrica (dS.m⁻¹)	0,30	0,33

3.2. Manejo da cultura

Foi pesquisada a cultura da goiabeira (*Pisidium guajava* L), cultivar Paluma, com quatro anos de idade, irrigada por um sistema de microaspersão, com um emissor por planta com vazão nominal de 50 L.h^{-1} , a uma pressão de 250 kPa e raio de alcance de 2,5 m. A cultura apresentou um ciclo produtivo de 202 dias, iniciando após poda de frutificação realizada entre os dias 14 e 16 de janeiro 2004, terminando com colheita em 5 agosto de 2004.

Durante todo o experimento, foram realizadas roçagens nas entrelinhas e feitas capinas manuais na forma de coroamento na linha da planta, evitando-se a competição de ervas daninhas. O controle de pragas e doenças foi realizado, preventivamente, com aplicação de inseticidas e fungicidas químicos normalmente indicados e disponíveis no mercado.

3.3. Tratamentos e delineamento experimental

Foram estudados dois fatores de produção: a) lâmina bruta de irrigação (L_b), determinada com base na evaporação diária do tanque classe A (E_t) e no coeficiente da cultura (k_c) (Equação 1), em quatro níveis: $L_1 = 0,60 L_b$; $L_2 = 1,00 L_b$; $L_3 = 1,40 L_b$ e $L_4 = 1,80 L_b$ e b) nitrogênio (N), em quatro níveis: $N_1 = 50$; $N_2 = 100$; $N_3 = 150$ e $N_4 = 200 \text{ kg.ha}^{-1}$, aplicados via fertirrigação. Os tratamentos lâmina total de água (L) e adubação nitrogenada (N) foram fatorialmente combinados (4×4) resultando em 16 tratamentos, com quatro repetições, distribuídos sistematicamente, no entanto, para fins de análise utilizaram-se blocos casualizados (Figura 2).

- T₁ (L_1N_1) – Lâmina $0,60 L_b$ e 50 kg.ha^{-1} de N
- T₂ (L_1N_2) – Lâmina $0,60 L_b$ e 100 kg.ha^{-1} de N
- T₃ (L_1N_3) – Lâmina $0,60 L_b$ e 150 kg.ha^{-1} de N
- T₄ (L_1N_4) – Lâmina $0,60 L_b$ e 200 kg.ha^{-1} de N
- T₅ (L_2N_1) – Lâmina $1,00 L_b$ e 50 kg.ha^{-1} de N
- T₆ (L_2N_2) – Lâmina $1,00 L_b$ e 100 kg.ha^{-1} de N
- T₇ (L_2N_3) – Lâmina $1,00 L_b$ e 150 kg.ha^{-1} de N
- T₈ (L_2N_4) – Lâmina $1,00 L_b$ e 200 kg.ha^{-1} de N

- T₉ (L₃N₁) – Lâmina 1,40 L_b e 50 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₀ (L₃N₂) – Lâmina 1,40 L_b e 100 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₁ (L₃N₃) – Lâmina 1,40 L_b e 150 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₂ (L₃N₄) – Lâmina 1,40 L_b e 200 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₃ (L₄N₁) – Lâmina 1,80 L_b e 50 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₄ (L₄N₂) – Lâmina 1,80 L_b e 100 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₅ (L₄N₃) – Lâmina 1,80 L_b e 150 kg.ha⁻¹ de N
 T₁₆ (L₄N₄) – Lâmina 1,80 L_b e 200 kg.ha⁻¹ de N

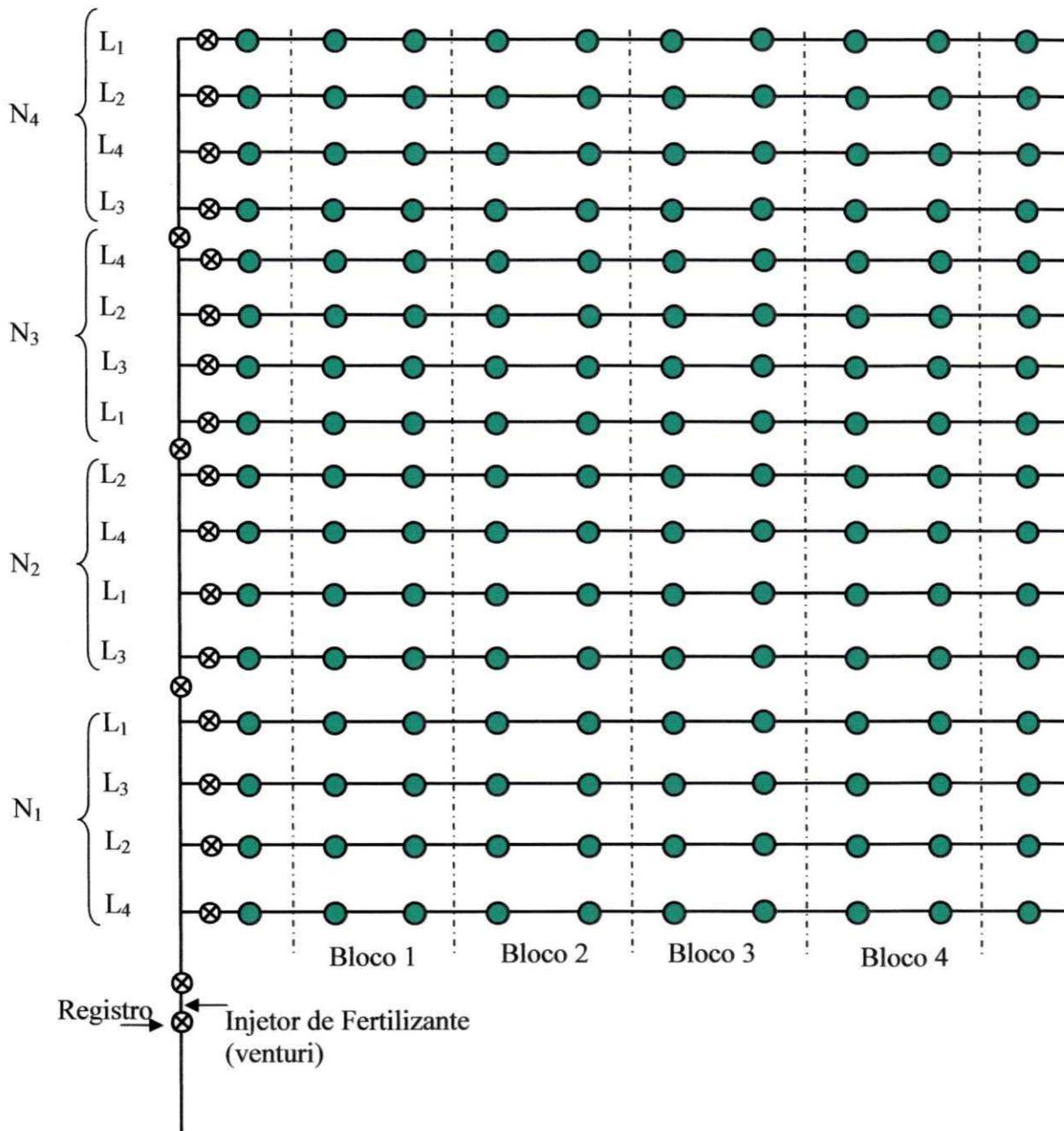


Figura 2 – Croqui da área experimental. Itaporanga, PB, 2005.

A parcela experimental foi constituída por duas plantas, no espaçamento de 6,0 x 5,0 m, numa área útil de 60 m². Cada tratamento era composto por dez plantas, quatro parcelas (blocos) e mais duas planta como bordadura. A área total do experimento foi de 4.800 m².

3.4. Sistema e manejo da irrigação

As características químicas da água utilizada na irrigação foram determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (Tabela 3).

Tabela 3 - Características químicas da água de irrigação utilizada no cultivo da goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade. Itaporanga, PB, 2005.

Características	Valor
pH	8,74
Condutividade Elétrica (dS.m⁻¹)	0,615
Cálcio (mmol_c.L⁻¹)	1,12
Magnésio (mmol_c.L⁻¹)	1,53
Sódio (mmol_c.L⁻¹)	2,96
Potássio (mmol_c.L⁻¹)	0,18
Cloretos (mmol_c.L⁻¹)	2,25
Bicarbonatos (mmol_c.L⁻¹)	2,26
Carbonatos (mmol_c.L⁻¹)	1,28
Sulfatos (mmol_c.L⁻¹)	Ausente
Relação de adsorção de sódio (RAS) (mmol.L⁻¹)^{1/2}	2,57
Classe de Água	C2S1

Utilizou-se do sistema de irrigação por microaspersão, emissores com vazão nominal de 50 L.h^{-1} , funcionando à pressão de 250 kPa, proporcionando um raio molhado de 2,5 m, no espaçamento 6,0 x 5,0 m.

O sistema era acionado por um conjunto moto-bomba elétrico, trifásico, bomba do tipo KSB, 3 cv, 3450 rpm e vazão de $15 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

A lâmina bruta de irrigação foi aplicada diariamente, logo após poda de frutificação, com duração de 198 dias, calculada com base na evaporação diária do tanque classe A (Equação 1).

$$L_b = \frac{Et \cdot Kt \cdot Kc \cdot Ks}{Ef} - Pe \quad (1)$$

em que: L_b é a lâmina bruta de irrigação, em mm; Et é a evaporação diária do tanque classe A, em mm; Kt é o coeficiente de tanque (0,80); Kc é o coeficiente da cultura determinados por Ferreira (2004) (Tabela 4); Ks é o coeficiente de área molhada pelo emissor (0,65), Equação 2; Pe é a precipitação efetiva (Equação 3) e Ef é a eficiência de irrigação (0,84), obtida pela Equação 4.

$$Ks = \frac{Am}{A} \quad (2)$$

em que: Ks é o coeficiente de área molhada pelo emissor, adimensional; Am é a área molhada pelo emissor, em m^2 e A é a área da cultura, em m^2 .

$$Pe = f \cdot P \quad (3)$$

em que: Pe é a precipitação efetiva, em mm; f = fator de correção (Tabela 5) e P é a precipitação real, em mm.

A eficiência de irrigação (Ef) foi obtida mediante a Equação 4

$$Ef = UD \cdot Ea \quad (4)$$

em que: Ef é a eficiência de aplicação de água, em (%); UD é a eficiência de distribuição ou coeficiente de uniformidade experimental, determinado a partir de dados coletados no campo (Tabela 6) e calculado pela Equação 5 (0,88); Ea é a eficiência do sistema de irrigação por microaspersão (0,95).

$$UD = \frac{q_{25}}{q_{med}} \quad (5)$$

em que: q_{25} é a média das menores vazões dos emissores, correspondentes à quarta parte da amostra média na unidade experimental; q_{med} é a média de todas as descargas dos emissores da amostra.

Tabela 4 - Fase fenológica da goiabeira cultivar Paluma e coeficiente de cultivo (Kc).

Fases	Período de Desenvolvimento	Número de dias (acumulado)	Kc (médio)
F1	Brotação, crescimento Vegetativo	63	0,68
F2	Crescimento vegetativo, floração, queda de fruto	109	0,76
F3	Crescimento do fruto	172	0,71
F4	Maturação e colheita	200	0,62

Fonte: Ferreira (2004)

Tabela 5 - Fator de correção de precipitação (f).

Precipitação real (mm)	Coeficiente de aproveitamento decrecente	Precipitação efetiva (Pe)	
		incremento (mm)	acumulada (mm)
25	0,95	24	24
50	0,90	23	47
75	0,82	21	68
100	0,65	16	84
125	0,45	11	84
150	0,25	6	101
175	0,05	1	102

Fonte: Blaney & Criddle, 1961

Tabela 6 - Leitura de vazão dos emissores para determinação do coeficiente de uniformidade experimental (UD). Itaporanga, PB, 2005.

Linha lateral	Vazão dos emissores (L.h ⁻¹)			
	Primeiro emissor	emissor situado a 1/3	emissor situado a 2/3	último emissor
1ª linha	50,1	48,9	50,7	48,9
linha situada a 1/3	44,7	42,3	48,3	42,6
linha situada a 2/3	42,0	41,1	44,1	38,1
última linha	42,0	38,7	43,5	36,6

O tempo de irrigação para aplicar a lâmina bruta L_1 , L_2 , L_3 e L_4 foi determinado pelas Equações 6, 7, 8 e 9, respectivamente.

$$T_1 = \frac{L_1 \cdot Am}{q} \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{L_2 \cdot Am}{q} \quad (7)$$

$$T_3 = \frac{L_3 \cdot Am}{q} \quad (8)$$

$$T_4 = \frac{L_4 \cdot Am}{q} \quad (9)$$

em que: T_1 , T_2 , T_3 , e T_4 é o tempo de irrigação para aplicar a lâmina bruta L_1 , L_2 , L_3 e L_4 , respectivamente, em hora; Am é a área molhada pelo emissor ($19,6 \text{ m}^2$); e q é a vazão média do emissor ($43,9 \text{ L.h}^{-1}$).

As irrigações foram iniciadas logo após a poda de frutificação em aplicações diárias durante o ciclo da cultura até os 198 dias após poda. A lâmina total de irrigação aplicada, por planta, para cada tratamento foi: $L_1 = 491,2 \text{ mm}$; $L_2 = 812,2 \text{ mm}$; $L_3 = 1.132,2 \text{ mm}$ e $L_4 = 1.453,2 \text{ mm}$.

Durante o ciclo da cultura a precipitação pluviométrica efetiva foi estimada em $652,8 \text{ mm}$, Figura 3.

A lâmina total (irrigação+precipitação efetiva) aplicada, por planta, por tratamento foi: $L_1 = 1.144 \text{ mm}$; $L_2 = 1.465 \text{ mm}$; $L_3 = 1.785 \text{ mm}$ e $L_4 = 2.106 \text{ mm}$.

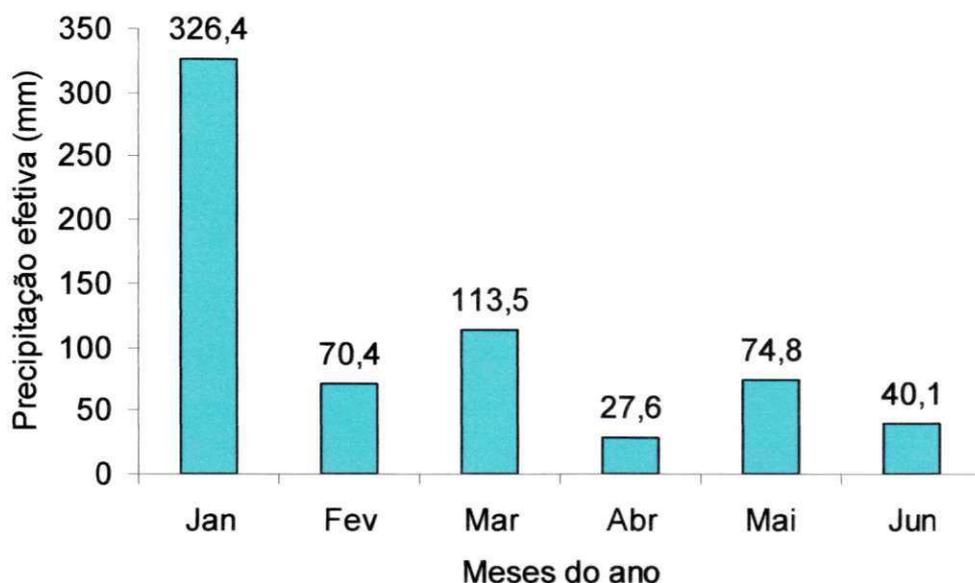


Figura 3 – Precipitação efetiva, em mm, distribuída durante o ciclo da cultura, Itaporanga, PB, 2005.

3.5. Adubação e manejo da fertirrigação

Foi realizada uma amostragem de solo para determinação dos teores de fósforo e de potássio a serem aplicados no solo, sendo a análise química realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, conforme metodologias propostas por EMBRAPA (1997), sendo recomendada aplicações de 60 e 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 e K_2O , respectivamente. O nitrogênio foi aplicado de acordo com os tratamentos em estudo para este nutriente.

Como fontes de NPK, foram utilizadas uréia, superfosfato simples e nitrato de potássio, respectivamente. Como o nitrato de potássio contém potássio e nitrogênio, o valor correspondente ao nitrogênio foi complementado com uréia.

Como fonte de fósforo foram aplicados 0,800 kg/planta de superfosfato simples, em cobertura, logo após poda de frutificação.

Foram aplicados 193 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrato de potássio, o que corresponde aproximadamente 25 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, com a aplicação desta fonte de nutrientes. As quantidades de uréia aplicada foram equivalentes a 25, 75, 125 e 175 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio,

para os níveis N_1 , N_2 , N_3 e N_4 , respectivamente. A uréia e o nitrato de potássio foram aplicados via fertirrigação, durante o ciclo da cultura, três vezes por semana (segunda, quarta e sexta), num total de 80 aplicações.

A injeção dos fertilizantes (nitrogênio e potássio) foi realizada por meio de uma bomba injetora tipo venturi, com descarga aproximada de $900 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$.

A solução foi preparada diluindo-se cada quantidade de uréia e nitrato de potássio, para cada nível de nitrogênio, em um balde contendo aproximadamente 10 litro de água. O período de injeção dos fertilizantes, para cada nível de nitrogênio, foi de 15 minutos (quatro linhas de 10 plantas por vez). A fertirrigação era seqüenciada do menor nível para o maior, após injeção dos fertilizantes para cada nível de nitrogênio.

3.6. Função de Produção

3.6.1. Função de produção com um único fator independente

Assumindo-se que a água ou o adubo é o único fator independente e que a função de resposta da cultura é representada por uma função polinomial de segundo grau, Equação geral 10 (FRIZZONE, 1993):

$$Y(X) = R_0 + R_1X + R_2X^2 \quad (10)$$

em que: $Y(X)$ é a produção de frutas em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; X é o fator independente, em mm quando se tratar do fator lâmina total de irrigação, e em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ quando o fator for níveis de nitrogênio; R_0 , R_1 e R_2 são coeficientes da equação determinados pela regressão quadrática utilizando o software Sisvar.

Esta função tem um máximo em $X = X_m$, que pode ser calculado obtendo-se a sua derivada da função $Y(X)$ em relação a X e igualando a zero, ou seja:

$$\frac{dY(X)}{dX} = R_1 + 2R_2X = 0 \quad (11)$$

$$Xm = -\frac{R_1}{2R_2} \quad (12)$$

A produção máxima, $Y(Xm)$, é calculada por:

$$Y(Xm) = R_0 - \frac{R_1^2}{4R_2} \quad (13)$$

A receita líquida (IL) é calculada pela equação:

$$IL(X)i = PyY(X)i - C_F - CxXi \quad (14)$$

em que: P_y é o preço do produto, em $R\$.kg^{-1}$; C_F é o custo fixo total, em $R\$.ha^{-1}$, calculado pela Equação 15, e C_x custo do insumo (C_L para água, em $R\$.mm^{-1}.ha^{-1}$ e C_N para nitrogênio, em $R\$.kg^{-1}$).

$$C_F = C_p + A \quad (15)$$

em que: C_F é o custo fixo, em $R\$.ha^{-1}$, C_p é o custo de produção da cultura, em $R\$.ha^{-1}$ e A é a amortização anual dos investimentos, em $R\$.ha^{-1}$.

3.6.1.1. Estratégia de irrigação sob restrição de terra

Considerando que a disponibilidade de terra é o único fator limitante da produção, a estratégia ótima de irrigação consiste em aplicar a quantidade de água que maximiza a receita líquida por unidade de área, o que corresponde maximizar a diferença entre as funções de custo e de receita bruta (FRIZZONE, 1993).

As quantidades do fator que maximiza a receita líquida (L^*) e os que proporcionam a receita equivalente (L_e) foram determinadas pelas Equações 16 e 17, respectivamente.

$$L^* = \frac{C_L - Py \cdot R_1}{2 \cdot Py \cdot R_2} \quad (16)$$

$$Le = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad (17)$$

em que: $a = Py \cdot R_2$ (18)

$$b = Py \cdot R_1 - C_L \quad (19)$$

$$c = \frac{Py \cdot R_1^2}{4 \cdot R_2} - \frac{C_L \cdot R_1}{2 \cdot R_2} \quad (20)$$

3.6.1.2. Estratégia de irrigação sob restrição de água

Considerando que a disponibilidade frequentemente constitui um fator limitante da produção, a estratégia ótima de irrigação consiste em aplicar a quantidade de água que maximiza a receita líquida por unidade de volume de água (FRIZZONE, 1993).

O nível ótimo de água (L^*_L) e o nível ótimo equivalente (Le_L), foram determinadas pelas Equações 21 e 22, respectivamente.

$$L^*_L = \sqrt{\frac{Py \cdot R_0 - C_0}{Py \cdot R_2}} \quad (21)$$

$$Le_L = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad (22)$$

em que:
$$a = Py \cdot R_2 \quad (23)$$

$$b = \frac{4 \cdot Py \cdot R_0 R_2 + Py R_1^2 - 4 \cdot R_2 C_0}{2 R_1} \quad (24)$$

$$c = Py R_0 - C_0 \quad (25)$$

3.6.2. Função de produção com dois fatores independentes (água e nitrogênio)

Neste caso, a produção varia de acordo com a quantidade utilizada dos insumos x_1 e x_2 , permanecendo os demais em determinados níveis de uso. A função de produção com dois fatores, cujo modelo usado é um polinômio do segundo grau com duas variáveis independentes, é representada pela Equação 26 (FRIZZONE, 1993):

$$Y(L, N) = R_{b0} + R_{b1}L + R_{b2}L^2 + R_{10}N + R_{20}N^2 + R_{11}LN \quad (26)$$

em que: Y é a produtividade de frutos de goiaba ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); L é a quantidade total de água em mm; N é a quantidade de adubação nitrogenada em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; R_{00} , R_{01} , R_{02} , R_{10} , R_{20} e R_{11} são os coeficientes da equação.

A função de produção foi determinada com base nas produções do experimento de campo, sendo os coeficientes da Equação 26 e as curvas de isoproducto (isoquantas) determinados através do software SURFER.

Os valores das variáveis independentes, L e N , que maximizam a produção (L_m e N_m) foram obtidos pelas Equações 27 e 28 e os que otimizam a receita líquida (L^* e N^*), foram obtidos pelas Equações 29 e 30, respectivamente, conforme Frizzone (1993):

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = R_{01} + 2 R_{02} L + R_{11} N = 0 \quad (27)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = R_{10} + 2 R_{20} N + R_{11} L = 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = R_{01} + 2 R_{02} L + R_{11} N = \frac{C_L}{P_y} \quad (29)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = R_{10} + 2 R_{20} N + R_{11} L = \frac{C_N}{P_y} \quad (30)$$

3.6.3. Análises física e econômica da produção

As quantidades de insumos e os custos de aplicação foram registrados durante o ciclo da goiabeira para estabelecimento da curva de melhor resposta física e econômica da cultura à aplicação de água e nitrogênio, conforme metodologia contida em Frizzone (1993), descrita a seguir, considerando-se:

P_y – Preço unitário de venda de fruto de goiaba, em R\$.kg⁻¹;

C_L – Custo de uma unidade do insumo água, em R\$.mm⁻¹.ha⁻¹;

C_N – Custo de uma unidade do insumo nitrogênio, em R\$.kg⁻¹;

C_P – Custo de produção da cultura, em R\$.ha⁻¹.

A – Amortização anual dos investimentos, em R\$.ha⁻¹

C_F – custo fixo, em R\$.kg⁻¹

O preço de venda (P_y) foi de R\$ 0,50 kg⁻¹ (produto vendido na propriedade). O custo de uma unidade do insumo água (C_L) foi calculado com base no preço de uma hora de funcionamento do sistema de irrigação, para aplicar a vazão necessária para um hectare, cujo valor foi R\$ 0,65 mm⁻¹ha⁻¹. O custo de uma unidade do insumo nitrogênio (C_N) foi

composto pela aquisição do fertilizante no mercado local, o qual foi R\$ 1,15 kg⁻¹. O custo de produção da cultura (C_p) compreende todos os custos, excetuando-se os diretamente relacionados com os fatores estudados (água e/ou adubação nitrogenada), o qual foi R\$ 2.446,00 ha⁻¹, Tabela 7. A amortização anual dos investimento (A) foi estimado em R\$ 885,62 ha⁻¹, Equação 31. O custo fixo (C_f) corresponde ao somatório dos custos de produção e a amortização anual dos investimentos, cujo valor foi R\$ 3.331,62 ha⁻¹.

A amortização anual dos investimentos no cultivo da goiabeira irrigada foi estimada com base no princípio de recuperação de capital. Segundo este princípio, os custos fixos correspondem ao valor de uma anuidade referente ao pagamento necessário para quitar o capital utilizado no investimento em um determinado tempo com uma determinada taxa de juros sobre o capital, sendo este tempo igual à vida útil dos equipamentos, conforme a Equação 31.

$$A = I_0 \times FRC \quad (31)$$

em que: A é a amortização anual dos investimentos no sistema de irrigação e na terra (R\$.ha⁻¹), I₀ é o investimento no sistema de irrigação e na terra (R\$) e FRC é fator de recuperação do capital, calculado pela Equação 32.

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (32)$$

em que: i é a taxa real anual de juros (decimal) e n é o número de anos para quitar o investimento ou vida útil dos equipamentos.

Para fins de estimativa da amortização anual dos investimento considerou-se o valor necessário para a aquisição dos equipamentos de irrigação para hum ha, a aquisição de hum ha de terra nua e a construção da casa do conjunto motobomba. O valor do investimento foi de R\$ 5.000,00, sendo R\$ 3.743,00 referente ao preço do sistema de irrigação, R\$ 1.000,00 referente ao preço da terra e R\$ 257,00 correspondente à casa do conjunto motobomba.

A taxa real anual de juros foi de 12% ao ano, considerando-se ainda, que os equipamentos teriam uma vida útil de 10 anos, sendo zero o seu valor residual ao final de sua vida útil.

Tabela 7 - Custo de produção (C_p) para o sistema de produção de 1,0 ha de goiaba, cultivar Paluma, com quatro anos de idade, irrigada por microaspersão. Itaporanga, PB, 2005

DISACRIMINAÇÃO	UND	V.UNIT (R\$)	Qt	V. TOTAL (R\$)
1. Tratos Culturais				1.360,00
- Capinas	H/D	10,00	20	200,00
- Roçagem	H/M	35,00	08	280,00
- Adubação (fósforo)	H/D	10,00	08	80,00
- Aplicação defensivos	H/D	10,00	15	150,00
- Manejo Irrigação/Fertirrigação	H/D	10,00	40	400,00
- Poda de Produção	H/D	10,00	25	250,00
2. Colheita	H/D	10,00	25	250,00
3. Insumos				786,00
- Nitrato de Potássio	Kg	0,60	200	120,00
- Superfosfato simples	Kg	0,40	200	80,00
- Inseticidas/fungicidas	Kg/L	55,40	10	554,00
- Espalhante adesivo	L	8,00	04	32,00
TOTAL (C_p)				2.446,00

3.6.4. Isoquantas

As isoquantas correspondem às curvas que ligam pontos de diferentes combinações de lâminas totais de água e níveis de nitrogênio, os quais apresentam o mesmo nível de produto (rendimento). A partir da função de produção determinaram-se as isoquantas ou curvas de isoproducto, plotando-se os dados de lâminas totais de água e níveis de nitrogênio, em função dos rendimentos previamente fixados, em um gráfico de duas dimensões.

3.6.5. Produto físico marginal da água e do nitrogênio

O produto físico marginal de um determinado fator representa o incremento no rendimento ao se adicionar uma unidade a mais do fator considerado. O mesmo é obtido através da derivada primeira da função de produção, em relação ao fator considerado, sendo representado pela seguinte equação geral (AGUIAR, 2005):

$$PMg(f) = \frac{\partial Y}{\partial f} \quad (33)$$

em que: $PMg(f)$ é o produto físico marginal do fator considerado; $\frac{\partial Y}{\partial f}$ é a derivada da função (Y) em relação ao fator considerado (f).

Para fins de análise foram obtidos os seguintes produtos marginais:

- Produtos físicos marginais da água para as diferentes lâminas aplicadas correspondentes a cada dose de nitrogênio;
- Produtos físicos marginais do nitrogênio para as diferentes doses aplicadas correspondentes a cada lâmina de água;
- Produtos físicos marginais da água, para diferentes lâminas de água aplicadas;
- Produtos físicos marginais do nitrogênio para as diferentes doses de nitrogênio aplicadas.

3.6.6. Taxa marginal de substituição

A taxa marginal de substituição do fator lâmina de água pelo fator dose de nitrogênio ($TMS_{L/N}$) corresponde à quantidade do fator água que pode ser substituído por uma unidade do fator nitrogênio, mantendo-se o mesmo nível de rendimento (FRIZZONE, 1993), é obtida pela relação entre o produto físico marginal do nitrogênio e o produto físico marginal da água (Equação 34).

$$TMS_{L/N} = \frac{PMg\ N}{PMg\ L} \quad (34)$$

em que: $TMS_{L/N}$ é a taxa marginal de substituição do fator água (L) pelo fator nitrogênio (N); $PMg\ L$ é o produto físico marginal do fator água e $PMg\ N$ é o produto físico marginal do fator nitrogênio.

3.6.7. Região de produção racional

A região de produção racional, onde visualizam-se as diversas combinações dos fatores e das respectivas produtividades, em que é economicamente viável a atividade, foi obtida da análise das curvas de isoprodutos e correspondem às partes das curvas onde os fatores se comportam como substitutos, estando situada entre as duas linhas de fronteiras. As linhas de fronteiras são linhas que ligam pontos em que a inclinação da isoquanta é nula ou infinita (AGUIAR, 2005).

3.6.8. Combinação de custo mínimo

As combinações dos fatores água (L) e adubação nitrogenada (N) que determinam o custo mínimo para cada curva de isoproduto, segundo Frizzone (1986; 1993) são iguais às combinações que proporcionam a taxa marginal de substituição de água por nitrogênio ($TMS_{L/N}$) que se igualam à razão (C_N/C_L).

3.7. Eficiência do uso de água

A eficiência do uso de água foi determinada pela relação entre a produtividade da goiabeira obtida pela função de produção em função da lâmina total de água e dos níveis de nitrogênio aplicados, e a quantidade total de água aplicada (L) (Equação 35), conforme Doorembos & Kassan (1994):

$$EUA = \frac{Py}{L} \quad (35)$$

em que: EUA é a eficiência do uso de água em $\text{kg.mm}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, Py é a produtividade da goiaba em kg.ha^{-1} , L é a lâmina aplicada em mm.

3.8. Variáveis estudadas

3.8.1. Variáveis de produção

No final da colheita foram medidas as variáveis de produção número de frutos por planta, peso total de frutos por planta e peso médio de fruto.

3.8.2. Estado nutricional

Para avaliação do estado nutricional da cultura foram coletadas amostras de folhas, 25 por parcela, aos 190 dias após a poda de produção. As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e posta a secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60°C , durante 72 horas; após secagem e trituração do material em moinho, seguindo-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), foram feitas as análises de N (por digestão sulfúrica) e de P, K, Ca e Mg (por digestão nítrico-perclórica).

3.9. Análises estatísticas

Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial em análise conjunta com as lâminas de água e níveis de nitrogênio, avaliando-se os efeitos isolados de cada fator e a interação entres os mesmos. Como o experimento se refere a tratamentos quantitativos (irrigação e adubação) em mais de dois níveis, não devem as medidas ser comparadas pelo teste de Tukey ou por teste similar de comparação de médias. A técnica indicada é o estudo da regressão, separação dos graus de liberdade relativos aos componentes linear e quadrático, pelo menos (GOMES, 1990), esquema exposto na Tabela 8. Os dados foram processados com o auxílio do software Sisvar.

Tabela 8 – Esquema da análise de variância e regressão

Fonte de variação	GL
Lâmina (L)	$I - 1$
Regressão Linear	1
Regressão Quadrática	1
Regressão Cúbica	1
Nitrogênio (N)	$J - 1$
Regressão Linear	1
Regressão Quadrática	1
Regressão Cúbica	1
Interação (L x N)	$(I - 1).(J - 1)$
Bloco	$K - 1$
Resíduo	$(I J - 1). (K - 1)$
Total	$I J K - 1$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variáveis de produção

De acordo com a análise de variância (Tabela 9), houve efeito significativo ($p < 0,01$) de lâminas (L) e de níveis de nitrogênio (N), para as variáveis número de frutos por planta (NF), peso total de frutos por planta (PTF) e peso médio de frutos (PMF). A interação L x N foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade, apenas para a variável peso total de frutos por planta, indicando existir uma dependência entre os efeitos de ambos os fatores sobre esta variável. Para um estudo mais detalhado desta interação foi realizado um desdobramento conforme Tabelas 10 e 11.

4.1.1. Número de frutos por planta (NF)

De acordo com os estudos de regressão para a variável número de frutos por planta (Tabela 9), houve efeito linear e quadrático dos tratamentos sobre o número de frutos. Dentre os modelos significativos, escolheu-se o quadrático, por melhor se ajustar à natureza dos fatores estudados, como também maior coeficiente de dispersão (r^2).

Tabela 9 - Resumo da análise de variância e componentes de regressão para as variáveis número de frutos por planta (NF), peso total de frutos (PTF) em kg/planta e peso médio de frutos (PMF) em kg. Itaporanga, PB, 2005

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		NF	PTF	PMF
Lâminas (L)	3	23841,52**	4046,86**	0,0089**
Regressão Linear	1	23401,03**	Desdobramento	0,0099**
Regressão Quadrática	1	45956,64**	Tabela 10	0,0129**
Regressão Cúbica	1	2166,88 ^{ns}		0,0038 ^{ns}
Níveis Nitrogênio (N)	3	58505,72**	4315,75**	0,0028*
Regressão Linear	1	145905,90**	Desdobramento	0,0056**
Regressão Quadrática	1	23754,51**	Tabela 11	0,0027*
Regressão Cúbica	1	5856,75 ^{ns}		0,0001 ^{ns}
L x N	9	3571,22 ^{ns}	440,57**	0,0012 ^{ns}
Bloco	3	1742,26 ^{ns}	92,42 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Resíduo	45	1885,22	62,79	0,0006
CV (%)		10,62	10,00	12,84
Lâminas (L) em mm			Médias	
L₁ (1.144)		359		0,163
L₂ (1.465)		419	Desdobramento	0,189
L₃ (1.785)		452	Tabela 10	0,221
L₄ (2.106)		405		0,190
Níveis de Nitrogênio (N) em kg.ha⁻¹			Média	
N₁ (50)		330		0,172
N₂ (100)		394	Desdobramento	0,191
N₃ (150)		462	Tabela 11	0,203
N₄ (200)		449		0,196

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Segundo o modelo estatístico obtido para o fator lâmina (Figura 4), nota-se que o número de frutos por planta aumentou de 357 na menor lâmina (1.144 mm), até 446 frutos, no ponto de máximo do modelo (1.730 mm), um incremento de 25,1%, evidenciando que o déficit hídrico ocasiona redução no número de frutos. Por outro lado, a partir do ponto de máxima $L_m = 1.730$ mm (446 frutos/planta) até a maior lâmina estudada $L_4 = 2.106$ mm (410 frutos/planta), o número de frutos sofreu um leve decréscimo de 8,2%, evidenciando assim que o excesso de água também ocasiona redução no número de frutos. Esses resultados estão de acordo com El- Koreiby & Salem (1989), que, estudando o efeito da irrigação no crescimento e frutificação da goiabeira, propagada por semente, verificaram que a redução da disponibilidade de água no solo resultou em menor número de frutos por planta. Sousa (1997) em experimento com goiabeira variedade Ogawa III, com seis anos de idade, também observou efeito quadrático no fator lâmina total de água no número de frutos.

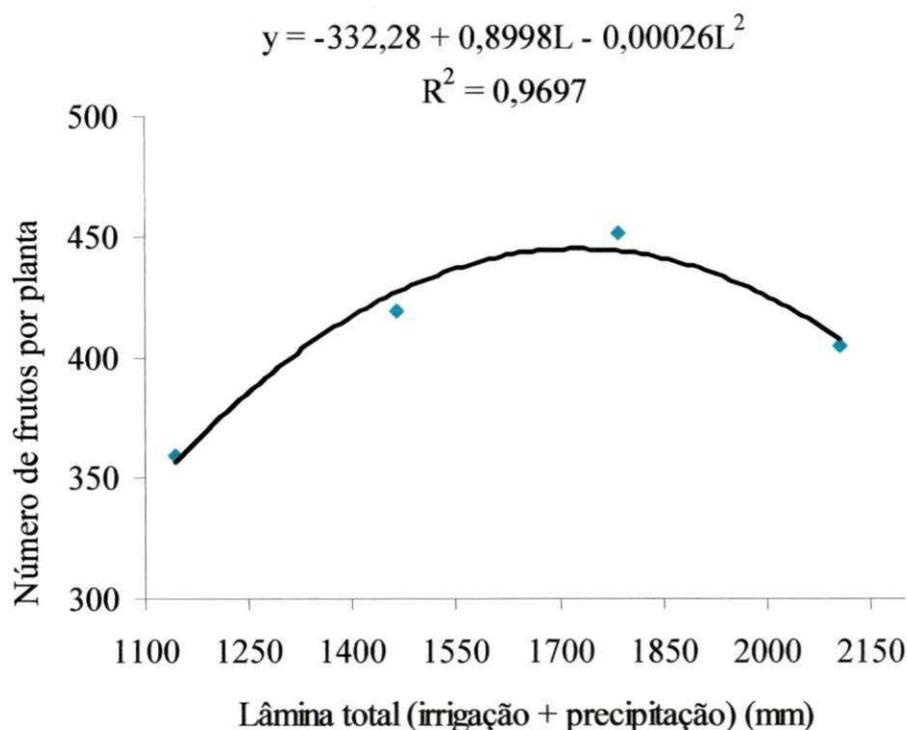


Figura 4 - Número de frutos de goiaba em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.

Segundo Stegman et al. (1980), o declínio da curva de produção a partir do ponto máximo pode ser devido à diminuição da aeração do solo e/ou à lixiviação dos nutrientes, podendo, ainda, ocorrer devido à doenças associadas ao excesso de umidade no solo, fato não registrado na presente pesquisa. Segundo Albrigo (1992) a água influencia todas as fases de frutificação e, provavelmente seja a irrigação a prática cultural que mais afeta o desenvolvimento do fruto. Com o aumento da umidade no solo, o tamanho do fruto aumenta, diluem-se os sólidos solúveis, reduzem-se os níveis de acidez e outros componentes. À medida que diminui a umidade disponível para as plantas, o crescimento do fruto pára, aumenta a queda dos frutos e reduz a fotossíntese, afetando a produção de açúcares.

Conforme o modelo estatístico obtido para o fator níveis de nitrogênio (Figura 5), nota-se que o número de frutos por planta aumentou de 325 no menor nível de nitrogênio ($N_1 = 50 \text{ kg.ha}^{-1}$), até 454 frutos, no ponto de máximo do modelo ($N_m = 178 \text{ kg.ha}^{-1}$), um incremento de 39,5% evidenciando que o déficit de nitrogênio ocasiona redução do número de frutos.

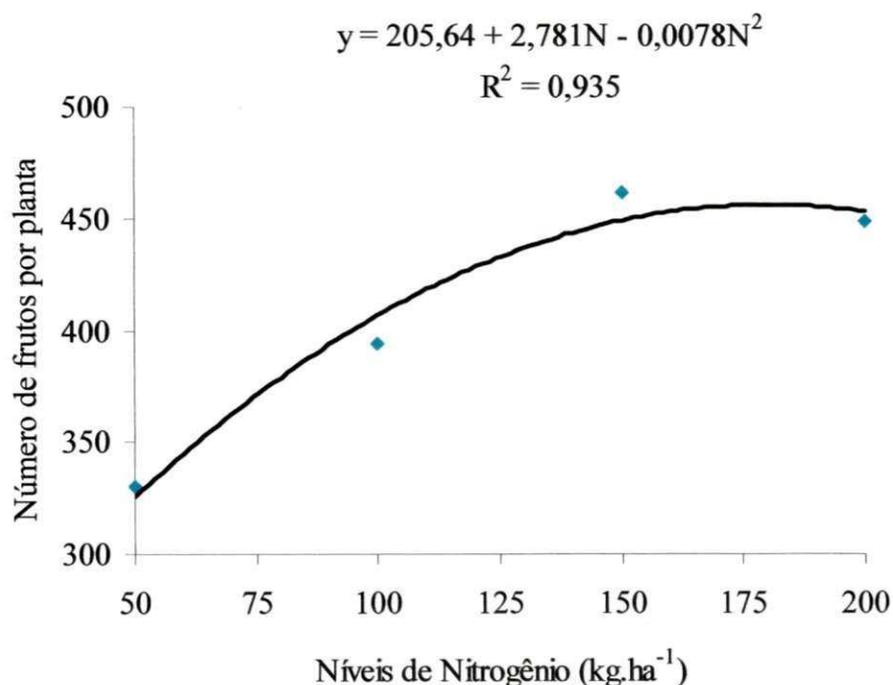


Figura 5 - Número de frutos de goiaba em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

Por outro lado, a aplicação de nitrogênio acima do valor máximo estimado pelo modelo ($178 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) até o maior nível estudado ($N_4 = 200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), reduziu o número de frutos, embora com pequena intensidade, ocorrendo decréscimo de 0,8% (454 para 450 frutos por planta). Considerando ser o solo do local pobre neste nutriente, (Tabela 2), aumentando-se o nível de nitrogênio nota-se aumento acentuado no número de frutos até um determinado limite, neste caso, $178 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Segundo Malavolta & Violante Netto (1989), o excesso de nitrogênio nas plantas, provoca crescimento exuberante da cultura, queda na floração e frutificação e frutos com amadurecimento tardio, como também, o excesso de um dado elemento pode provocar sintomas próprios de toxidez ou interfere na ação de outros elementos.

4.1.2. Peso total de frutos por planta (PTF)

De acordo com os resultados de desdobramento, em componentes de regressão, do fator lâmina (L), em cada nível de nitrogênio (N) (Tabela 10), houve efeito significativo do fator lâminas dentro de todos os níveis de nitrogênio, para esta variável, variando de linear a cúbico. Dentre os modelos significativos, escolheu-se o quadrático, por apresentar maior coeficiente de dispersão (r^2).

Conforme os modelos estatísticos obtidos (Figura 6) observam-se interferência de lâminas de irrigação em todos os níveis de nitrogênio para a variável peso total de frutos por planta (PTF). Observa-se que o menor valor de PTF é obtido com a aplicação de qualquer lâmina de água dentro do nível de nitrogênio N_1 , enquanto que, o maior é obtido com aplicação de lâminas dentro do nível de nitrogênio N_3 .

De acordo com as equações obtidas, a lâmina máxima estimada em cada nível de N foi: $L_m(N_1) = 1.726 \text{ mm}$; $L_m(N_2) = 1.680 \text{ mm}$; $L_m(N_3) = 1.789 \text{ mm}$ e $L_m(N_4) = 1.775 \text{ mm}$, correspondendo aos valores do peso total de frutos por planta (PTF) de 63,16, 98,60; 112,67 e 95,56 kg/planta, respectivamente.

Segundo o modelo obtido em todos os níveis de nitrogênio, o peso total de frutos foi crescente a partir da aplicação de $L_1(1.144 \text{ mm})$ até aproximadamente a aplicação de $L_3(1.785 \text{ mm})$, decrescendo a partir desta.

Tabela 10 - Análise de regressão das lâminas de água em função dos níveis de nitrogênio para peso total de frutos (PTF), em kg/planta. Itaporanga, PB, 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
		PTF
Lâminas dentro do nível N₁ (50 kg ha⁻¹)	3	337,78*
Regressão Linear	1	389,74*
Regressão Quadrática	1	557,90*
Regressão Cúbica	1	185,71 ^{ns}
		Médias
L ₁ (1.144 mm)		42,86
L ₂ (1.465 mm)		65,18
L ₃ (1.785 mm)		60,44
L ₄ (2.106 mm)		59,15
Lâminas dentro do nível N₂ (100 kg ha⁻¹)	3	1881,84**
Regressão Linear	1	593,59**
Regressão Quadrática	1	3964,59**
Regressão Cúbica	1	1087,34**
		Médias
L ₁ (1.144 mm)		58,69
L ₂ (1.465 mm)		80,89
L ₃ (1.785 mm)		108,45
L ₄ (2.106 mm)		67,68
Lâminas dentro do nível N₃ (150 kg ha⁻¹)	3	2442,37**
Regressão Linear	1	2346,74**
Regressão Quadrática	1	1874,46**
Regressão Cúbica	1	3105,91**
		Médias
L ₁ (1.144 mm)		74,97
L ₂ (1.465 mm)		82,55
L ₃ (1.785 mm)		130,75
L ₄ (2.106 mm)		95,03
Lâminas dentro do nível N₄ (200 kg ha⁻¹)	3	666,57**
Regressão Linear	1	734,17**
Regressão Quadrática	1	719,58**
Regressão Cúbica	1	545,97**
		Médias
L ₁ (1.144 mm)		71,99
L ₂ (1.465 mm)		81,03
L ₃ (1.785 mm)		102,75
L ₄ (2.106 mm)		84,96

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Em relação a $L(N_1)$ constata-se aumento no peso total de frutos por planta de 43,52 kg no nível $L_1 = 1.144$ mm até 63,16 kg no ponto de máximo do modelo ($L_m = 1.726$ mm), um incremento de 45,1%, decrescendo a partir deste ponto até a aplicação de $L_4 = 2.106$ mm (54,78 kg), correspondendo a um decréscimo de 13,3%. Em $L(N_2)$ o peso total de frutos cresce de 54,69 kg em L_1 até 98,60 kg em L_m , um incremento de 80,3%, decrescendo a partir de L_m até L_4 (70,80 kg), um decréscimo de 28,2%. Em $L(N_3)$ o peso total de frutos aumenta de 68,98 kg em L_1 até 112,67 kg em L_m , um incremento de 63,3%, decrescendo a partir de L_m até L_4 (102,12 kg), um decréscimo de 9,4%. Em $L(N_4)$ o peso total de frutos cresce de 69,65 kg em L_1 até 95,56 kg em L_m , um incremento de 37,2%, decrescendo a partir de L_m até L_4 (88,45 kg), um decréscimo de 7,4%. De acordo com estes resultados evidencia-se que o déficit e o excesso hídrico ocasiona redução no peso de frutos.

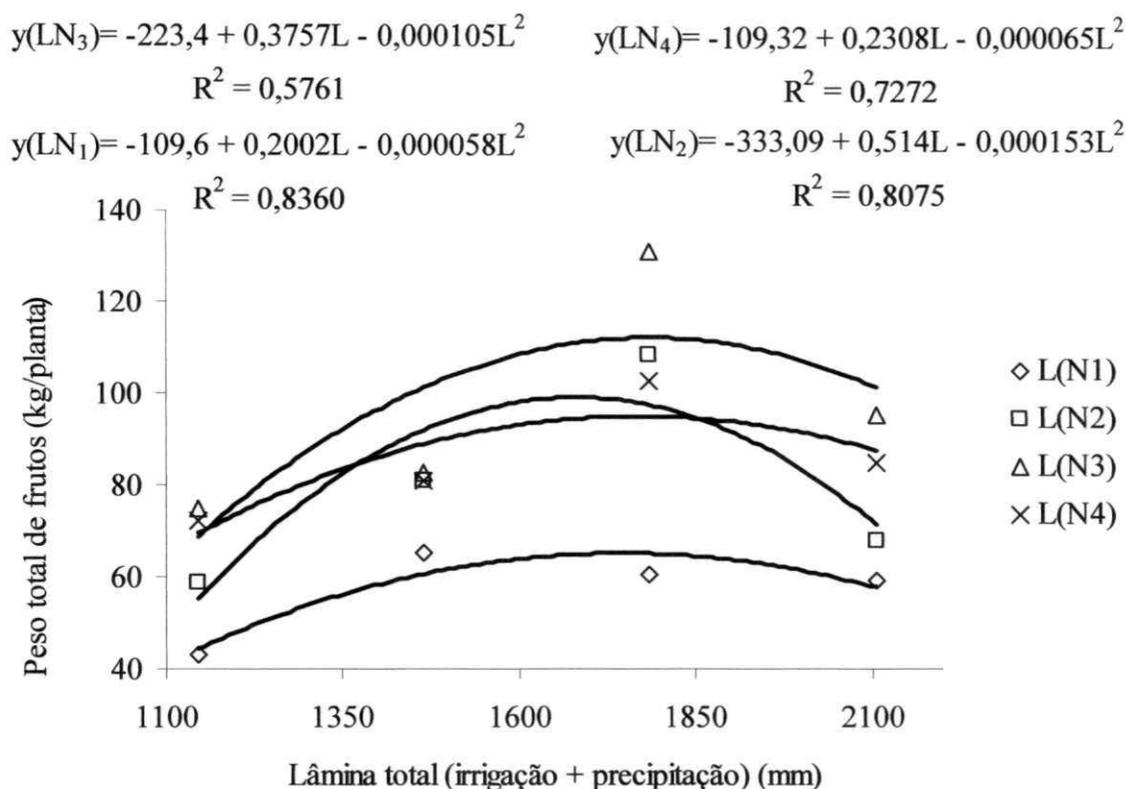


Figura 6 - Peso total de frutos de goiaba (kg/planta) em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.

A produção total de frutos em $L_3(N_3)$ estimada em 112,67 kg/planta é superior à estimada em $L_1(N_3) = 68,98$; $L_2(N_3) = 101,65$ e $L_4(N_3) = 102,12$ kg/planta, correspondendo a um percentual de 63,33; 10,84 e 10,33%, respectivamente. A máxima produção obtida nesta pesquisa com o nível $L_3(N_3)$ também é superior aos resultados de pesquisa encontrados no País.

Sousa (1997) em experimento com goiabeira variedade Ogawa III, com seis anos de idade, também observou efeito quadrático do fator lâmina no peso total de frutos, obtendo-se uma estimativa de 71,10 kg/planta com uma lâmina total de água de 1.480 mm. Ferreira (2004) e Moura (2005) em experimento com goiabeira variedade Paluma, com quatro anos de idade, irrigada por microaspersão no município de Petrolina, PE, obtiveram peso total de frutos de 72,0 e 96,25 kg/planta, respectivamente, com uma lâmina total (irrigação + precipitação) de 679,17 e 1.103 mm, respectivamente. Vale ressaltar, que o tratamento de menor lâmina estudado na presente pesquisa (1.144 mm), com a aplicação de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio, proporcionou um peso total de frutos estimado em 71,87 kg/planta, supera os obtidos por Sousa (1997) e Ferreira (2004), sendo inferior ao obtido por Moura (2005).

De acordo com os resultados de desdobramento, em componentes de regressão, do fator nível de nitrogênio (N), em cada lâmina total de água (L) (Tabela 11), houve efeito significativo do fator níveis de nitrogênio dentro de todos os níveis lâmina, para a variável peso total de frutos por planta, variando de linear a cúbico. Dentre os modelos significativos, escolheu-se o quadrático, escolheu-se o quadrático, por apresentar maior coeficiente de dispersão (r^2).

Conforme os modelos estatísticos obtidos (Figura 7) para níveis de nitrogênio dentro lâmina total (irrigação + precipitação), verifica-se que houve interferência dos níveis de nitrogênio em todas as lâminas para a variável peso total de frutos (PTF). Na aplicação de qualquer nível de nitrogênio dentro L_1 obtém-se menor peso total de frutos, enquanto, dentro de L_3 obtém-se máximo valor de PTF.

De acordo com as equações obtidas, o nível máxima estimada de nitrogênio em cada lâmina total de água foi: $N_m(L_1) = 169 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $N_m(L_2) = 139 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $N_m(L_3) = 147 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $N_m(L_4) = 178 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, correspondendo aos valores do peso total de frutos por planta (PTF) de 70,09, 80,42; 129,42 e 87,14 kg/planta, respectivamente.

Tabela 11 - Análise de regressão dos níveis de nitrogênio em função das lâminas de água para a variável peso total de frutos (PTF) em kg.ha⁻¹. Itaporanga, 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
		PTF
Níveis de Nitrogênio dentro de L₁ (1144 mm)	3	860,44**
Regressão Linear	1	2150,01**
Regressão Quadrática	1	353,72*
Regressão Cúbica	1	77,60 ^{ns}
		Médias
N ₁ (50 kg.ha ⁻¹)		42,86
N ₂ (100 kg.ha ⁻¹)		58,69
N ₃ (150 kg.ha ⁻¹)		74,97
N ₄ (200 kg.ha ⁻¹)		71,99
Níveis de Nitrogênio dentro de L₂ (1465 mm)	3	268,11*
Regressão Linear	1	484,03**
Regressão Quadrática	1	296,70*
Regressão Cúbica	1	23,61 ^{ns}
		Médias
N ₁ (50 kg.ha ⁻¹)		65,18
N ₂ (100 kg.ha ⁻¹)		80,89
N ₃ (150 kg.ha ⁻¹)		82,55
N ₄ (200 kg.ha ⁻¹)		81,03
Níveis de Nitrogênio dentro de L₃ (1785 mm)	3	3450,47**
Regressão Linear	1	4453,62**
Regressão Quadrática	1	5776,76**
Regressão Cúbica	1	121,03 ^{ns}
		Médias
N ₁ (50 kg.ha ⁻¹)		60,44
N ₂ (100 kg.ha ⁻¹)		108,45
N ₃ (150 kg.ha ⁻¹)		130,75
N ₄ (200 kg.ha ⁻¹)		102,75
Níveis de Nitrogênio dentro de L₄ (2106 mm)	3	1058,47**
Regressão Linear	1	2196,29**
Regressão Quadrática	1	346,24*
Regressão Cúbica	1	632,87*
		Médias
N ₁ (50 kg.ha ⁻¹)		59,15
N ₂ (100 kg.ha ⁻¹)		67,68
N ₃ (150 kg.ha ⁻¹)		95,03
N ₄ (200 kg.ha ⁻¹)		84,96

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Em N(L₁) (Figura 7), observa-se que o peso total de frutos por planta cresceu de 41,58 kg no nível N₁ (50 kg.ha⁻¹) até 70,09 kg no nível máximo N_m = 169 kg.ha⁻¹, um incremento de 68,58%, a partir do nível máximo até o maior nível de N estudado (N₄ = 200 kg.ha⁻¹), o peso total de frutos por planta decresceu para 68,22 kg, correspondendo a um decréscimo de 2,67%. Em N(L₂) o peso total de frutos por planta aumentou de 65,28 kg no nível N₁ (50 kg.ha⁻¹) até 80,42 kg no nível máximo N_m = 139 kg.ha⁻¹, um incremento de 23,19%, a partir do ponto máximo até o maior nível de N estudado (N₄), o peso total de frutos por planta diminuiu para 73,41 kg, correspondendo a um decréscimo de 8,72%. Já em N(L₃) o peso total de frutos por planta cresceu de 59,46 kg no nível N₁ (50 kg.ha⁻¹) até 129,42 kg no nível máximo N_m = 147 kg.ha⁻¹, um incremento de 117,65%, a partir do ponto de máximo até o maior nível de N estudado (N₄), o peso total de frutos por planta decresceu para 108,02 kg, correspondendo a um decréscimo de 16,54%. Em N(L₄) o peso total de frutos por planta cresceu de 56,24 kg no nível N₁ (50 kg.ha⁻¹) até 87,14 kg no nível máximo N_m = 178 kg.ha⁻¹, um incremento de 54,94%, a partir deste ponto até o maior nível de N estudado (N₄), o peso total de frutos por planta decresceu para 108,02 kg, correspondendo a um decréscimo de 1,10%.

$$y(NL_3) = -31,723 + 2,1987N - 0,0076N^2 \quad y(NL_4) = 27,26 + 0,6746N - 0,0019N^2$$

$$R^2 = 0,9883 \quad R^2 = 0,8007$$

$$y(NL_1) = 12,697 + 0,6776N - 0,0019N^2 \quad y(NL_2) = 43,572 + 0,5292N - 0,0017N^2$$

$$R^2 = 0,9699 \quad R^2 = 0,9706$$

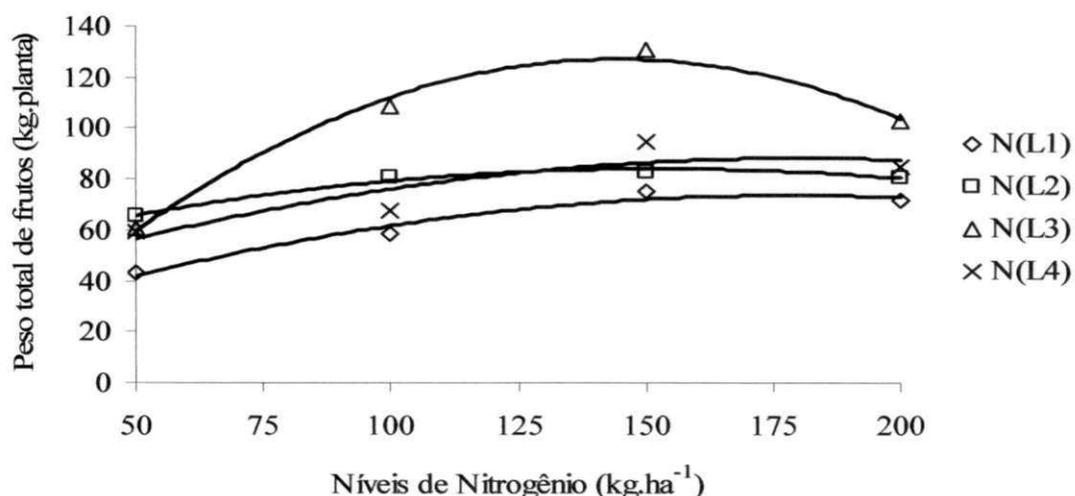


Figura 7 - Peso total de frutos de goiaba (kg/planta) em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

4.1.3. Peso médio dos frutos (PMF)

De acordo com a análise de variância e componentes de regressão (Tabela 9), houve efeito significativo ($p < 0,01$) de lâminas (L), e ($p < 0,05$) de níveis de nitrogênio (N), entretanto a interação L x N não foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade, indicando não existir uma dependência entre os efeitos de ambos os fatores sobre esta variável.

Conforme os estudos de regressão (Tabela 9), houve efeito linear e quadrático dos tratamentos sobre o número de frutos. Dentre os modelos significativos, escolheu-se o quadrático, por apresentar maior coeficiente de distribuição (r^2).

Segundo o modelo estatístico obtido para o fator lâmina (Figura 8), nota-se que o peso médio dos frutos, aumentou de 0,163 kg na menor lâmina ($L_1 = 1.144$ mm), até 0,214 kg, no ponto de máximo do modelo ($L_m = 1.750$ mm), um incremento de 31,6%, evidenciando que o déficit hídrico ocasiona redução no peso médio dos frutos. Por outro lado, o excesso de água também reduziu o peso médio dos frutos. Conforme o modelo, houve decréscimo de 8,3% a partir do ponto de máximo até a aplicação de $L_4 = 2.106$ mm (0,196 kg).

O menor valor do peso médio de frutos (0,162 kg) obtido com a lâmina de 1.144 mm, no entanto foi superior ao obtido por Ferreira (2004), o qual obteve 0,116 kg com lâmina total (irrigação + precipitação) de 679,17 mm, em um solo arenoso, estando a cultura com dois anos e três meses de idade.

De acordo com o modelo estatístico obtido para o fator níveis de nitrogênio (Figura 9), observa-se que o peso médio de frutos, aumentou de 0,172 kg no menor nível de nitrogênio (50 kg.ha^{-1}), até 0,200 kg, no ponto de máximo do modelo (152 kg.ha^{-1}), um incremento de 16,3%, evidenciando que o déficit nitrogênio ocasiona redução no peso médio de frutos. Por outro lado, a aplicação de nitrogênio acima do valor máximo estimado pelo modelo (152 kg.ha^{-1}) até o maior nível estudado (200 kg.ha^{-1}), reduziu o peso de frutos, embora com pequena intensidade, ocorrendo decréscimo de 3,0% (0,200 para 0,194 kg).

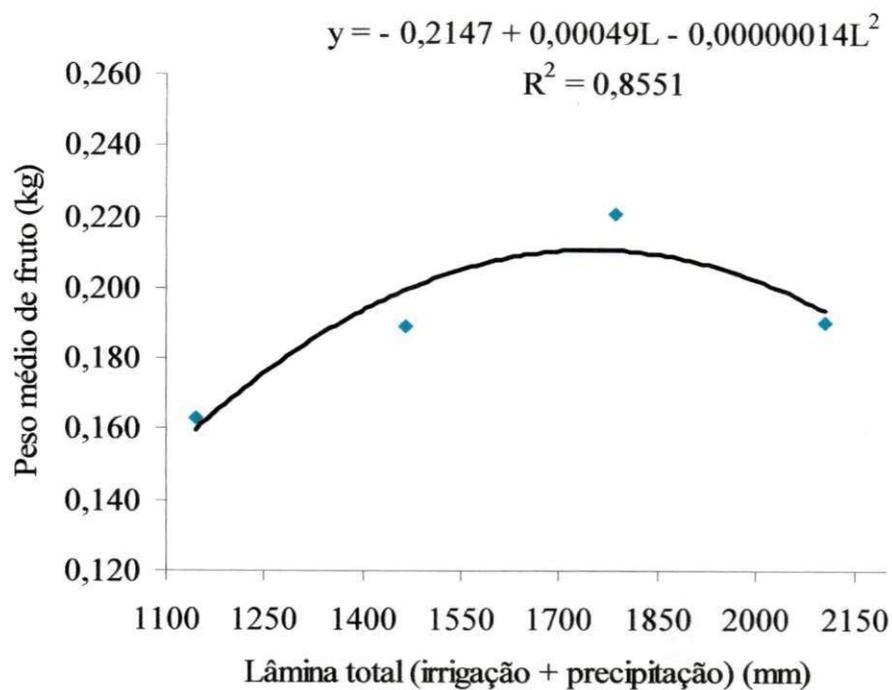


Figura 8 - Peso médio de frutos de goiaba (kg) em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.

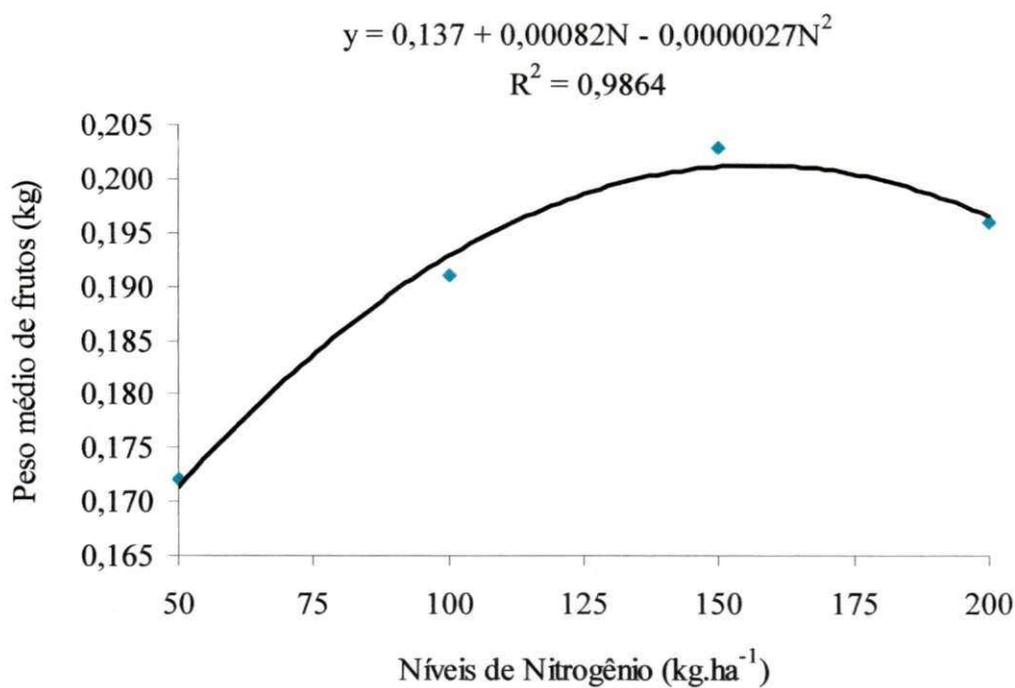


Figura 9 - Peso médio de frutos de goiaba (kg) em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

4.2. Estado nutricional da cultura

Considerando que a análise foliar representa com maior aproximação o estado nutricional das plantas (MALAVOLTA & VIOLANTE NETTO, 1989), foram analisados os teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio contidos nas folhas da goiabeira, aos 190 dias após a poda de frutificação, quando a cultura se encontrava na fase de maturação e colheita. De acordo com a análise de variância (Tabela 12), houve efeito significativo ($p < 0,01$) do fator lâmina total de água (L) para as variáveis teor de fósforo (TP) e teor de magnésio (TMg) e ao nível de 5% de probabilidade para a variável teor de potássio (TK); não sendo observado significância ($p < 0,05$) do fator lâmina (L) para as variáveis teor de nitrogênio (TN) e teor de cálcio (TCa).

Quanto ao fator níveis de nitrogênio (N) (Tabela 12) foi constatado efeito significativo ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$) sobre as variáveis teor de nitrogênio (TN) e teor de cálcio (TCa), respectivamente, sem significância para as outras variáveis. Verifica-se, também, não haver efeito significativo para a interação L x N em todas as variáveis estudadas.

Observa-se ainda na Tabela 12, efeito linear ($p < 0,01$) do fator lâmina (L) para a variável teor de fósforo (TP) e um efeito quadrático ($P < 0,05$) para as variáveis teor de potássio (TK) e teor de magnésio (TMg). Quanto ao fator nível de nitrogênio (N), observa-se efeito quadrático ($P < 0,05$) tanto para variável teor de nitrogênio (TN) como para a variável teor de cálcio (TCa).

Observa-se que o nitrogênio foi o nutriente de maior concentração nas folhas da goiabeira, com uma média de $21,32 \text{ g kg}^{-1}$, seguindo-se do cálcio com média $15,33$; do potássio com média $13,14$; do magnésio com média $3,15$ e do fósforo com média de $1,63 \text{ g.kg}^{-1}$. Ou seja, a goiabeira variedade Paluma apresentou extração de macronutrientes na seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$. Estes valores ou ordem de extração estão de acordo com EMBRAPA (1999) e Natale et al. (1996; 2002).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância e regressão para as variáveis teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK) teor de cálcio (TCa) e teor de magnésio (TMg) em g.kg⁻¹, em folhas de goiabeira cultivar Paluma. Itaporanga, PB, 2005.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		TN	TP	TK	TCa	TMg
Lâminas (L)	3	3,24 ^{ns}	0,68**	3,23*	0,08 ^{ns}	0,53**
Regressão Linear	1	1,96 ^{ns}	2,03**	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,98**
Regressão Quadrática	1	4,98 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,70*	0,12 ^{ns}	0,59*
Regressão Cúbica	1	2,79 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Níveis Nitrogênio (N)	3	47,69**	0,06 ^{ns}	0,51 ^{ns}	8,10*	0,19 ^{ns}
Regressão Linear	1	134,26**	0,03 ^{ns}	0,38 ^{ns}	18,24**	0,22 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	9,74*	0,14 ^{ns}	0,74 ^{ns}	9,52*	0,34 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	0,87 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
L x N	9	2,95 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Bloco	3	0,54 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,79 ^{ns}	3,89	0,03 ^{ns}
Resíduo	45	2,17	0,039	0,91	2,39	0,09
CV (%)		6,87	12,16	7,28	10,10	9,58
Lâminas (L)		Médias observadas (g.kg⁻¹)				
L₁ (1144 mm)		20,85	1,41	12,97	15,24	2,96
L₂ (1465 mm)		21,94	1,54	13,11	15,33	3,04
L₃ (1785 mm)		21,53	1,69	13,77	15,42	3,37
L₄ (2106 mm)		21,51	1,89	12,71	15,33	3,22
Níveis Nitrogênio (N)		Médias observadas (g.kg⁻¹)				
N₁ (50 kg.ha⁻¹)		19,11	1,55	12,89	14,33	2,99
N₂ (100 kg.ha⁻¹)		21,32	1,69	13,32	15,33	3,20
N₃ (150 kg.ha⁻¹)		22,30	1,67	13,17	15,93	3,24
N₄ (200 kg.ha⁻¹)		23,10	1,62	13,17	15,72	3,16

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5 % de probabilidade; ns – não significativo.

Utilizando-se da regressão para analisar tendências e comportamento dos teores de fósforo em folhas de goiabeira, em condição de campo, na presença de diferentes lâminas de irrigação e doses crescentes de nitrogênio (Figura 10a), verifica-se alto coeficiente de determinação (r^2) com ajuste da equação de forma polinomial de primeiro grau para o fator lâmina total de água.

Conforme o modelo estatístico observa-se efeito linear positivo com acréscimo da lâmina total de água, implicando em aumento no teor de fósforo (TP) nas folhas da goiabeira, num percentual de 34,28; 20,51 e 9,30% quando se aplica a lâmina $L_4(2.106 \text{ mm}) = 1,88 \text{ g.kg}^{-1}$ em comparação com as lâminas $L_1(1.144 \text{ mm}) = 1,40 \text{ g.kg}^{-1}$; $L_2(1.465 \text{ mm}) = 1,56 \text{ g.kg}^{-1}$ e $L_3(1.785 \text{ mm}) = 1,72 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

Segundo a equação obtida, ocorreu acréscimo no teor de fósforo de $0,05 \text{ g.kg}^{-1}$ para cada acréscimo de 100 mm de água.

Como foi linear a relação entre teor de fósforo, em folhas de goiabeira, e lâmina total de água (irrigação + precipitação), até o nível de 2.106 mm, infere-se que seria possível o incremento de fósforo com aumento do suprimento hídrico, considerando ser alto o teores deste nutriente no solo (Tabela 2). Tal inferência, entretanto, tem limite, ao se considerar que excesso de água no solo, em nível superior à capacidade máxima de retenção (capacidade de campo) causa distúrbios de hipoxia e anoxia, afetando a respiração das células do sistema radicular (RAVEN et al., 2001; TAIZ & ZEIGER, 2004) e o crescimento/desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2000).

Segundo Granelli & Spada (1985), Magalhães (1996) e Maciel (1998) este nutriente, move-se tanto horizontal como verticalmente na camada mais profunda do solo, (0,15 a 0,30 m em solos de textura franco arenosa), sob irrigação localizada, o que aumenta a eficiência de absorção deste nutriente pelo sistema radicular das culturas.

Conforme o modelo estatístico que melhor se ajustou (Figura 10b) para o fator lâminas totais de água (L), observam-se acréscimo na variável teor de potássio (TK) nas folhas de goiabeira variedade Paluma, com a aplicação de lâmina total de irrigação até 1.621 mm (ponto de máximo do modelo) com um valor estimado de $13,5 \text{ g.kg}^{-1}$, e decrescente após este ponto até a aplicação da maior lâmina deste experimento, o que corresponde a um acréscimo de 5,1% em relação ao valor estimado em $L_1 (12,8 \text{ g.kg}^{-1})$ e um decréscimo de 5,1% em relação ao valor estimado em $L_4 (12,8 \text{ g.kg}^{-1})$, respectivamente.

O teor estimado de potássio (TK) nas folhas da goiabeira com a aplicação de L_3 ($13,4 \text{ g.kg}^{-1}$) foi igual ao aplicada em L_2 ($13,4 \text{ g.kg}^{-1}$), no entanto, superior 4,6% ao estimado em L_1 e L_4 ($12,8 \text{ g.kg}^{-1}$).

Nota-se que a aplicação das lâminas L_1 e L_4 obtêm-se menor valor do teor de potássio nas folhas da goiabeira, evidenciando-se, assim, que o déficit e o excesso hídrico reduziram o teor de potássio nas folhas de goiabeira.

De acordo com Granelli & Spada (1985), Burt et al (1995), Magalhães (1996) e Maciel (1998) o potássio é um nutriente relativamente móvel no solo, e a sua aplicação via fertirrigação em irrigação localizada em uma maior frequência, pode atingir profundidade no solo superior a 0,30 m, contribuindo assim, para uma maior lixiviação deste nutriente, quando se aplica água em excesso.

Com relação ao teor de magnésio (TMg), de acordo com o modelo estatístico que melhor se ajustou (Figura 10c), para o fator lâmina total de água, o teor máximo de magnésio estimado ($3,2 \text{ g.kg}^{-1}$) é obtido com a aplicação do nível máximo do modelo ($L_m = 1.864 \text{ mm}$). O teor estimado de magnésio (TMg) nas folhas da goiabeira cresceu de $2,9 \text{ g.kg}^{-1}$, com a aplicação de L_1 , até $3,2 \text{ g.kg}^{-1}$ no ponto L_m , o que corresponde a um acréscimo de 10,5%.

De acordo com o modelo estatístico que melhor se ajustou (Figura 11a) para o fator níveis de nitrogênio (N), observa-se que o teor de nitrogênio (TN) cresce com o aumento do nível de nitrogênio de $N_1 = 50 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($19,1 \text{ g.kg}^{-1}$), $N_2 = 100 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($21,3 \text{ g.kg}^{-1}$), $N_3 = 150 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($22,5 \text{ g.kg}^{-1}$) até o nível máximo do modelo $N_m = 187 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($22,7 \text{ g.kg}^{-1}$), correspondendo a um acréscimo de 18,7%, 6,8% e 1,2%, respectivamente.

Com relação ao teor de cálcio (TCa), de acordo com o modelo matemático que melhor se ajustou (Figura 11b), observa-se que o teor de nitrogênio (TN) cresce com o aumento do nível de nitrogênio de $N_1 = 50 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($14,3 \text{ g.kg}^{-1}$), até o nível máximo do modelo $N_m = 166 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($15,9 \text{ g.kg}^{-1}$), correspondendo a um acréscimo de 11,2%, decrescendo a partir deste até a aplicação do maior nível estudado, $N_4 = 200 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($15,8 \text{ g.kg}^{-1}$) correspondendo a um decréscimo de 0,9%.

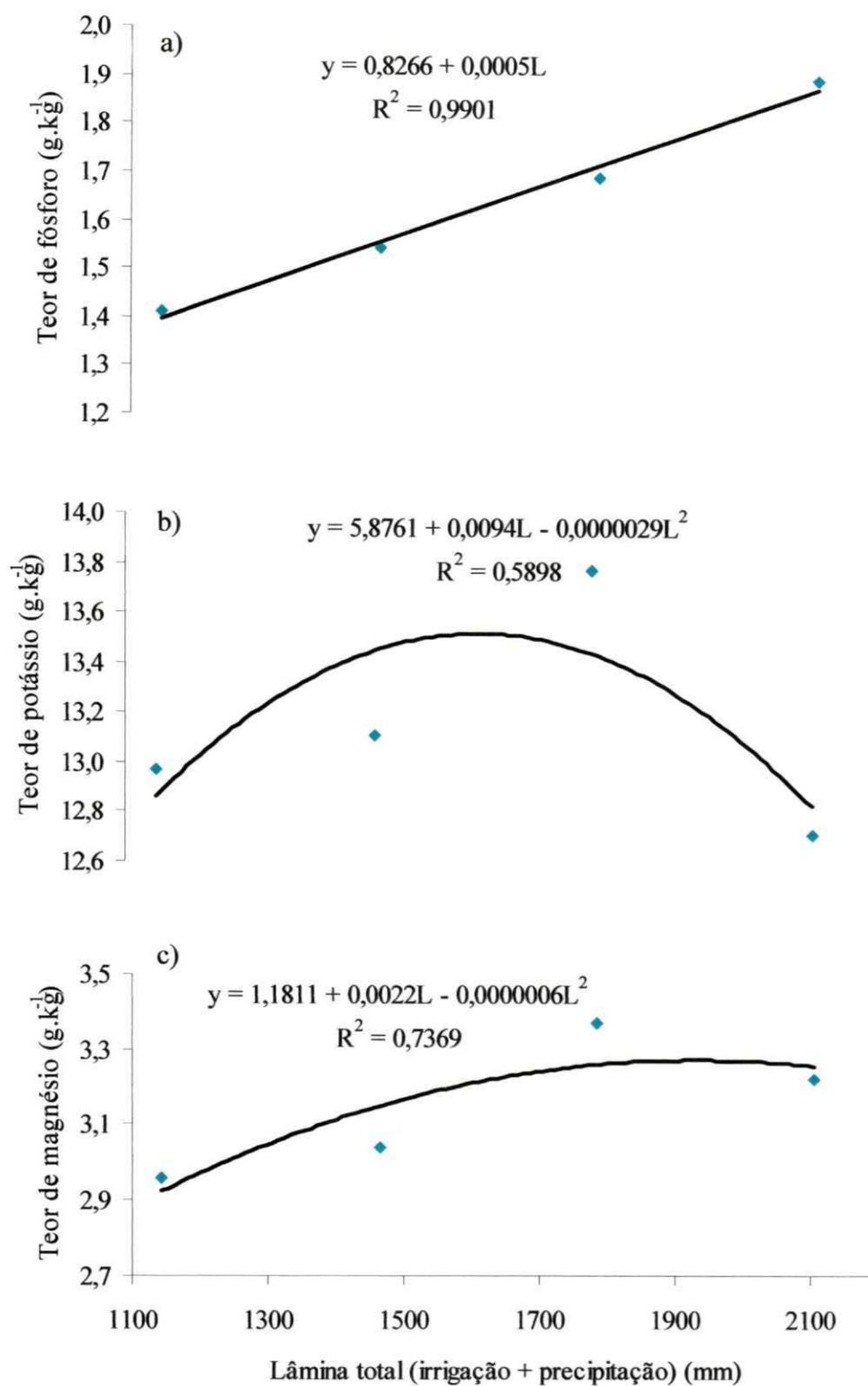


Figura 10 - Teor de fósforo (a), teor de potássio (b) e teor de magnésio (c) (g.kg⁻¹), em folhas de goiabeira cultivar Paluma em função da lâmina total de água. Itaporanga, PB, 2005.

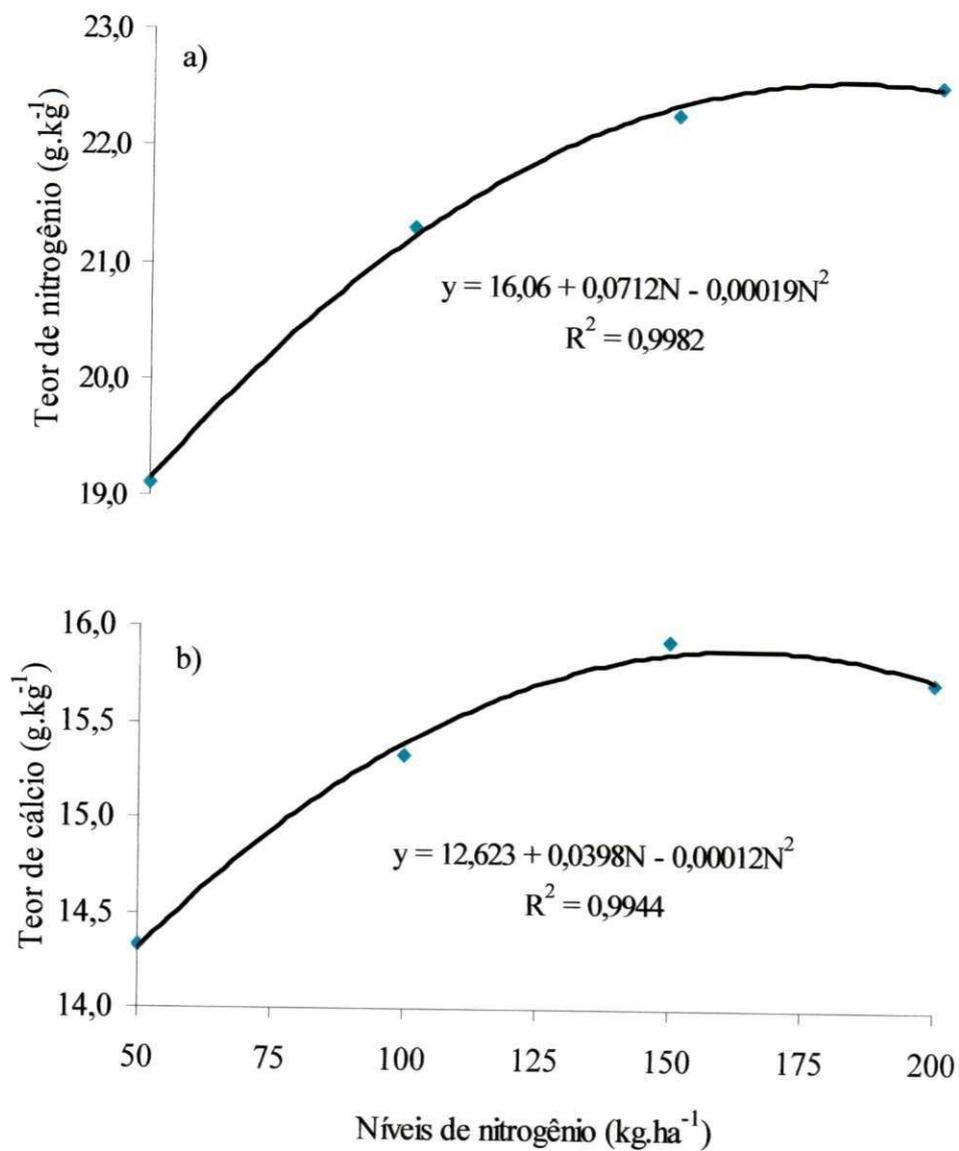


Figura 11 – Teor de nitrogênio (a), teor de cálcio (b) (g.kg⁻¹), em folhas de goiabeira cultivar Paluma em função de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

4.3. Função de Produção com um fator independente

4.3.1. Lâmina total de água como fator independente

Na Tabela 13 é observada a produtividade média de goiaba em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ do fator lâmina para cada nível de nitrogênio.

Tabela 13 - Produtividade média de goiaba ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para o fator lâmina total dentro de cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005

Laminas (mm)	Níveis de Nitrogênio ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)			
	N ₁ (50)	N ₂ (100)	N ₃ (150)	N ₄ (200)
L ₁ (1144)	14.287	19.563	24.990	23.997
L ₂ (1465)	21.727	26.963	27.517	27.010
L ₃ (1785)	20.147	36.150	43.583	34.250
L ₄ (2106)	19.717	22.560	31.677	28.320

O modelo polinomial de segundo grau para um fator independente (Equação geral 10), que representa a função de produção para o fator lâmina total de água dentro de cada nível de nitrogênio, com seus coeficientes algébricos substituídos por numéricos (Equações 36, 37, 38 e 39) é observado na Figura 12. Os coeficientes foram obtidos pelo software Sisvar.

$$Y(L/N_1) = -36533 + 66,74L - 0,0191L^2 \quad (36)$$

$$Y(L/N_2) = -111030 + 171,43L - 0,051L^2 \quad (37)$$

$$Y(L/N_3) = -74465 + 125,25L - 0,0351L^2 \quad (38)$$

$$Y(L/N_4) = -36439 + 76,93L - 0,0217L^2 \quad (39)$$

Na Figura 12 são apresentadas às equações de regressão polinomial do segundo grau ($p < 0,01$) em que o rendimento (Y) é expresso em função da lâmina de água (irrigação + precipitação). De acordo com os modelos, o menor rendimento da goiabeira foi obtido com a aplicação da lâmina L_1 , em todos os níveis de nitrogênio, aumentando-se com o acréscimo da lâmina total até um valor máximo (L_m), próximo a L_3 , decrescendo em seguida até a aplicação de L_4 .

Sousa (1997) também observou efeito quadrático do fator lâmina de água no rendimento da cultura da goiabeira, evidenciando-se, assim, que a redução e o excesso da disponibilidade de água no solo resultam numa menor produtividade da cultura.

Em outras culturas, também foram observados o efeito quadrático do fator lâmina, Frizzone (1986) e Aguiar (1989) com feijoeiro; Azevedo (2002) com cana-de-açúcar; Viana (2005) com algodoeiro, dentre outros.

$$y(LN_3) = -74465 + 125,25L - 0,0351L^2 \quad y(LN_4) = -36439 + 76,93L - 0,0217L^2$$

$$R^2 = 0,5761 \quad R^2 = 0,7272$$

$$y(LN_1) = -36533 + 66,74L - 0,0191L^2 \quad y(LN_2) = -111030 + 171,43L - 0,051L^2$$

$$R^2 = 0,836 \quad R^2 = 0,8075$$

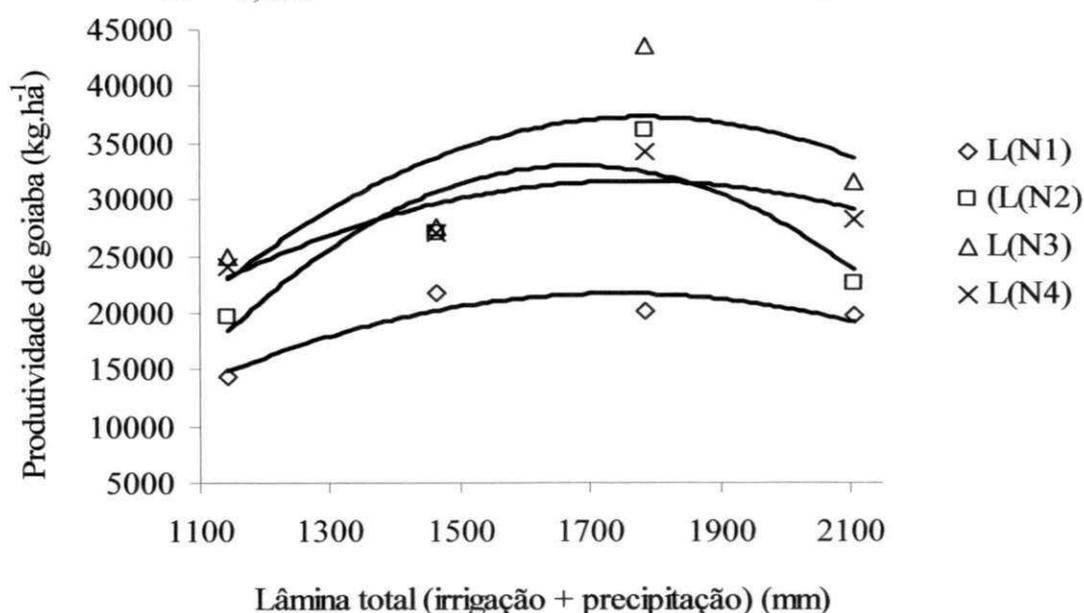


Figura 12 - Produtividade de goiaba ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função da lâmina total (irrigação + precipitação) dentro de cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

4.3.1.1. Estratégia de irrigação sob restrição de área

Considerando que a disponibilidade de terra é o único fator limitante da produção, a estratégia ótima de irrigação consiste em aplicar a quantidade de água que maximiza a receita líquida por unidade de área, o que corresponde maximizar a diferença entre as funções de custo e de receita bruta (FRIZZONE, 1993).

Foram considerados os seguintes custos para o cálculo da análise física e econômica da produtividade:

P_y – Preço unitário de venda de fruto de goiaba igual a R\$ 0,50 kg^{-1} ;

C_L – Custo de uma unidade do insumo água igual a R\$ 0,65 $\text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$;

C_P – Custo de produção da cultura igual a R\$ 2.446,00 ha^{-1} ;

A – Amortização anual dos investimentos igual a R\$ 885,62 ha^{-1} ;

C_F – custo fixo, ($C_P + A$) igual a R\$ 3.331,62 kg^{-1} .

Na Tabela 14 são apresentados os valores estimados de lâminas totais de água que proporciona o máximo rendimento (L_m) para cada nível de nitrogênio, calculados derivando-se as Equações 36, 37, 38 e 39 e igualando-se a zero, de acordo com a Equação geral 12. Apresentam-se, também, os valores estimados de lâmina que maximiza a receita líquida (L^*) para cada nível de nitrogênio, calculados derivando-se as Equações 36, 37, 38 e 39 e igualando-se a relação $C_L/P_y = 1,3$, de acordo com a Equação geral 16. São, também, observados os valores das lâminas que proporcionam a receita equivalente (L_e) calculados de acordo com as Equações 17, 18, 19 e 20 (FRIZZONE, 1993).

As produtividades $Y(L_m)$, $Y(L^*)$ e $Y(L_e)$ para cada nível de nitrogênio, estimadas com aplicação das lâminas L_m , L^* e L_e , respectivamente, são observadas na Tabela 14. Bem como as receitas líquidas $R_L(Y(L_m))$, $R_L(Y(L^*))$ e $R_L(Y(L_e))$, as quais foram calculadas pela Equação 40.

$$R_L = P_y \cdot Y - C_F - C_L \cdot L \quad (40)$$

Tabela 14 – Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam o rendimento físico (L_m), a receita líquida (L^*) e a receita líquida equivalente (L_e) para a relação de custo $C_L/Py = 1,3$, para cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de nitrogênio (kg.ha⁻¹)	Produtividade (Y) (kg.ha⁻¹)	Receita Líquida (R\$ ha⁻¹)
$L_m = 1.747$	$N_1 = 50$	21.768	6.416,83
$L_m = 1.681$	$N_2 = 100$	33.030	12.090,73
$L_m = 1.784$	$N_3 = 150$	37.270	14.143,78
$L_m = 1.773$	$N_4 = 200$	31.743	11.387,43
$L^* = 1.713$	$N_1 = 50$	21.747	6.427,93
$L^* = 1.668$	$N_2 = 100$	33.022	12.095,18
$L^* = 1.766$	$N_3 = 150$	37.258	14.149,48
$L^* = 1.743$	$N_4 = 200$	31.724	11.397,43
$L_e = 1.679$	$N_1 = 50$	21.680	6.417,03
$L_e = 1.655$	$N_2 = 100$	32.996	12.090,63
$L_e = 1.747$	$N_3 = 150$	37.221	14.143,33
$L_e = 1.713$	$N_4 = 200$	31.666	11.387,93

Observa-se na Tabela 14 que os maiores valores de produtividade da goiabeira e da receita líquida, foram obtidos com aplicações de lâminas dentro do nível de nitrogênio N_3 (150 kg.ha⁻¹), enquanto, os menores valores foram obtidos com a aplicação de lâminas dentro do nível de nitrogênio N_1 (50 kg.ha⁻¹). Observa-se, ainda, que receita líquida $R_L L^*$ é um pouco maior do que $R_L L_m$ e $R_L L_e$, em todos os níveis de nitrogênio, com acréscimo de 0,17 em N_1 ; 0,04 % em N_2 ; 0,04% em N_3 e 0,08% em N_4 .

A receita líquida proporcionada pela lâmina máxima (L_m) foi maior no nível de nitrogênio N_3 , correspondendo a um acréscimo de 120,4% em N_1 , 16,7% em N_2 e 24,2% em N_4 . A mesma tendência, também, é observada com a receita líquida proporcionada por

L^* e L_e , com acréscimo de 120,1% em N_1 , 16,7% em N_2 e 24,1% para L^* e um acréscimo de 120,4% em N_1 , 17,0% em N_2 e 24,2% para L_e .

Verifica-se na Tabela 14, de um modo geral, que o fator lâmina total de água apresentou um bom desempenho econômico, com receita líquida considerável, evidenciando, assim, que o manejo da irrigação via clima (evaporação do tanque classe A e coeficientes de cultivo), bem como irrigações freqüentes, é adequado ao cultivo da goiabeira.

Na Tabela 15 são apresentados os valores estimados de lâminas totais de água utilizadas no neste experimento, para cada nível de nitrogênio, como também as respectivas produtividade e receita líquida.

Tabela 15 – Análise econômica para as lâminas totais de água utilizadas no experimento, para cada nível de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de nitrogênio (kg.ha⁻¹)	Produtividade (Y) (kg.ha⁻¹)	Receita Líquida (R\$ ha⁻¹)
L₁ = 1.144	N₁ = 50	14.821	3.335,13
L₁ = 1.144	N₂ = 100	18.340	5.094,97
L₁ = 1.144	N₃ = 150	22.884	7.366,96
L₁ = 1.144	N₄ = 200	23.169	7.509,45
L₂ = 1.465	N₁ = 50	20.248	5.840,23
L₂ = 1.465	N₂ = 100	30.657	11.044,87
L₂ = 1.465	N₃ = 150	33.694	12.563,00
L₂ = 1.465	N₄ = 200	29.690	10.561,31
L₃ = 1.785	N₁ = 50	21.741	6.378,63
L₃ = 1.785	N₂ = 100	32.475	11.745,67
L₃ = 1.785	N₃ = 150	37.270	14.143,00
L₃ = 1.785	N₄ = 200	31.740	11.378,10
L₄ = 2.106	N₁ = 50	19.308	4.953,70
L₄ = 2.106	N₂ = 100	23.805	7.201,75
L₄ = 2.106	N₃ = 150	33.635	12.116,84
L₄ = 2.106	N₄ = 200	29.931	9.964,95

De acordo com a Tabela 15 os maiores valores de produtividade da goiabeira e da receita líquida, foram obtidos com aplicações de lâminas dentro do nível de nitrogênio N₃ (150 kg.ha⁻¹), e os menores valores foram obtidos com a aplicação de lâminas dentro do nível de nitrogênio N₁ (50 kg.ha⁻¹).

Comparando-se os valores da receita líquida estimado com a aplicação de lâminas dentro do nível de nitrogênio N₃ (R\$ 14.143,00 ha⁻¹), onde se notam maiores valores, com os estimados nos níveis de nitrogênio N₁(R\$ 6.378,63 ha⁻¹), N₂ (R\$ 11.745,67 ha⁻¹) e N₄ (R\$ 11.378,10 ha⁻¹) são observados percentuais de acréscimo de 91,9%, 12,6% e 16,7% respectivamente.

Também, são observados esta mesma tendência de acréscimo, para a receita líquida estimada, com à aplicação das outras lâminas, no nível de nitrogênio N₃ em comparação com N₁, N₂ e N₄.

Observa-se, ainda, na Tabela 15 que a produtividade de goiaba obtida com a aplicação de L₁ dentro de N₃ (37.270 kg.ha⁻¹) apresenta percentuais de acréscimos de 71,4% em relação a N₁ (21.741 kg.ha⁻¹), 14,8% em relação a N₂ (32.475 kg.ha⁻¹) e 17,4% em relação a N₄ (31.740 kg.ha⁻¹). A mesma tendência é observada com a aplicação de L₂, dentro de N₃ (33.694 kg.ha⁻¹), com acréscimos de 66,4% em relação a N₁ (20.248 kg.ha⁻¹), 9,9% em relação a N₂ (30.657 kg.ha⁻¹) e 13,5% em relação a N₄ (29.690 kg.ha⁻¹). Idem para a aplicação de L₄, dentro de L₃ (33.635 kg.ha⁻¹), com de acréscimos de 74,2% em relação a N₁ (19.308 kg.ha⁻¹), 41,3% em relação a N₂ (23.805 kg.ha⁻¹) e 12,4% em relação a N₄ (29.931 kg.ha⁻¹), já na menor lâmina (L₁) a produtividade foi crescente do nível de adubação nitrogenada N₁ até o nível N₄. De acordo com o exposto, nota-se que a aplicação de lâmina total de água, dentro de níveis de nitrogênio, proporcionou acréscimo na produtividade da goiabeira de N₁ até N₃, e decréscimo a partir desta até N₄, exceto para L₁.

A produtividade de goiaba (33.694 kg.ha⁻¹), obtida com a aplicação de lâmina total de água de L₂(1.465 mm), dentro de N₃, foi 42,16% superior à produtividade obtida por Sousa (1997), estimada em 23.700 kg.ha⁻¹ com uma lâmina total de água de 1.486 mm Ferreira (2004), em goiabeira Paluma com dois anos e três meses, estimou uma produtividade de 24.000 kg.ha⁻¹ com aplicação de lâmina total (irrigação + precipitação) de 679,17 mm, já Moura (2005), obteve produtividade de goiabeira Paluma, com quatro anos de idade, na ordem de 32.083 e 32.917 kg.ha⁻¹ com aplicação de lâmina de água de 1.103 e 1.141mm, em área de pesquisa da Embrapa e em área de produtor, respectivamente.

4.3.1.2. Estratégia de irrigação sob restrição de água

Considerando que a disponibilidade frequentemente constitui um fator limitante da produção, a estratégia ótima de irrigação consiste em aplicar a quantidade de água que maximiza a receita líquida por unidade de volume de água (FRIZZONE, 1993).

O nível ótimo de água (L_L^*) e o nível ótimo equivalente (L_{Le}), para cada nível de nitrogênio foram determinadas pelas Equações 21 e 22, respectivamente. As produtividades $Y(L_L^*)$, e $Y(L_{Le})$ para cada nível de nitrogênio, estimadas com aplicação das lâminas L_L^* e L_{Le} , respectivamente, são observadas na Tabela 16. Bem como as receitas líquidas $R_L(Y(L_L^*))$ e $R_L(Y(L_{Le}))$, as quais foram calculadas pela Equação 40.

Tabela 16 – Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam a receita líquida (L_L^*) e a receita líquida equivalente (L_{Le}), e as lâminas utilizadas no experimento, para a relação custo $C_L/Py = 1,3$. Itaporanga, PB, 2005

Lâminas totais de água (mm)	Níveis de nitrogênio ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Produtividade (Y) ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Receita Líquida ($\text{R\$ ha}^{-1}$)	Receita Líquida ($\text{R\$ m}^{-3}$)
$L_L^* = 1.504$	$N_1 = 50$	20.639	6.010,28	0,40
$L_L^* = 1.519$	$N_2 = 100$	31.697	11.529,53	0,76
$L_L^* = 1.520$	$N_3 = 150$	34.820	13.090,38	0,86
$L_L^* = 1.409$	$N_4 = 200$	28.875	10.190,03	0,72
$L_{eL} = 1.294$	$N_1 = 50$	17.847	4.750,78	0,37
$L_{eL} = 1.373$	$N_2 = 100$	28.202	9.876,93	0,72
$L_{eL} = 1.295$	$N_3 = 150$	28.870	10.261,63	0,79
$L_{eL} = 1.121$	$N_4 = 200$	31.666	7.204,73	0,64

De acordo com a Tabela 16 o maior valor da receita líquida foi obtido com a lâmina máxima L_L^* (1520 mm) no nível de nitrogênio N_3 , já a menor receita foi obtida com a lâmina máxima L_L^* (1504 mm) no nível de nitrogênio N_1 . Quanto a receita líquida obtida com a lâmina equivalente (L_{eL}) também é observado maior valor no nível de nitrogênio N_3 .

4.3.2. Níveis de nitrogênio como fator independente

Na Tabela 17 são apresentados dados de produtividade média de goiaba ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função do fator nível de nitrogênio para cada lâmina total de água.

Tabela 17 - Produtividade média de goiaba ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para o fator nível de nitrogênio dentro de cada lâmina total (irrigação + precipitação). Itaporanga, PB, 2005.

Níveis de Nitrogênio ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Lâmina total (irrigação + precipitação) (mm)			
	L ₁ (1144)	L ₂ (1465)	L ₃ (1785)	L ₄ (2106)
N ₁ (50)	14.287	21.727	20.147	19.717
N ₂ (100)	19.563	26.963	36.150	22.560
N ₃ (150)	24.990	27.517	43.583	31.667
N ₄ (200)	23.997	27.010	34.250	28.320

O modelo polinomial de segundo grau para um fator variável (Equação geral 10), que representa a função de produção para o fator nível de nitrogênio dentro de cada lâmina total de irrigação, com seus coeficientes algébricos substituídos por numéricos (Equações 41, 42, 43 e 44) é observado na Figura 13. Os coeficientes foram obtidos pelo software Sisvar.

$$Y(N/L_1) = 4232,5 + 225,86 N - 0,627 N^2 \quad (41)$$

$$Y(N/L_2) = 14524 + 176,39 N - 0,5743 N^2 \quad (42)$$

$$Y(N/L_3) = -10574 + 732,90 N - 2,5337 N^2 \quad (43)$$

$$Y(N/L_4) = 9086 + 224,85 N - 0,62 N^2 \quad (44)$$

Na Figura 13 são apresentadas às equações de regressão ($p < 0,01$), em que o rendimento (Y) é expresso em função dos níveis de nitrogênio. De acordo com os modelos quadráticos, o menor rendimento da goiabeira foi obtido com a aplicação do nível N_1 , em todas as lâminas totais de água, aumentando-se com o acréscimo do nível de nitrogênio até N_m , próximo a N_3 , e decrescendo em seguida até N_4 .

Observa-se, portanto, que a aplicação de nitrogênio aumentou a produtividade da goiabeira, da aplicação de N_1 para N_3 , diminuindo a partir desta até a aplicação de N_4 , evidenciando que o déficit e o excesso de nitrogênio, proporcionam redução na produtividade da goiabeira. A aplicação de maior nível de lâmina total de água proporcionou redução na produtividade.

Azevedo (2002), Monteiro (2004) e Viana (2005), também encontraram efeito quadrático do nitrogênio em cana-de-açúcar, meloeiro e algodoeiro, respectivamente.

$$y(NL_3) = -10574 + 732,9N - 2,5337N^2 \quad y(NL_4) = 9086,7 + 224,85N - 0,62N^2$$

$$R^2 = 0,9883 \quad R^2 = 0,8007$$

$$y(NL_1) = 4232,5 + 225,86N - 0,627N^2 \quad y(NL_2) = 14524 + 176,39N - 0,5743N^2$$

$$R^2 = 0,9699 \quad R^2 = 0,9706$$

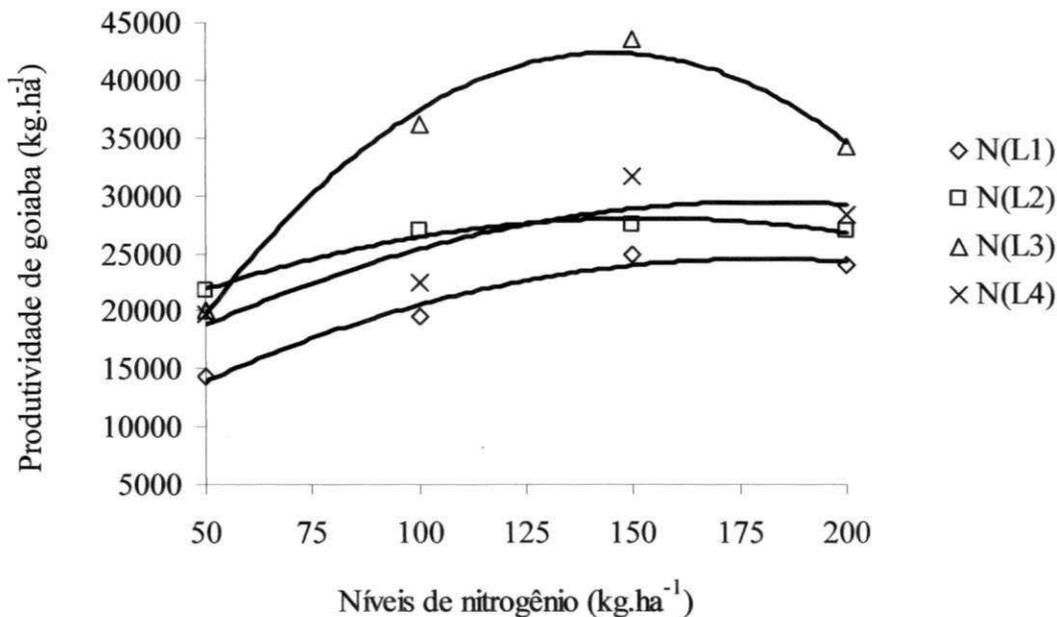


Figura 13 - Produtividade de goiaba (kg.ha⁻¹) em função de níveis de nitrogênio dentro de cada lâmina total aplicada. Itaporanga, PB, 2005

Na Tabela 18 são apresentados os níveis de nitrogênio que proporcionam os máximos rendimentos (N_m), para cada lâmina total de água, calculados derivando-se as Equações 41, 42, 43 e 44 e igualando-se a zero. Também, o nível de nitrogênio que maximiza a receita líquida (N^*) calculados derivando-se as Equações 41, 42, 43 e 44 e igualando-se a relação $C_N/Py = 2,3$. Nota-se na referida tabela que N_m e N^* são muito próximos, em todos os níveis de L, com um percentual de diferença de 1,12% em L_1 , 1,31% em N_2 , 0,69% em N_3 e 1,12% em N_4 .

As produtividades $Y(N_m)$ e $Y(N^*)$ para cada lâmina total de água são observadas na Tabela 18. Bem como as receitas líquidas $R_L(Y(N_m))$ e $R_L(Y(N^*))$, as quais foram calculadas pela Equação 41. São, também, apresentadas nesta tabela, as produtividades com as respectivas receitas líquidas, para os níveis de nitrogênio aplicados nesta pesquisa.

$$R_L = Py.Y - C_F - C_N.N \quad (45)$$

De acordo com a Tabela 18 nota-se que os maiores valores de produtividade (Y) e da respectiva receita líquida (R_L) da goiabeira, foram estimados com aplicações de níveis de nitrogênio dentro de L_3 (1.785 mm), exceto para $Y(N_1)$ e $R_L(N_1)$ que apresentou maiores valores dentro do L_2 (1465 mm), enquanto, os menores valores o foram obtidos com a aplicação de níveis de nitrogênio dentro de L_1 (1.144 mm). Observa-se, ainda, que a receita líquida $R_L N^*$ é, aproximadamente, igual à $R_L N_m$, em todos os níveis de lâminas totais de água. A receita líquida proporcionada por $R_L N^* = 144 \text{ kg.ha}^{-1}$ dentro L_3 (R\$ 17.715,18 ha^{-1}) foi superior à receita líquida proporcionada por $R_L N^* = 178 \text{ kg.ha}^{-1}$ dentro L_1 (R\$ 8.748,54 ha^{-1}), $R_L N^* = 152 \text{ kg.ha}^{-1}$ (R\$ 10.526,91 ha^{-1}) dentro de L_2 , e $R_L N^* = 179 \text{ kg.ha}^{-1}$ (R\$ 11.196,90 ha^{-1}) dentro de L_4 , num percentual de 102,5%, 68,3%, e 58,2%, respectivamente. Também é observado a mesma tendência de aumento da receita líquida proporcionada pelo nível máximo ($R_L N_m$) dentro do nível de lâmina L_3 , em relação aos níveis de lâmina L_1 , L_2 e L_4 .

Tabela 18 – Análise econômica para os níveis de nitrogênio que maximizam o rendimento físico (N_m), a receita líquida (N^*) e os níveis de nitrogênio utilizados no experimento, para a relação custo $C_N/Py = 2,3$. Itaporanga, PB, 2005.

Níveis de nitrogênio (kg.ha⁻¹)	Lâminas totais de água (mm)	Produtividade (Y) (kg.ha⁻¹)	Receita Líquida (R\$ ha⁻¹)
$N_m = 180$	$L_1 = 1.144$	24.573	8.747,63
$N_m = 154$	$L_2 = 1.465$	28.068	10.525,28
$N_m = 145$	$L_3 = 1.785$	42.426	17.714,36
$N_m = 181$	$L_4 = 2.106$	29.473	11.196,25
$N^* = 178$	$L_1 = 1.144$	24.570	8.748,54
$N^* = 152$	$L_2 = 1.465$	28.067	10.526,91
$N^* = 144$	$L_3 = 1.785$	42.425	17.715,18
$N^* = 179$	$L_4 = 2.106$	29.469	11.196,90
$N_1 = 50$	$L_1 = 1.144$	13.958	3.589,88
$N_1 = 50$	$L_2 = 1.465$	21.908	7.564,75
$N_1 = 50$	$L_3 = 1.785$	19.737	6.479,25
$N_1 = 50$	$L_4 = 2.106$	18.779	6.000,13
$N_2 = 100$	$L_1 = 1.144$	20.549	6.827,63
$N_2 = 100$	$L_2 = 1.465$	26.420	9.763,38
$N_2 = 100$	$L_3 = 1.785$	37.379	15.242,88
$N_2 = 100$	$L_4 = 2.106$	25.372	9.238,88
$N_3 = 150$	$L_1 = 1.144$	24.004	8.497,88
$N_3 = 150$	$L_2 = 1.465$	28.061	10.526,26
$N_3 = 150$	$L_3 = 1.785$	42.353	17.672,26
$N_3 = 150$	$L_4 = 2.106$	28.864	10.927,63
$N_4 = 200$	$L_1 = 1.144$	24.325	8.600,23
$N_4 = 200$	$L_2 = 1.465$	26.830	9.853,38
$N_4 = 200$	$L_3 = 1.785$	34.658	13.767,38
$N_4 = 200$	$L_4 = 2.106$	29.257	11.066,38

Nota-se na Tabela 18 que a produtividade de goiaba obtida com a aplicação de 150 kg.ha⁻¹ de nitrogênio dentro de L₃ (42.353 kg.ha⁻¹) apresenta acréscimos de 76,44% em relação a L₁ (24.004 kg.ha⁻¹), 50,93% em relação a L₂ (28.061 kg.ha⁻¹) e 46,73% em relação a L₄ (28.864 kg.ha⁻¹). A mesma tendência, é observada com a aplicação de 100 kg.ha⁻¹ de N, dentro L₃ (37.379 kg.ha⁻¹), com acréscimos de 81,90% em relação a L₁ (20.549 kg.ha⁻¹), 41,48% em relação a L₂ (26.420 kg.ha⁻¹) e 47,32% em relação a L₄ (25.372 kg.ha⁻¹). Idem para a aplicação de 200 kg.ha⁻¹ de N, dentro de L₃ (34.658 kg.ha⁻¹), com acréscimo de 42,48% em relação a L₁ (24.325 kg.ha⁻¹), 29,18% em relação a L₂ (26.830 kg.ha⁻¹) e 18,46% em relação a L₄ (29.257 kg.ha⁻¹).

Com relação à aplicação de 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, a maior produtividade foi obtida com a lâmina L₂ (21,908 kg.ha⁻¹), correspondendo a acréscimo de 56,96% em relação a L₁ (13.958 kg.ha⁻¹), 11,00% em relação a L₃ (19.737 kg.ha⁻¹) e 16,66% em relação a L₄ (18.779 kg.ha⁻¹), evidenciando, um efeito da lâmina de água sobre este nutriente, uma vez que, a aplicação de qualquer nível de nitrogênio dentro da maior lâmina (L₄ = 2.106 mm) reduziu a produtividade da goiabeira em comparação com L₃ = 1.785 mm, o que se pode deduzir que houve lixiviação deste nutriente com a aplicação da maior lâmina total de água.

4.4. Função de resposta para dois fatores independentes (água e nitrogênio)

4.4.1. Função de resposta

O modelo de polinômio de segundo grau para dois fatores independentes (Equação 26), que representa a função de produção para os fatores lâminas totais de água e níveis de nitrogênio, com seus respectivos coeficientes algébricos substituídos por numéricos (Equação 46). Os coeficientes foram obtidos pelo software Surfer 7.0. A superfície de resposta, com base nesta equação é observada na Figura 14.

$$Y(L, N) = -92361,763 + 119,29L - 0,0344L^2 + 287,56N - 0,8676N^2 + 0,0025LN \quad (46)$$

A Figura 14 representa graficamente a superfície de resposta da goiabeira em função da lamina de água e a fertirrigação nitrogenada, com rendimento máximo estimado de $35.607 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, obtido com a combinação $L = 1.740 \text{ mm}$ e $N = 168 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

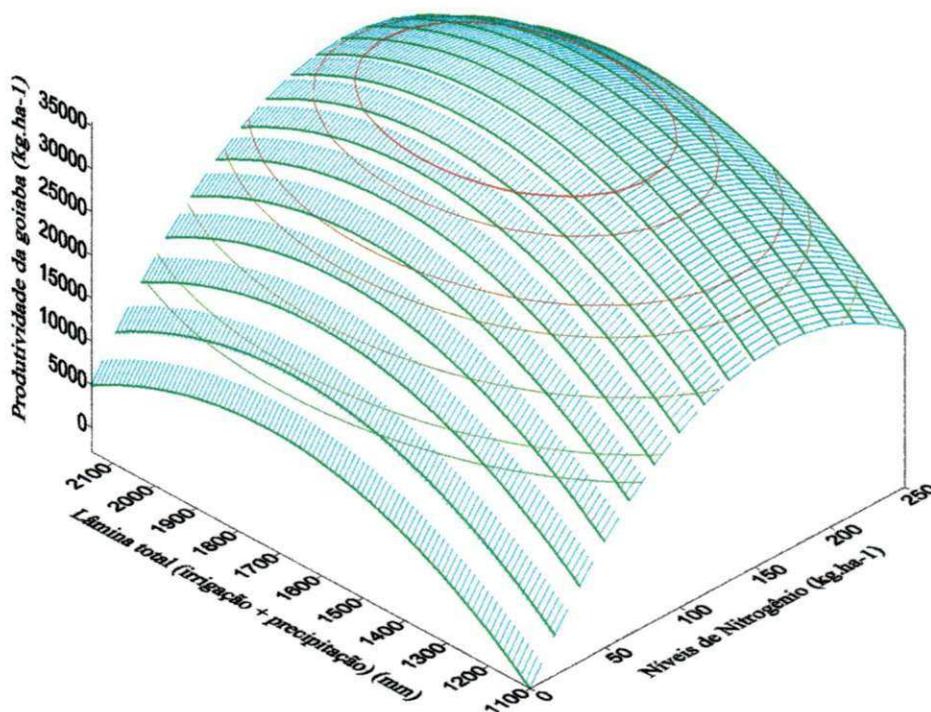


Figura 14 - Superfície de resposta da goiabeira em função de lâminas totais de água e de níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB. 2005

4.4.2 - Produtividade de máximo rendimento físico

De acordo com o modelo estatístico (Equação 46) o ponto de máximo rendimento físico é obtido satisfazendo às seguintes condições: (Aguiar, 2005).

$$a) \frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{\partial Y}{\partial N} = 0 \quad (47)$$

$$b) \frac{\partial^2 Y}{\partial L^2} \text{ e } \frac{\partial^2 Y}{\partial N^2} < 0 \quad (48)$$

$$c) \frac{\partial^2 Y}{\partial L^2} \times \frac{\partial^2 Y}{\partial N^2} > \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial L \partial N} \right)^2 \quad (49)$$

Derivando-se a Equação 46 em relação a cada fator tem-se:

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = 119,29 - 0,0688 L + 0,0025 N = 0 \quad (50)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = 287,56 - 1,7352 N + 0,0025 L = 0 \quad (51)$$

Escolhendo-se uma das variáveis na Equação 50, para determinar o seu valor, e substituindo na Equação 51, determina-se o valor da outra variável, posteriormente, substituindo o valor encontrado em uma das equações, determina-se a outra variável.

Na Tabela 19, são apresentadas os pontos máximos de lâmina total de água (L_m) e de níveis de nitrogênio (N_m), onde se encontram, também, os dados de produtividade máxima da goiabeira ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) estimado pela Equação 45, e a respectiva receita líquida obtida pela Equação 52.

$$R_L = P_y \cdot Y - C_L \cdot L - C_N \cdot N - C_F \quad (52)$$

4.4.3. Produtividade que maximiza a receita líquida

As quantidades dos fatores água (L^*) e nitrogênio (N^*) que conduzirão à máxima receita líquida, considerando não haver restrição quanto aos recursos financeiros disponíveis para as suas aquisições, são obtidas derivando-se a Equação 46 em relação ao fator L e N e igualando-se à relação entre os preços unitários da água e da goiaba ($C_L/Py = 1,3$) e a relação entre os preços unitários do nitrogênio e da goiaba ($C_N/Py = 2,3$), respectivamente, obtendo-se, as Equações 53 e 54.

A solução de L^* e N^* e apresentada na Tabela 19, como também a produtividade que maximiza a receita líquida $Y(L^*,N^*)$ calculada pela equação 46, e a respectiva receita líquida $R_L(L^*, N)$ calculada pela Equação 52.

$$\frac{\partial Z}{\partial L} = 119,29 - 0,0688L + 0,0025N = 1,3 \quad (53)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial N} = 287,56 - 1,7352N + 0,0025L = 2,3 \quad (54)$$

Na Tabela 19 é apresentada uma análise de desempenho econômico para a combinação de L_m e N_m que resultam em máximo rendimento físico, e a combinação L^* e N^* que máxima receita líquida para a relação “ $C_L/Py = 1,3$ ” “ $C_N/Py = 2,3$ ”, bem como, a combinação de lâminas e níveis de nitrogênio dos tratamentos estudados.

De acordo com a Tabela 19, a produção de máximo rendimento físico ($Y(L_m, N_m)$), estimada em $35.607 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de goiaba, ocorreu com a combinação $L_m = 1.740 \text{ mm}$ de água e $N_m = 168 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N , já a produção que maximiza a receita líquida ($Y(L^*, N^*)$), estimada em $35.594 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ocorreu com a combinação $L^* = 1.721 \text{ mm}$ de água e $N^* = 167 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N , as quais proporcionaram uma receita líquida de: $R_L(L_m; N_m) = \text{R}\$ 13.147,68\cdot\text{ha}^{-1}$ e $R_L(L^*; N^*) = 13.154,68\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tabela 19 – Análise econômica para as lâminas totais de água que maximizam o rendimento físico (L_m), a receita líquida (L^*) para a relação de custo $C_L/P_y = 1,3$. Itaporanga, PB, 2005

Parâmetros:	Produtividade (Y)	Receita Líquida (R_L)
L(mm); N(kg.ha⁻¹)	(kg.ha⁻¹)	(R\$ ha⁻¹)
L_m; $N_m = 1.740$; 168	35.607	13.147,68
L^*; $N^* = 1.721$; 167	35.594	13.154,68
L_1; $N_1 = 1.144$; 50	11.437	1.585,78
L_1; $N_2 = 1.144$; 100	19.451	5.535,28
L_1; $N_3 = 1.144$; 150	23.127	7.315,78
L_1; $N_4 = 1.144$; 200	22.465	6.927,28
L_2; $N_1 = 1.465$; 50	20.960	6.138,63
L_2; $N_2 = 1.465$; 100	29.014	10.108,13
L_2; $N_3 = 1.465$; 150	32.730	11.908,63
L_2; $N_4 = 1.465$; 200	32.108	11.540,13
L_3; $N_1 = 1.785$; 50	23.397	7.149,13
L_3; $N_2 = 1.785$; 100	31.491	11.138,63
L_3; $N_3 = 1.785$; 150	35.247	12.959,13
L_3; $N_4 = 1.785$; 200	34.665	12.610,63
L_4; $N_1 = 2.106$; 50	18.763	4.623,48
L_4; $N_2 = 2.106$; 100	26.897	8.632,98
L_4; $N_3 = 2.106$; 150	30.694	10.473,98
L_4; $N_4 = 2.106$; 200	30.152	10.145,48

A produção que maximiza a receita líquida é 0,036% menor que a produção de máximo rendimento físico, no entanto, esta proporcionou uma receita líquida 0,05% superior à outra.

Permanecendo constante a lâmina total de água e variando os níveis de nitrogênio, observa-se na Tabela 19, que a produtividade da goiabeira e a respectiva receita líquida são crescentes de N_1 até N_3 , e decrescentes de N_3 a N_4 . Fazendo-se este mesmo raciocínio em relação aos níveis de nitrogênio, como constantes, e variando as lâminas totais de água, nota-se que a produtividade e a receita líquida aumentam de L_1 até L_3 e diminuem de L_3 a L_4 .

A produtividade obtida com a combinação $L_3 N_3$ ($35.247 \text{ kg.ha}^{-1}$) proporcionou uma receita líquida de R\$ $12.959,13 \text{ ha}^{-1}$, o que representa acréscimos de 81,3% em relação à receita líquida de R\$ $7.149,13 \text{ ha}^{-1}$ obtida com $L_3 N_1$ (23.970 kg.ha), 16,3% em relação à receita líquida de R\$ $11.138,63 \text{ ha}^{-1}$ obtida com $L_3 N_2$ (31.491 kg.ha), e 2,8% em relação à receita líquida de R\$ $12.610,63 \text{ ha}^{-1}$ obtida com $L_3 N_4$ (34.665 kg.ha). Também é observada esta mesma tendência de acréscimo na receita líquida nas combinações $L_1 N_3$, $L_2 N_3$ e $L_4 N_3$ em comparação destas lâminas com os outros níveis de nitrogênio. Como se pode observar, a combinação de lâminas com o nível de nitrogênio N_3 (150 kg.ha^{-1}) proporcionou um grande acréscimo na receita líquida em relação ao nível N_1 (50 kg.ha^{-1}), evidenciando que o déficit de nitrogênio reduziu a produtividade da goiabeira. Por outro lado, em relação a N_4 (200 kg.ha^{-1}), embora acréscimo na receita líquida tenha sido pequeno, evidencia que excesso de nitrogênio também proporcionou redução na produtividade da goiabeira.

4.4.4. Isoquantas, isóclina e região de produção racional

As isoquantas ou curvas de isoprodutos obtidas a partir da função de produção (Equação 46), são apresentadas na (Figura 15). Cada isoquanta representa as diferentes combinações de lâminas totais de água e doses de nitrogênio que resultam numa mesma produtividade (FRIZZONE, 1993; AGUIAR 2005). Tomando, como exemplo, a produtividade $26.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ pode ser obtida com 80 kg.ha^{-1} de nitrogênio e 1.450 mm de água ou com 100 kg.ha^{-1} de nitrogênio e 1.335 mm de água. Quanto maior o rendimento,

menor a quantidade de combinações dos fatores de produção analisados, até o ponto em que apenas uma combinação de L e N é possível, combinação esta que proporciona o máximo rendimento físico da goiaba, no caso desta pesquisa, 35.607 kg.ha⁻¹.

As isoquantas podem ser ligadas por linhas que passam por pontos de mesma declividade, denominadas de isóclinas. As isóclinas que passam pelos pontos de cada isoquanta em que $\delta L/\delta N = 0$ e $\delta N/\delta L = 0$, delimitam a região de produção racional (Linha I₁ e I₂ Figura 15), as quais foram obtidas pelas Equações 55 e 56.

Para L = 0

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = 287,56 - 1,7352N = 0 \Rightarrow N = 165,7 \text{ kg ha}^{-1} \quad (55)$$

Para N = 0

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = 119,29 - 0,0688L = 0 \Rightarrow L = 1734 \text{ mm} \quad (56)$$

As linhas de fronteira I₁ e I₂ referem-se às quantidades de água e de nitrogênio, respectivamente, que devem ser utilizadas para produzir diferentes quantidades de Y (produtividade de goiaba) e serve como limite das combinações racionais. Nesses pontos o produto marginal da água é zero, e qualquer quantidade de água além desses pontos, tornaria o produto marginal da água negativo e se reduziria a produtividade de goiaba (FRIZZONE, 1993; AGUIAR, 2005).

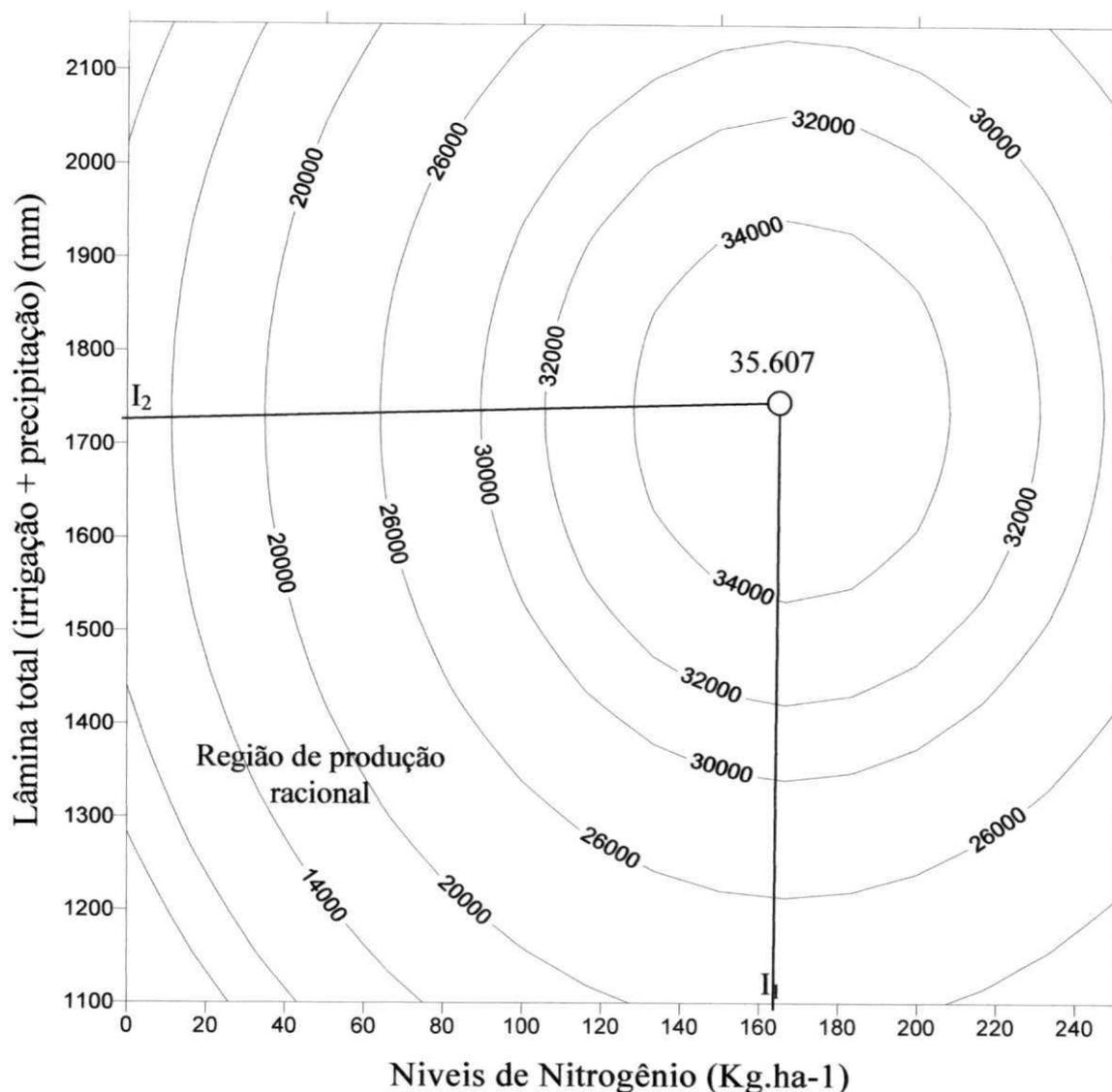


Figura 15 - Curvas de isoproducto (isoquantas) da função de produção de goiaba. Itaporanga, PB, 2005.

4.4.5. Combinação dos fatores que resulta no custo mínimo

Uma vez delimitada a região de produção racional, interessa saber quanto se deve gastar com os dois fatores de produção para se atingir determinado nível de produtividade ao menor custo possível. Conhecendo-se as diferentes combinações dos dois fatores substituíveis, que produzem a mesma quantidade do produto, pode-se determinar a combinação de custo mínimo

A combinação de lâminas de água e de níveis de nitrogênio que proporcionam o menor custo, para um determinado nível de rendimento, é aquela em que a reta do isocusto tangencia a isoquanta para o nível de rendimento considerado (FRIZZONE, 1993; AGUIAR, 2005), (Equação 57).

$$C = C_L L + C_N N \quad (57)$$

em que: C é o capital disponível necessário para gastar em L e N, para C constante tem-se:

$$L = \frac{C}{P_L} - \frac{C_N}{C_L} N \quad (58)$$

em que: C_N/C_L é a declividade da reta.

Na Figura 16, estão apresentadas as combinações de L e N que resultam em custo mínimo para a produtividade da goiabeira, para os rendimento iguais a 30.000, 32.000 e 34.000 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para uma relação de $C_N/C_L = 1,769$.

Tomando-se os níveis de rendimento $Y_1 = 30.000$; $Y_2 = 32.000$ e $Y_3 = 34.000$, os pontos de tangência das retas de isocusto e as isoquantas correspondentes (A_1 , A_2 e A_3), tem-se as coordenadas $L_1, N_1 = 1.450, 112$; $L_2, N_2 = 1.510, 123$ e $L_3, N_3 = 1.600, 136$. O capital disponível para gastar com N e L para produzir Y_1, Y_2 e Y_3 , calculado pela Equação 42 será: $C_1 = \text{R\$ } 1.071,30$; $C_2 = \text{R\$ } 1.122,95$ e $C_3 = \text{R\$ } 1.196,40$

No ponto A_1 o rendimento máximo que o agricultor pode atingir com um dispêndio mínimo de $\text{R\$ } 1.071,30$ em lâmina total de água (1.450 mm) e níveis de nitrogênio ($112 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), é $30.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Se os recursos disponíveis para os gastos com água e adubo forem elevados para $\text{R\$ } 1.196,40$, a linha de isocusto se desloca para a direita, paralelamente, uma vez que a relação de preços dos fatores não se alterariam, alcançando o rendimento $32.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ponto A_2); aumentando-se os recursos para $\text{R\$ } 1.196,40$ obtém-se uma produtividade de goiaba de $34.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (ponto A_3).

Dessa maneira, à medida que o produtor amplia a sua produção de goiaba, via aumento de rendimento físico, a trajetória de crescimento se faz por essa linha, chamada de caminho de expansão, e é definida como o lugar geométrico dos pontos de combinações de menor custo (AGUIAR, 2005).

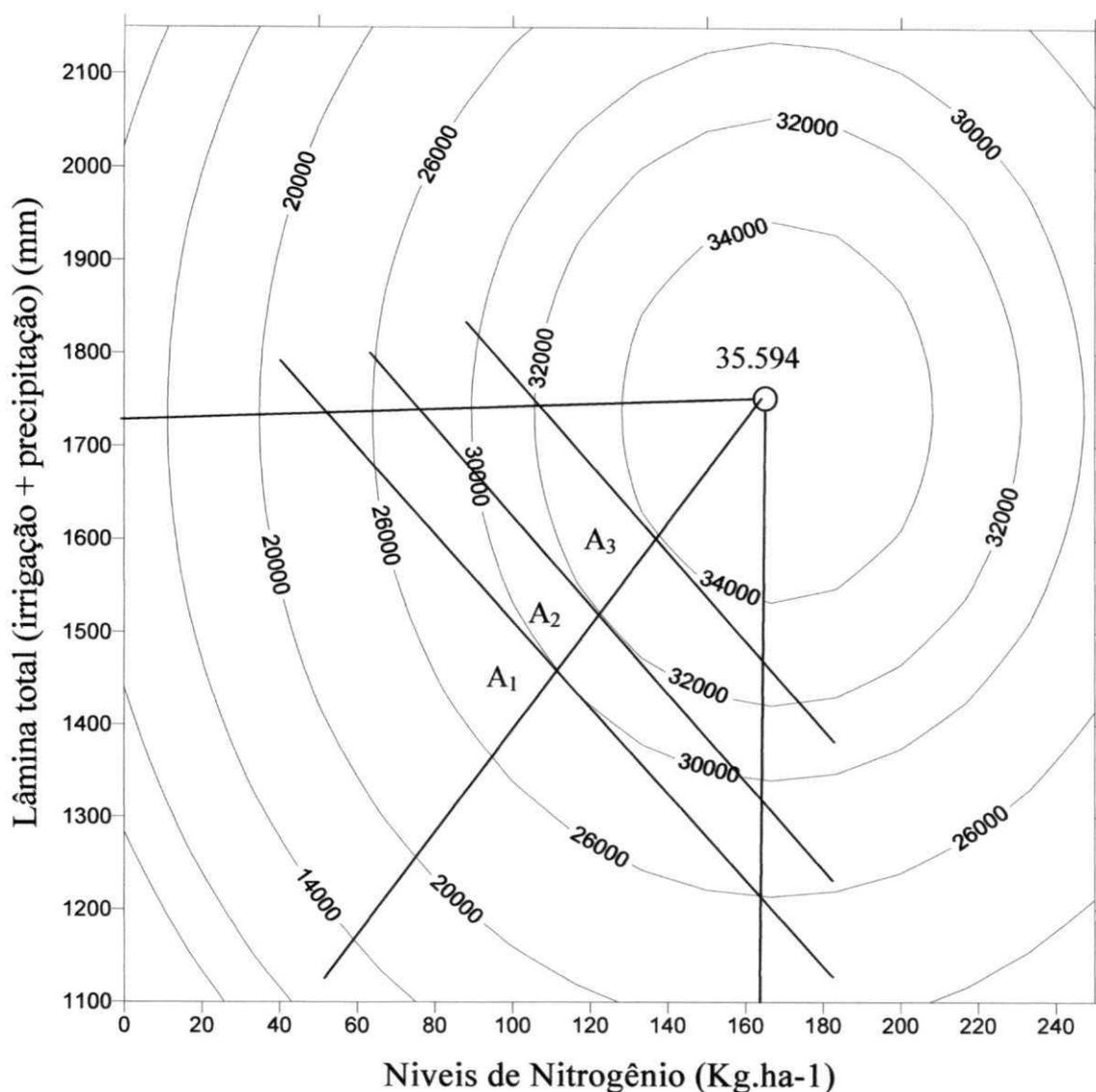


Figura 16 - Curvas de isoproducto e combinação de custo mínimo na produtividade de goiaba. Itaporanga, PB, 2005.

Na Tabela 20 constam os custos e receitas para as combinações de água e nitrogênio que resultam em custo mínimo, ou máxima receita líquida, para as curvas de isoprodução entre 14.000 a 34.000 kg.ha⁻¹ de goiaba, para a relação de custo $C_N/C_L = 1,769$ apresentadas graficamente na Figura 16. Verifica-se que o acréscimo de receita da combinação otimizada do rendimento de 34.000 kg.ha⁻¹ (R\$ 12.471,68 ha⁻¹) para a

combinação que maximiza a receita líquida L^* e $N^* = 35.594 \text{ kg.ha}^{-1}$ (R\$ 13.154,68 kg.ha^{-1}) é de R\$ 683,00 ha^{-1} , um aumento de 5,5%.

Tabela 20. Combinações de lâminas de água (L) e doses de nitrogênio (N) que resultam em custo mínimo para produtividade de goiaba de 14.000 a 34.000 kg.ha^{-1} para a relação de custo $C_N/C_L = 1,769$. Itaporanga, PB, 2005

Produtividade da goiabeira (kg.ha^{-1})	Insumos		Custo dos Insumos ($\text{R\$ ha}^{-1}$)	Custo fixo ($\text{R\$ ha}^{-1}$)	Receita Líquida ($\text{R\$ ha}^{-1}$)
	L (mm)	N (kg.ha^{-1})			
14.000	1.169	58	826,55	3.331,62	2.841,83
20.000	1.250	76	899,90	3.331,62	5.768,48
26.000	1.358	95	991,95	3.331,62	8.676,43
30.000	1.450	112	1.071,30	3.331,62	10.597,08
32.000	1.510	123	1.122,95	3.331,62	11.545,43
34.000	1.600	136	1.196,40	3.331,62	12.471,98

Do ponto de vista econômico a lâmina total de água e nível de nitrogênio que otimiza a máxima receita líquida são aquelas que conduzem à um rendimento que satisfaçam a condição de que o produto físico marginal da água e do nitrogênio se iguale ao quociente entre o preço dos insumos C_L/P_Y e C_N/P_Y .

Devido à grande variação do valor desta relação, em função principalmente da variação do preço dos insumos (água e nitrogênio), foram realizadas simulações com base na função biquadrática apresentada na Equação 46, para auxiliar o produtor na determinação da lâmina e dose de N econômica (L^* e N^*), para o preço da goiaba (P_Y) de R\$ 0,5 kg^{-1} , Figura 17 e 18, cuja função de resposta é apresentada pelas Equações 59 e 60, respectivamente.

$$L^* = 1725,729 - 5,884C_N - 18929 C_L \quad (59)$$

$$N^* = 168,239 - 1,173C_N - 0,028C_L \quad (60)$$

Analisando de forma conjunta as Figuras 17 e 18, verifica-se que a quantidade ótima econômica de lâmina total de água (L^*) e nível de nitrogênio (N^*) diminui quando se aumenta os custos destes insumos (água e nitrogênio). Para o mesmo nível de L^* e N^* à medida que se aumenta o custo com o insumo água reduz-se o custo com o insumo nitrogênio.

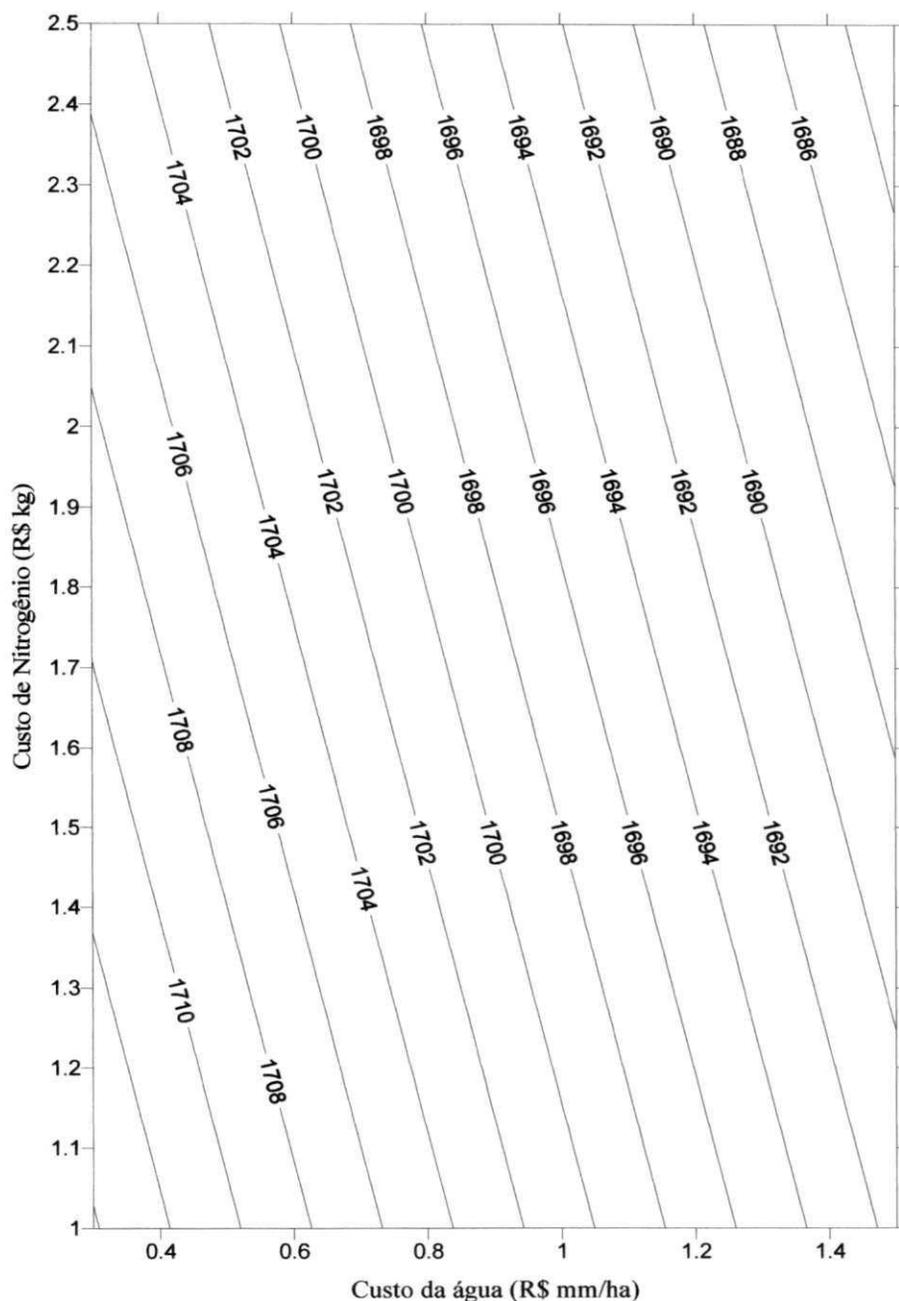


Figura 17 – Superfície de resposta para determinação da lâmina ótima econômica (L^*) em função dos custos de água e nitrogênio para o preço da goiaba (P_y) de R\$ 0,50 kg^{-1} . Itaporanga, PB, 2005

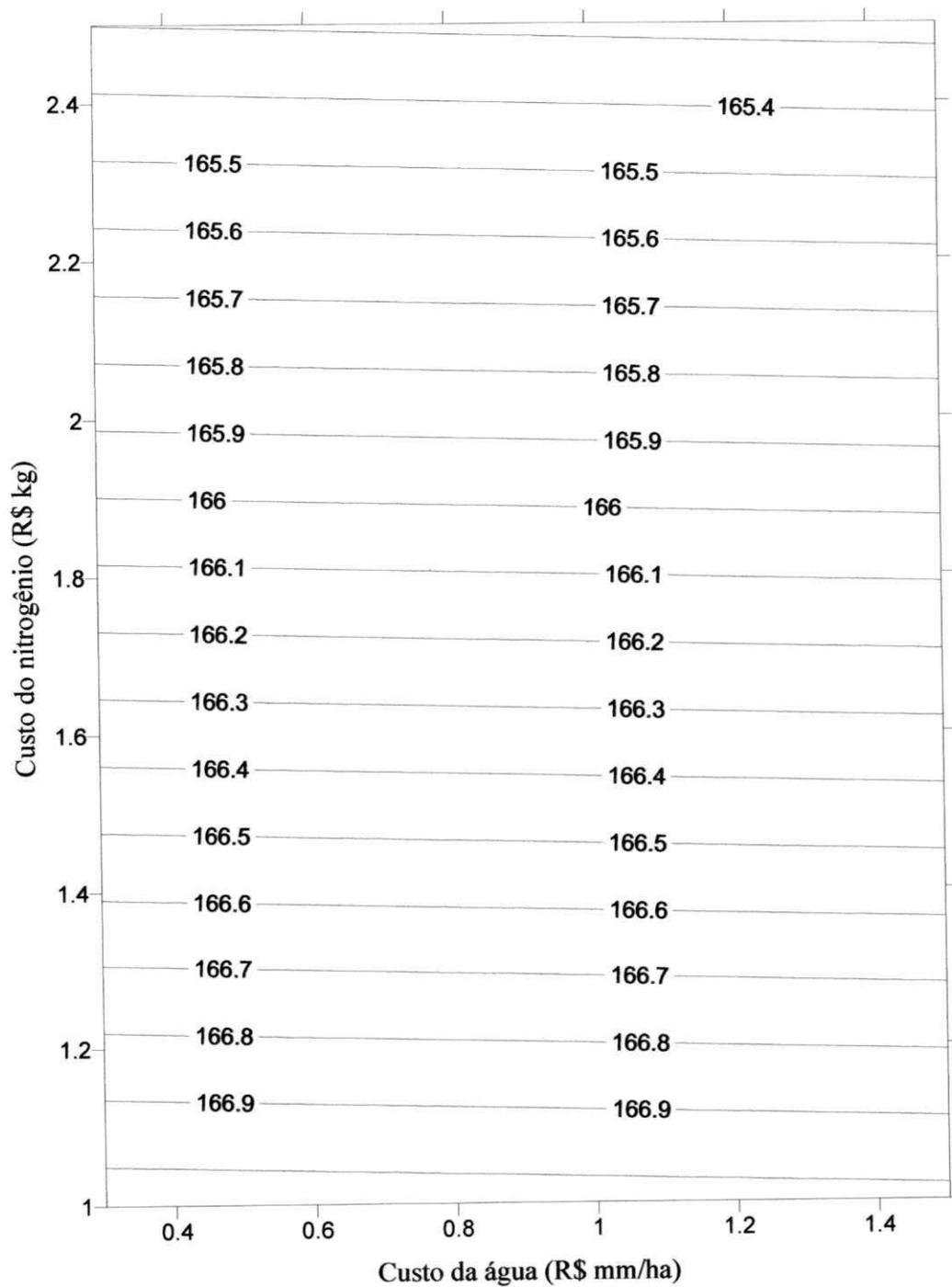


Figura 18 – Superfície de resposta para determinação do nível de nitrogênio ótimo econômico (N*) em função dos custos de água e nitrogênio para o preço da goiaba (Py) de R\$ 0,50 kg⁻¹. Itaporanga, PB, 2005

4.4.6. Produto físico marginal

O produto físico marginal ou produtividade marginal pode ser expresso pela quantidade que é adicionada ao produto total quando uma unidade do fator variável é utilizada (AGUIAR, 2005).

O produto físico marginal da água (PFM_L), medido em quilograma de fruto de goiaba por milímetro de água por hectare, é calculado derivando-se a Equação 46, em função da lâmina total de água, cujo valor está apresentado na Tabela 21.

O produto físico marginal mostra o incremento no rendimento ao se usar uma unidade a mais do fator considerado, por exemplo, se empregando 150 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e 1.465 mm de água, o rendimento aumenta 18,87 kg.ha⁻¹ para cada milímetro de água aplicado.

Quando se aumenta a lâmina total de água de L₁ para L₂, em todos os níveis de nitrogênio (Tabela 21), observa-se que o produto marginal diminui; já na aplicação das lâminas L₃ e L₄ a produtividade marginal passa a ser negativa, ou seja, o rendimento inicia-se uma fase de retorno decrescente.

Verifica-se, ainda, que para todos os níveis de nitrogênio, a máxima produtividade de goiaba é alcançada quando a lâmina total aplicada se situa entre L₂ e L₃ uma vez que o produto físico marginal passa de positivo para negativo. A partir do momento em que o produto marginal da água torna-se negativo, evidencia-se a queda no rendimento com a respectiva aplicação de maiores lâminas de água, tornando-se anti-econômica as quantidades aplicadas desse fator.

Tabela 21 - Produto físico marginal da água em cada níveis de nitrogênio, para as lâminas totais de água (irrigação + precipitação). Itaporanga, PB, 2005

Lâminas totais De água (mm)	Níveis de nitrogênio (kg.ha ⁻¹)			
	N ₁ (50)	N ₂ (100)	N ₃ (150)	N ₄ (200)
L ₁ (1.144)	40,71	40,83	40,96	41,08
L ₂ (1.465)	18,62	18,75	18,87	19,00
L ₃ (1.785)	-3,39	-3,27	-3,14	-3,02
L ₄ (2.106)	-25,48	-25,35	-25,23	-25,10

O produto físico marginal do nitrogênio (PFM_N), medido em quilograma de fruto de goiaba por quilograma de nitrogênio por hectare, é calculado derivando-se a Equação 46, em função do nitrogênio, cujo valor está apresentado na Tabela 22.

Na Tabela 22 observa-se que quando aumenta o nível de nitrogênio de N_1 para N_2 e de N_2 para N_3 em todos níveis de lâminas totais de água, o produto marginal diminui, já na aplicação do nível de nitrogênio N_4 a produtividade marginal passa a ser negativa, ou seja o rendimento inicia-se uma fase de retorno decrescente. A máxima produtividade de goiaba é alcançada quando o nível de nitrogênio aplicado se situa entre N_3 e N_4 , nível em que o produto marginal do nitrogênio torna-se negativo, evidenciando queda no rendimento com a aplicação de maiores doses de nitrogênio.

O produto físico marginal mostra o incremento no rendimento ao se usar uma unidade a mais do fator considerado, por exemplo, se empregando 1.785 mm de água e 150 $kg \cdot ha^{-1}$ de nitrogênio, o rendimento aumenta 31,74 $kg \cdot ha^{-1}$ para cada quilograma de nitrogênio aplicado.

Tabela 22 - Produto físico marginal de níveis de nitrogênio em cada lâmina total de água para cada níveis de nitrogênio. Itaporanga, PB, 2005.

Níveis de nitrogênio ($kg \cdot ha^{-1}$)	Lâminas totais de água (mm)			
	L ₁ (1.144)	L ₂ (1.465)	L ₃ (1.785)	L ₄ (2.106)
N ₁ (50)	203,66	204,46	205,26	206,07
N ₂ (100)	116,90	117,70	118,50	119,31
N ₃ (150)	30,14	30,94	31,74	32,55
N ₄ (200)	-56,62	-55,82	-55,02	-54,22

4.4.7. Taxa marginal de substituição

A taxa marginal de substituição ($TMS_{L/N}$) de água por nitrogênio é a quantidade de água que deve substituir uma unidade do fator nitrogênio de modo a manter o mesmo nível de rendimento (FRIZZONE, 1993; AGUIAR, 2005).

Quanto mais água e menos nitrogênio for usado para obtenção do mesmo nível de produtividade de goiaba, mais difícil se torna substituir nitrogênio por água. A declividade em cada ponto da curva de isoproducto (Figura 19) corresponde à taxa marginal de substituição de água por nitrogênio.

Adotando-se, inicialmente, a combinação de água e nitrogênio no ponto “a”, se houver um deslocamento de “a” para “b”, de “b” para “c” e de “c” para “d”, haverá uma utilização mais intensa de fertilizante e uma utilização menos intensa de água. Isso indica que a TMS em “a” (-23,56) é maior em valor absoluto do que em “b” (-9,55) que por sua vez é maior do que em “c” (-5,54) e que é maior do que em “d” (-3,43), configurando um decréscimo na TMS à medida que há um deslocamento das combinações de “a” para “d”.

Essa diminuição da TMS significa que à medida que se aumenta a quantidade de N e se diminui a quantidade de L, essa substituição fica cada vez mais difícil, característica decorrente da natureza convexa da isoquanta.

A TMS, inicialmente, é negativa, indicando que a água está sendo substituída pelo nitrogênio em proporções decrescentes. A partir do momento em que ela se torna positiva, torna-se anti-econômica a substituição da água por nitrogênio, ou seja, passaria a gastar mais no fator água a cada unidade acrescida do fator nitrogênio.

Na Tabela 23 são observadas as taxas marginais de substituição ($TMS_{L/N}$) de lâminas de água por níveis de nitrogênio, para níveis pre-fixados de produtividade de goiaba, calculada pela Equação 61.

$$TMS_{L/N} = -\frac{PFM_N}{PFM_L} = -\frac{287,56 - 1,7352N + 0,0025L}{119,29 - 0,0688L + 0,0025N} \quad (61)$$

De acordo com a Tabela 23, observa-se que decresce em valor absoluto a taxa marginal de substituição de água por nitrogênio, ao aumentar o nível de nitrogênio e diminuir a lâmina total de água. Nota-se, também, que à medida que cresce a produtividade

de goiaba, reduz-se o número de combinações possíveis para obtenção de um mesmo nível de rendimento. Verifica-se, ainda, que para todos os níveis de produtividade da goiabeira a taxa marginal de substituição aproxima-se de zero, no nível de nitrogênio igual a 160 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, sendo, portanto, este nível o limite de substituição de nitrogênio por lâmina de água e à medida que se utilizem maiores quantidade de nitrogênio são necessárias também maiores quantidades de lâmina de água para se obter a mesma produtividade.

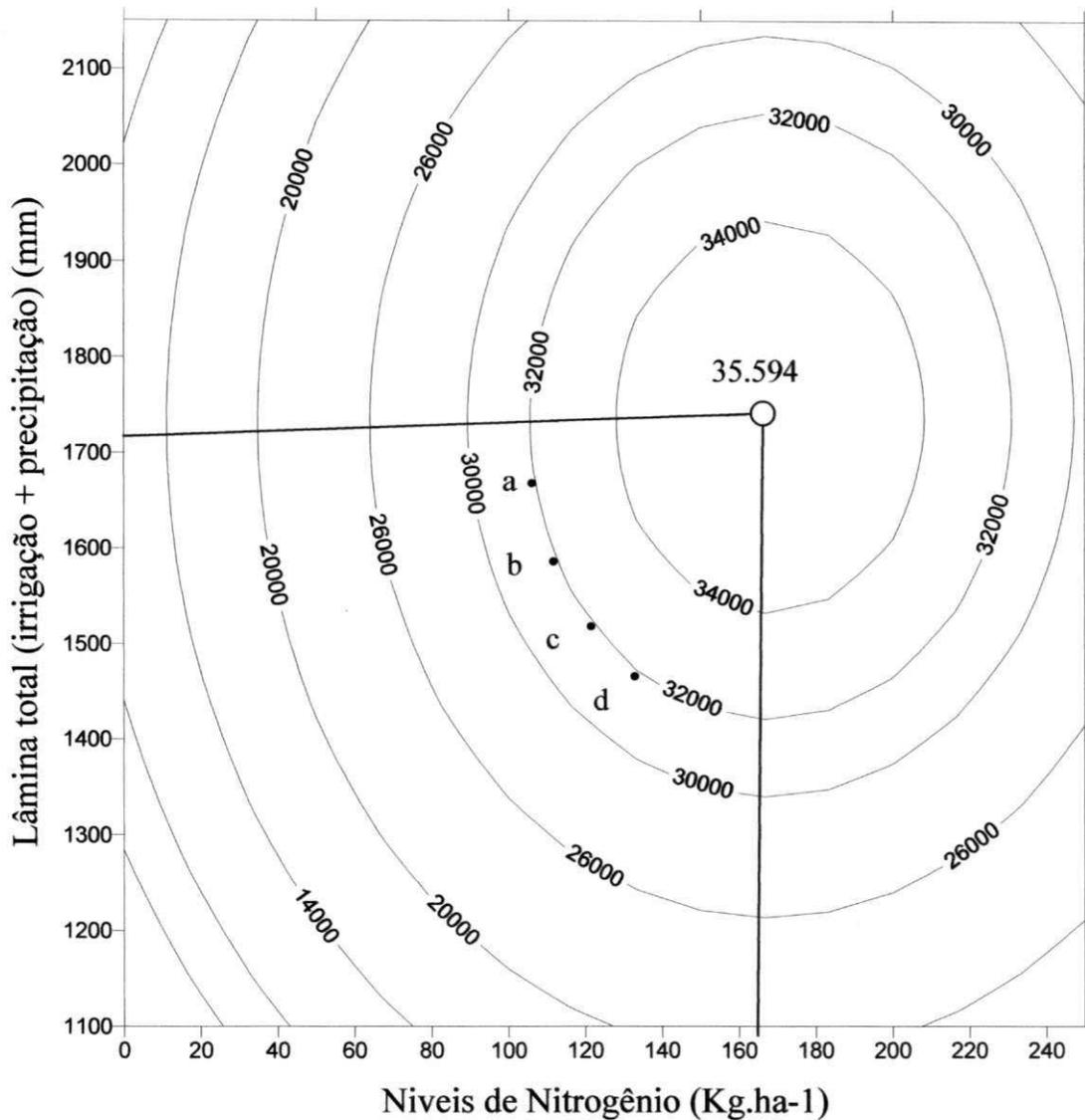


Figura 19 - Curvas de isoproduto e taxa marginal de substituição de água por nitrogênio. Itaporanga, PB. 2005

Tabela 23 - Taxas marginais de substituição ($TMS_{L/N}$) de lâminas de água por níveis de nitrogênio, para níveis pre-fixados de rendimento de goiaba. Itaporanga, PB. 2005

Níveis de N ($kg.ha^{-1}$)	Y=20.000 ($kg.ha^{-1}$)		Y=26.000 ($kg.ha^{-1}$)		Y=30.000 ($kg.ha^{-1}$)		Y=34.000 ($kg.ha^{-1}$)	
	L(mm)	TMS	L(mm)	TMS	L(mm)	TMS	L(mm)	TMS
40	1538	-16,35	-	-	-	-	-	-
50	1418	-9,32	-	-	-	-	-	-
60	1338	-6,82	-	-	-	-	-	-
70	1278	-5,37	1547	-13,03	-	-	-	-
80	1230	-4,35	1449	-7,69	-	-	-	-
100	1158	-2,93	1335	-4,24	1524	-8,02	-	-
120	1110	-1,90	1269	-2,65	1415	-3,73	-	-
140	1081	-1,05	1230	-1,36	1361	-1,85	1576	-4,33
160	1067	-0,27	1213	-0,36	1338	-0,48	1524	-0,93

4.5. Eficiência de uso da água

Na Tabela 24 são apresentados os valores da eficiência de uso da água pela cultura, em função das lâminas totais de água (irrigação + precipitação) e níveis de nitrogênio, obtidos a partir da Equação 36, utilizando-se dos dados de produtividade calculada pela Equação 46.

Os valores médios da eficiência de uso da água aumentaram com o incremento dos níveis de nitrogênio até N_3 ($150 kg.ha^{-1}$), decrescendo, em seguida, com N_4 ($200 kg.ha^{-1}$). Este fato está de acordo com o que afirma Lopes (1989), de que a eficiência do uso da água aumenta com a prática da adubação, desde que a produtividade da cultura também aumente.

Para o fator lâmina de água, a eficiência de uso da água pela cultura foi maior na aplicação da lâmina L₂ em qualquer nível de nitrogênio, sendo menor eficiência com a aplicação da lâmina L₄. Observa-se, ainda, que o maior valor da eficiência de uso da água (22,3 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) foi registrado em L₂ (1.485 mm) com o nível de nitrogênio N₃ (150 kg.ha⁻¹). Este valor, no entanto, está abaixo do obtido por Teixeira et al (2003) e Moura (2005), que acusaram eficiência de 26,6 e 29.10 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, em goiabeira cultivar Paluma, com dois anos e três meses e com quatro anos de idade, respectivamente.

Tabela 24 - Eficiência de uso da água (kg.ha⁻¹.mm⁻¹) em função das lâminas totais de água e níveis de nitrogênio aplicados. Itaporanga, PB, 2005

Lâminas Totais de água (mm)	Níveis de Nitrogênio (kg.ha⁻¹)				
	50	100	150	200	Médias
1.144	10,0	17,0	20,2	19,6	16,7
1.465	14,3	19,8	22,3	21,9	19,6
1.785	13,1	17,6	19,7	19,4	17,4
2.106	8,9	12,8	14,8	14,3	12,7
Médias	11,6	16,8	19,2	18,8	16,6

5. CONCLUSÕES

- a) O número máximo de frutos de goiaba, em função da lâmina total de água, foi estimado em 446 frutos por planta para uma lâmina de 1.730 mm. Já em função dos níveis de nitrogênio foi 454 frutos com aplicação de $N = 178 \text{ kg.ha}^{-1}$.
- b) O peso total máximo de frutos de goiaba por planta, em função da lâmina total de água dentro de níveis de nitrogênio foi de 112,67 kg com uma lâmina total de água de 1.789 mm e $N = 150 \text{ kg.ha}^{-1}$. Em função dos níveis de nitrogênio dentro de lâminas totais de água, foi de 129,42 kg com uma aplicação de $N = 147 \text{ kg.ha}^{-1}$ e $L = 1785 \text{ mm}$.
- c) O peso médio de frutos de goiaba, em função de lâmina total de água foi 0,214 kg com uma lâmina $L = 1.750 \text{ mm}$. Em função dos níveis de nitrogênio foi 0,200 kg com $N = 152 \text{ kg.ha}^{-1}$.
- d) A função de produção de goiaba, em relação à lâmina total de água dentro de níveis de nitrogênio, apresentou um ponto de máxima em $L_m(N_3)=1.784 \text{ mm}$ com rendimento de $37.270 \text{ kg.ha}^{-1}$, proporcionando uma receita líquida de $\text{R\$ } 14.143,78 \text{ ha}^{-1}$. Já ponto de máxima economia $L^*(N_3)=1.766 \text{ mm}$ com produtividade de $37.258 \text{ kg.ha}^{-1}$ proporcionou uma receita líquida de $14.149,48 \text{ ha}^{-1}$, para a relação de preço $C_L/Py=1,3$.
- e) Em função de níveis de nitrogênio dentro de lâminas totais de água, a função de produção apresentou ponto de máximo em $N_m(L_3) = 145 \text{ kg.ha}^{-1}$ com rendimento de $42.426 \text{ kg.ha}^{-1}$ proporcionando uma receita líquida de $\text{R\$ } 17.714,36 \text{ ha}^{-1}$ e ponto de máxima economia $N^*(L_3) = 144 \text{ kg.ha}^{-1}$ com produtividade de $42.425 \text{ kg.ha}^{-1}$ e receita líquida de $17.715,18 \text{ ha}^{-1}$, para a relação de preço $C_N/Py = 2,3$.
- f) A função de produção da goiabeira para os fatores lâminas totais de água (L) e níveis de nitrogênio (N) foi $Y(L,N) = -92361,763 + 119,29L - 0,0344L^2 + 287,56N - 0,8676N^2 + 0,0025L.N$, que apresentou ponto máximo $(L_m, N_m) = (1.740 \text{ mm}, 168 \text{ kg.ha}^{-1})$ com produtividade de $35.607 \text{ kg.ha}^{-1}$ e receita líquida de $\text{R\$ } 13.147,68 \text{ ha}^{-1}$, e ponto de máxima economia $(L^*, N^*) = (1.721 \text{ mm}, 167 \text{ kg.ha}^{-1})$ com produtividade de $35.594 \text{ kg.ha}^{-1}$ e receita líquida de $\text{R\$ } 13.154,68 \text{ ha}^{-1}$.

- g) A combinação econômica de água e nitrogênio que resultam em custo mínimo para a produtividade de $34.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ para a relação de custo $C_N/C_L=1,769$ foi $L=1.600 \text{ mm}$ e $N=136 \text{ kg.ha}^{-1}$.
- h) Obteve-se uma eficiência de uso de água de $22.3 \text{ kg.mm}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ com a combinação de água e nitrogênio L_2N_3 .
- i) O déficit e excesso de água e nitrogênio provocaram redução na produtividade da goiabeira.
- j) A cultura da goiabeira cultivar Paluma, com quatro anos de idade, sob irrigação e fertirrigação, apresentou extração de macronutrientes na seguinte ordem decrescente: $N>Ca>K>Mg>P$, em função de diferentes lâminas de água e níveis de nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, J. V. de. **Determinação da função de produção e do consumo de água do caupi no município de Bragança, Pará.** Fortaleza: UFC/DEA, 1989. Dissertação (Mestrado).

AGUIAR, J. V. de. **A função de produção na agricultura irrigada.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2005. 196p.

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento dos frutos cítricos. **In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITRUS - FISILOGIA**, 2, Campinas, 1992., **Anais...**, Campinas, 1992. p.100-105

ALLEN R.G.; PEREIRA, L. S; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, F. T. de; BERBARDO, S.; SOUSA, E. F. de; MARIN, S. L. D.; GRIPPA, S. Análise econômica baseada em função da resposta da produtividade versus lamina de água para o mamoeiro no norte fluminense. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.24, n.3, p.675-683, set/dez/2004.

AZEVEDO, H. M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação de cobertura em tabuleiros costeiros da Paraíba.** Campina Grande: UFCG/CCT, 2002. 110p. Tese (Doutorado).

BAR-YOSEF, B. **Advances in fertigation: Advances in Agronomy.** New York, v. 65, p1-77, 1999.

BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. da; TARGINO, E. de L.; MAIA, J. L. T.; FERREIRA, M. de N. L. Parâmetros para o manejo de irrigação da goiabeira no Vale de São Francisco. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE**

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. Salvador, 2002. **Anais...**, Salvador, 2002, SBEA, UFBA.

BERNARDO, S. **Manual da irrigação**. 6.ed. revisada e ampliada. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. **In:** FARIAS, M. A.; SILVA, E. L.; VILELO, L. A. A.; SILVA, A. M. (Eds), **Manejo de irrigação. Poços de Caldas:** UFLA/SBEA, cap.1, p.117-132, 1998..

BLANEY, F. H.; CRIDDLE, W. D. **Determining consuptive use and irrigation water requirements**. United States Department of Agricultural Researach Service and Utha State Engeneer, 1961. 93p.

BORGES, A. L.; SILVA, J. T. A. da; OLIVEIRA, S. L. de. Adubação nitrogenada e potássica para bananeira cv. Prata-Anã irrigada: produção e qualidade dos frutos no primeiro ciclo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.19, n.2, p.179-84. 1997.

BRASIL 2001. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola. **Goiaba**. Brasília, 2001, 8p. (MI/SIH-DPE. Pernambuco, Frutiséries, 1).

BURT, C.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, Irrigation Training and Research Center, 1995, 295p.

CODEFASV – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DE SÃO FRANCISCO E PARNAIBA. <http://www.codevasf.gov.br>. acesso fevereiro, 2005.

COELHO, A. M. Fertigação. **In:** COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Eds.) **Quimigação**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNMS, 1994. p.201-27.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; ARAÚJO, E.C.E.; VASCONCELOS, L.F.L.; LIMA, D.M. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.2, 2001.

DANTAS NETO, J. **Modelos de decisão para otimização do padrão de cultivo, em áreas irrigadas, baseados nas funções de resposta das culturas à água**. Botucatu: UNESP, 1994. 125p. Tese (Doutorado).

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EL-KOREIBY, A. M. K.; SALEM, A. T. Effect of different irrigation regimes on growth, fruiting and fruit quality of cedí guave trees. **Annals Agric. Sci.** 34(1)313-321, 1989.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA/CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA. **Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes**. FÁBIO CESAR DA SILVA (Org). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

ENGLISH, M.J. Deficit irrigation I: Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.116, n.13, p.399-412, 1990.

FERREIRA, M. de N. L. **Distribuição radicular e consumo de água de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada por microaspersão em Petróina-PE**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 106p. Tese (Doutorado).

FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A. **A Cultura do Coqueiro no Brasil**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA : Serviço de Produção da Informação. 1998. 292p.

FIORAVANÇO, J. C., PAIVA, M. C., MANICA, I. Goiaba: aspectos qualitativos. **Cadernos de Horticultura**, UFRGS.1994. 3(3)1-12.

FRIZZONE, J. A. Função de resposta do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 133p. Tese (Doutorado).

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 42p. (Série Didática, 6).

FRIZZONE, J. A. Funções de produção, In In: FARIAS, M. A.; SILVA, E. L.; VILELO, L. A. A.; SILVA, A. M. (Eds), **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, cap.1, p.86-116, 1998.

GOMES, F. P. - **Curso de estatística experimental**. 12 ed. São Paulo, Nobel, 1990. 468p.

GOMES, J. A.; NÓBREGA, A. C. Comportamento de cultivares e híbridos de bananeira na região produtora do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.11-3, 2000.

GONZAGA NETO, L.. **Estudos de métodos de produção de enxertia da goiabeira (*Psidium guajava* L.)**. Viçosa: UVF, MG, 1982. 51p. (Dissertação Mestrado).

GONZAGA NETO, L. **Cultura da goiabeira. Petrolina**. PE: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 26p. (Circular Técnica, 23).

GONZAGA NETO, L. **Goiaba: Produção – aspectos técnicos**. EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, Brasília: EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2001. 79p. (Frutas do Brasil, 17).

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. **Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 49p. (Série Publicações Técnicas, FRUPEX, 6).

GRANELLI, G. & SPADA, G. L. Study of the movement of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in the soil with fertirrigation: A further confermation of the possibilities of deepening. **ACTA Horticulturae** 173, p. 373-381, 1985

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Economics considerations of deficit irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.110, n.3, p.343-358, 1984.

IBRAF 2005 – INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. <http://www.ibraf.gov.br>. Acesso março 2005.

KAVATI, R. Cultivares. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA**, 1, 1997, Jaboticabal. **Anais...**, Jaboticabal: FUNEP-GOIABRAS, 1997. p.1-16.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. Tradução PRADO, C. H. B. de A. São Carlos: RiMa, 2000, 531p.

LIMA, M. A. C. de; ASSIS, J. S. de; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.273-276, abr. 2002.

LOPEZ, C. C. **Fertigation: cultivos horticolas y ornamentales**. 2 ed. Madrid: Mundi Prensa, 2000. 475p

LOPEZ, C. C. Fertirrigação: aplicação na horticultura. **In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.; BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S. (Coords). Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba. Ed. Agropecuária, cap.8, p. 269 –288, 2001.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **Riego Localizado**. Espanha: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. 405 p.

MACIEL, J. L. **Distribuição do fósforo e do potássio no perfil do solo aplicado via água de irrigação por gotejamento subsuperficial**. Fortaleza: UFC/DEA, 1998. 69p. Dissertação (Mestrado).

MAGALHÃES, M. I. **Uniformidade da Fertirrigação em um Sistema de Irrigação por Gotejamento**. Fortaleza.: UFC/DEA, 1996. 64 p. Dissertação (Mestrado).

MAIA, M. L.; GARCIA, A.E.B.; LEITE, R.S. da S. F. Aspectos econômicos da produção e mercado. **In: ITAL: Goiaba: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**, Campinas-SP, 2 ed. rev. ampl. e reimp.,. cap.4, p.177-224, 1991 (Série Frutas Tropicais, 6).

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 153p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SALVADOR, O. S.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Goiaba: do plantio ao consumidor**. Porto Alegre: **Cinco Continentes**, 2001. 124p.

MARTINEZ JÚNIOR, M., PEREIRA, F. M. Resposta da goiabeira a diferentes quantidades de N, P e K. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 8**, Brasília,1986,. **Anais...**, Brasília: EMBRAPA/DDT, 1986. p.293-296.

MELLO JÚNIOR, A. V. **Funções de resposta do trigo a níveis de irrigação e de nitrogênio**. Botucatu-SP, UNESP, 1992. 159p. Tese (Doutorado).

MEDINA, J. M.. Goiaba: cultura, **In: ITAL: Goiaba – cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**, Campinas-SP, 2 ed. rev. e ampl, reimpressão, cap.1, p. 1-120, 1991 (Série Frutas Tropicais, 6).

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu,CE**. Fortaleza: UFC/DEA, 2004. 87p. Dissertação (Mestrado).

MOURA, M. S. B. de. Consumo hídrico, produtividade e qualidade do fruto da goiabeira irrigada no Submédio São Francisco. Campina Grande: UFCG/CCT/DCA, 2005. 122p. Tese (Doudorado).

NAKAYAMA, F. S. e BUCKS, D.A. **Trickle Irrigation for Crop Production - Design, Operation and Management**. American Society of Agricultural Engineers. Arizona, 1986. 382 p.

NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M.; BOARETTO, A.E.; PEREIRA, F.M. Effect of potassium fertilization in 'Rica' guava (*Psidium guajava* L.) cultivation. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v.66, n.4, p.201-207, 1996.

NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M.; BOARETTO, A.E.; PEREIRA, F.M. Nutrients foliar content for high productivity cultivars of guava in Brazil. **Acta Horticulturae**, v.594, p.383-386, 2002.

NATALE, W., PRADO, R. de M., Fertilização em goiabeira. In: **Fertirrigação: teoria e prática**. BOARETTO, A.E.; VILLAS BOAS, R.L.; SOUZA, W.F. PARRA, L.R.V. (Eds.) 1ed. Piracicaba, v.1, p.494-535, 2004 (CD-Rom).

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: MARCOS VINICIUS FOLEGATTI (Coord), **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba. Ed. Agropecuária, cap. 1, p.11- 74, 1999.

PAPADOPOULOS, I. Tendências da Fertirrigação: processos de transição na fertilização convencional para a fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.; BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S. (Coords). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba. Ed. Agropecuária, cap.1, p. 9 – 59, 2001.

PEREIRA, F. M. **Cultura da goiabeira**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 47p.

PEREIRA, F. M.; MARTINEZ JR, M. **Goiabas para industrialização**. Jaboticabal: UNESP, 1986. 142p.

QUEIROZ, E. F. de; KLIEMANN, H.); VIEIRA, A.; RODRIGUES, A. P. M.; GUILHERME, M. R. Nutrição mineral e adubação da goiabeira. (*Psidium guajava* L.). In: HAAG, H. P. **Nutrição mineral e adubação de frutíferas tropicais no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.165-187.

RANIERI, A., WAKABAYASHI, K., PIO, R., MALUF, W. R.. **Fertirrigação por Gotejamento em Ambientes Protegidos**. 1ª ed., Lavras: UFLA. 2003.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biología vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2001. 906p.

SALOMON, K.H. **Typical crop water production functions**. American Society of Agricultural Engineers, Chicago, 1985. p.17-20 (ASAE. Paper, 85-2296).

SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidade de água para as culturas**. Brasília: ABEAS, 1996. 167p. (ABEAS. Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 2).

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande, UFPB/CCT, 2002. 129p. (Tese Doutorado).

SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.54-63, 1986.

SOTO, M. Bananas: **cultivos y comercialización**. 2.ed. San José: LIL, 1992. 674 p.

SOUSA, E. F. de. **Funções de produção da cana-de-açúcar e da goiabeira em relação a irrigação**, Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense., 1997. 119p. Tese (Doutorado).

SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Efeito da frequência de aplicação de N e K por gotejamento no estado nutricional e qualidade de frutos do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, v.17, n.3, p. 36-45, 1998.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; COUTO, F. A. A. Influência da irrigação na goiabeira (*Psidium guajava* L. var. Ogawa III). II: Florecimento e vingamento dos frutos, **In:** SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1, Jaboticabal, 1997, **Anais...**, UNESP-FCA, FUNEP, GOIABRAS, 1997. p.17.

STEGMAN, E. C.; MISICK, J. T.; STWART, J. I. Irrigation water management. In: JESEN, M. E. (ed). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1980. 829p.

SUDENE. Levantamento exploratório de solos do Estado da Paraíba. II – interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Recife: Ministério da Agricultura. Equipe de pedologia e Fertilidade de Solo/SUDENE. Divisão de Agricultura e Geologia, 1972. 670p.

TAIZ, L. ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: SANTAREM, E. R. et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAVARES, S. W.; DUTRA, L. F.; SARTORETTO, L. VAHL, L. C. Efeito do fósforo no desenvolvimento inicial de muda de goiabeira (*Psidium guajava* L.). Pelotas-RS, **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, n.2, p.103-106, 1995.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASSOI, L. H.; REIS, V. C. da S.; SILVA, T. G. F. da; FERREIRA, M. de N. L.; MAIA, J. L. T. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.457-460, dezembro, 2003.

TESTEZLAF, R. **Irrigação na Propriedade Agrícola**. UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola/Departamento de Água e Solo, n.19, agosto 1997.

THREDGILL, E.D.; EISENHAEUER, D.E.; YOUNG, J.R.; BAR-YOSEF, B. Chemigation. **In:** HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H., ed. **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, v.20, p.749-775, 1990.

VIANA, S. B. A. Otimização do uso de água e nitrogênio no cultivo do algodoeiro herbáceo na região oeste da Bahia. Campina Grande: UFCG/CCT, 2005. 143p. Tese(Doutorado).

ZANINI, J. R., PAVANI, L. C. Irrigação da goiabeira. **In:** SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABA, 1. Jaboticabal, 1997, **Anais...**, Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, 1997. p.93-115.