



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

NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO NA CULTURA  
DO CACAU NO SEMIÁRIDO BAIANO

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA

Campina Grande  
Paraíba





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**PRÓ- REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO NA CULTURA DO  
CACAU NO SEMIÁRIDO BAIANO**

**ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA**

**CAMPINA GRANDE**  
**ESTADO DA PARAÍBA**  
**MARÇO-2012**

**ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA**

**NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO NA CULTURA DO  
CACAU NO SEMIÁRIDO BAIANO**

Orientadora – Profª Doutora Lúcia Helena Garófalo Chaves

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**CAMPINA GRANDE  
ESTADO DA PARAÍBA  
MARÇO-2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A447n Almeida, Roger Luiz da Silva.

Níveis de água e nitrogênio na cultura do cacau no semiárido baiano / Roger Luiz da Silva Almeida. – Campina Grande, 2012.

112 f. : il. color.

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia Helena Garófalo Chaves.

Referências.

1. *Theobroma cacao* L. 2. Irrigação Localizada. 3. Adubação. 4. Crescimento. 5. Produtividade. I. Título.

CDU 633.74 (043)





UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DO DOUTORANDO

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA

NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO NA CULTURA DO CACAU NO SEMIÁRIDO BAIANO

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Lúcia Helena Garófalo Chaves  
Dr<sup>a</sup>. Lúcia Helena Garófalo Chaves - Orientadora

Aprovado

José Dantas Neto  
Dr. José Dantas Neto - Examinador

APROVADO

Ronaldo do Nascimento  
Dr. Ronaldo do Nascimento - Examinador

APROVADO

Soahd Arruda Rached Farias  
Dr<sup>a</sup>. Soahd Arruda Rached Farias - Examinadora

APROVADO

Evandro Franklin de Mesquita  
Dr. Evandro Franklin de Mesquita - Examinador

APROVADO

JUNHO - 2012

## HOMENAGEM MUITO ESPECIAL

Para minha avó Maria, por  
todo amor a mim dedicado nesta  
vida e com certeza na outra.

**“In memorian”**

### **DEDICO**

A minha esposa Marta e aos meus  
filhos Roger e Gustavo pela confiança  
e paciência apesar das dificuldades que  
tivemos de enfrentar ao longo dos anos.

### **OFEREÇO**

A minha mãe Tereza e aos meus  
irmãos Thasso, Yula e Graça pelos  
longos anos de alegria e felicidade que  
tivemos quando éramos criança e agora  
como adultos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus todo poderoso pelos ensinamentos para uma vida em paz e conseqüentemente feliz.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, por oferecer a oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq, pela bolsa de doutoramento.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia pela liberação para cursar o doutorado.

À Professora Lucia Helena Garófalo Chaves, pela confiança, amizade e orientação na parte prática e teórica deste trabalho.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG.

Em especial ao Professor José Dantas Neto meu primeiro Mestre.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS).

Aos colegas do curso de pós-graduação pela amizade e companheirismo.

Em especial ao grande amigo Iedo Teodoro Sampaio pela ajuda no trabalho e amizade.

À Biofábrica do cacau pelas mudas do clone “CCN 51” cedidas para o trabalho.

À Brasmáquinas implementos agrícolas.

À Edson Jarade da Comissão de Elaboração do Plano da Lavoura Cacaueira, (CEPLAC).

À Renilton Santos Santana “Pezão” pela amizade e ajuda na parte experimental.

Ao Engenheiro Agrônomo Gilney Ferreira Rios pela concessão da área para o experimento.

Ao Professor e amigo Paulo Bonomo da UESB pela amizade e análises estatísticas.

A todo o Distrito de Irrigação da Fazenda Velha em Jequié-BA.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. Aspectos gerais do cacau.....	19
2.2. Fatores climáticos .....	20
2.3. Mudanças de cacau.....	22
2.4. Crescimento do cacau .....	22
2.5. Irrigação do cacau .....	23
2.6. Adubação nitrogenada no cacau.....	24
2.7. Manejo da cultura.....	25
2.8. Produtividade do cacau.....	26
2.9. Função de produção .....	27
2.10. Eficiência do uso de água.....	28
2.11. Eficiência do uso de nitrogênio .....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1. Caracterização da área experimental.....	29
3.1.1. Ambiente protegido .....	31
3.1.1.1. Mudanças de cacau .....	31
3.1.1.2. Tratos culturais das mudas .....	32
3.1.1.3. Irrigação das mudas .....	32
3.1.1.4. Substrato.....	33
3.1.1.5. Variáveis analisadas .....	33
3.1.1.6. Análise estatística .....	35
3.1.2. Ambiente natural.....	35
3.1.2.1. Características climáticas .....	35
3.1.2.2. Características do solo e da água utilizada na irrigação.....	38

3.1.2.3. Pulverizações realizadas e limpeza da área experimental .....	41
3.1.2.4. Podas .....	41
3.1.2.5. Sombreamento inicial .....	42
3.1.2.6. Quebra vento .....	42
3.1.2.7. Delineamento experimental.....	43
3.1.2.8. Sistema de irrigação e fertirrigação .....	44
3.1.2.9. Manejo da adubação.....	47
3.1.2.9.1. Plantio .....	47
3.1.2.9.2. Formação.....	47
3.1.2.9.3. Produção.....	47
3.1.2.10. Manejo da irrigação .....	48
3.1.2.11. Manejo da fertirrigação .....	55
3.1.2.12. Análise das características de crescimento e produção.....	55
3.1.2.12.1. Características de crescimento.....	56
3.1.2.12.2. Características de produção .....	57
3.1.2.13. Análise estatística e matemática .....	58
3.1.2.14. Taxa de crescimento absoluto e relativo .....	59
3.1.2.15. Função de produção .....	59
3.1.2.16. Análise econômica simplificada dos tratamentos .....	61
3.1.2.17. Eficiência no uso de água.....	65
3.1.2.17. Eficiência no uso de nitrogênio .....	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
4.1. Ambiente protegido.....	67
4.2. Ambiente natural.....	69
4.2.1. Crescimento da planta .....	69
4.2.2. Fase inicial da produção .....	77
4.2.2.1. Análise das variáveis: número de sementes por fruto, peso das amêndoas por fruto e número de frutos por planta .....	86
4.2.2.1.1. Modelos de regressão .....	87
4.2.2.1.2. Superfície de resposta.....	88

4.2.2.2. Análise nos oito meses de produção .....	91
4.2.2.2.1. Função de produção .....	93
4.2.2.2.2. Superfície de resposta.....	95
4.2.3. Eficiência de uso água.....	96
4.2.4. Eficiência de uso de nitrogênio .....	98
4.2.5. Análise econômica simplificada .....	100
5. CONCLUSÕES .....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104



## LISTA DE TABELAS

Tabelas		Pág.
1	Características físicas e químicas do solo presente na área experimental. Jequié-BA, 2012.....	39
2	Características químicas da água utilizada pelo sistema de irrigação na área experimental. Jequié-BA, 2012.....	40
3	Pulverizações realizadas e limpeza da área ao longo do experimento. Jequié-BA, 2012.....	41
4	Tratamentos utilizados durante a realização do experimento no campo. Jequié-BA, 2012.....	44
5	Dose (g).(planta) <sup>-1</sup> de nitrogênio aplicadas nas parcelas da área experimental. Jequié-BA, 2012.....	49
6	Lâminas de água (mm), aplicadas nas parcelas da área experimental. Jequié-BA, 2012.....	50
7	Modelo simplificado para análise de variância e regressão dos parâmetros que serão avaliados. Jequié-BA, 2012.....	58
8	Custos de produção de hum hectare de cacau clonal CCN-51. Jequié-BA, 2012.....	64
9	Evolução da altura média das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA, 2012.....	67
10	Evolução do diâmetro médio das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA, 2012.....	68
11	Evolução do número de folhas média das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA, 2012.....	69
12	Resumo da análise de variância e regressão da variável altura de planta (AP) em (cm) para as 6 avaliações, submetidas às lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié BA, 2012.....	70
13	Resumo da análise de variância e regressão da variável diâmetro do caule (DC) em (mm) para as 6 avaliações, submetidas as lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié BA, 2012.....	71

14	Taxa de crescimento absoluto (TCA) em (cm.dia <sup>-1</sup> ) e taxa de crescimento relativo (TCR) em (cm.cm <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> ) da altura da planta . Jequié-BA, 2012.....	75
15	Taxa de crescimento absoluto (TCA) em (mm.dia <sup>-1</sup> ) e taxa de crescimento relativo (TCR) em (mm.mm <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> ) do diâmetro do caule. Jequié-BA, 2012.....	77
16	Resumo da análise de variância e regressão das variáveis produção (P), comprimento do fruto (C), diâmetro do fruto (D), peso do fruto (PF), número de sementes por fruto (NSF), peso da amêndoa por fruto (PAF) e média de frutos por planta (MFP), submetidas as lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	80
17	Resumo da análise de regressão nos desdobramento das variáveis que apresentaram significância estatística em função das variações de lâminas de água dentro doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	82
18	Resumo da análise de regressão nos desdobramento das variáveis que apresentaram significância estatística em função da variações das doses de nitrogênio dentro dos níveis de água. Jequié-BA, 2012.....	83
19	Número de sementes por fruto para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.....	86
20	Peso da amêndoa (kg) por fruto para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.....	86
21	Número de frutos por fruto para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.....	87
22	Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta número de sementes.fruto <sup>-1</sup> . Jequié-BA, 2012.....	87
23	Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta peso das amêndoas.fruto <sup>-1</sup> . Jequié-BA, 2012.....	88
24	Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta número de frutos.planta <sup>-1</sup> . Jequié-BA, 2012.....	88
25	Produção do cacaueteiro em kg.ha <sup>-1</sup> e seu equivalente em arroba.ha <sup>-1</sup> e frutos.ha <sup>-1</sup> . Jequié-BA, 2012.....	92
26	Significância dos coeficientes do modelo 1 de regressão para a	94

	superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.....	
27	Significância dos coeficientes do modelo 2 de regressão para a superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.....	94
28	Significância dos coeficientes do modelo 3 de regressão para a superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.....	95
29	Produção e receita líquida para as diversas combinações de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	101



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Pág.</b>
1	Localização da área experimental. Jequié-BA, 2012..... 30
2	Dimensões do viveiro utilizado na área experimental. Jequié-BA, 2012..... 31
3	Distribuição das mudas no viveiro. Jequié-BA, 2012..... 32
4	Organograma das avaliações realizadas no ambiente protegido. Jequié-BA, 2012..... 34
5	A- Aferição do diâmetro (mm) e B- Aferição da altura (cm) das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA, 2012..... 34
6	Área demarcada com esquadro. Jequié-BA, 2012..... 35
7	A- mini estação meteorológica da área experimental e B- estação meteorológica do Distrito de Irrigação da Fazenda Velha utilizadas no manejo da irrigação..... 36
8	Balanço hídrico durante o período de realização do experimento em 2010. Jequié-BA, 2012..... 36
9	Balanço hídrico durante o período de realização do experimento em 2011. Jequié-BA, 2012 37
10	Características climáticas para o ano de 2011 na área experimental. Jequié-BA, 2012..... 38
11	A- plantio do milho sombreamento inicial, B - quebra vento, C – dimensões da cova. Jequié-BA2012..... 43
12	A- Sistema de irrigação localizada automatizado, B-Cavalete principal a esquerda e cavalete para a fertirrigação da dose N <sub>3</sub> a direita. Jequié-BA, 2012..... 45
13	A- Croqui da área experimental; B- Detalhe de uma linha de irrigação. Jequié-BA, 2012..... 46
14	Distribuição dos coletores no campo para teste de uniformidade de distribuição de água . Jequié-BA, 2012..... 53

15	Organograma das avaliações realizadas no ambiente natural. Jequié-BA, 2012.....	56
16	Identificação dos tratamentos nos frutos de cacau . Jequié-BA, 2012.....	57
17	A-Altura de plantas e B-diâmetro caulinar em relação aos níveis de água. Jequié-BA, 2012.....	72
18	A-Altura de plantas e B-diâmetro caulinar com relação as doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	74
19	Altura das plantas submetidas aos diferentes tratamentos com água e nitrogênio em função do tempo. Jequié-BA, 2012.....	75
20	Diâmetro caulinar das plantas submetidas aos diferentes tratamentos com água e nitrogênio em função do tempo. Jequié-BA, 2012.....	76
21	Evolução das plantas de cacau CCN-51 até a fase produtiva. A-8 meses no campo; B-18 meses no campo; C-27 meses no campo. Jequié-BA, 2012.....	78
22	Desdobramento para a variável produção e frutos por planta para as variações de lâminas de água nas doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	84
23	Desdobramento para a variável peso da amêndoa por fruto, frutos por planta, numero de sementes por fruto e produção, para as variações de doses de nitrogênio nos níveis de água. Jequié-BA, 2012.....	85
24	Número de sementes média em frutos de cacau clonal CCN-51 em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	89
25	Peso médio(g) da amêndoa do fruto de cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio Jequié-BA, 2012.....	90
26	Frutos.plantas <sup>-1</sup> , do cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	91
27	Produção do cacaueiro em kg.ha <sup>-1</sup> e seu equivalente em arroba.ha <sup>-1</sup> . Jequié-BA, 2012.....	93

28	Produção do cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.....	96
29	Eficiência do uso de água (EUA) em função das lâminas de água nos níveis de nitrogênio, A-N1,B-N2,C-N3 e D- N4. Jequié-BA, 2012.....	97
30	Eficiência do uso de água (EUA) e produção, nos tratamentos adotados no experimento. Jequié-BA, 2012.....	98
31	Eficiência do uso de nitrogênio (EUN) em função das doses de nitrogênio nos níveis de água,A- L1,B-L2,C-L3 e D- L4. Jequié-BA, 2012.....	99
32	Eficiência do uso de nitrogênio (EUN) e produção, nos tratamentos adotados no experimento. Jequié-BA, 2012.....	100



# NÍVEIS DE ÁGUA E NITROGÊNIO NA CULTURA DO CACAU NO SEMIÁRIDO BAIANO

## RESUMO

O crescimento de mudas de cacau e o efeito da irrigação e adubação nitrogenada sob as características de crescimento e de produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) clone CCN-51, foi verificado em um experimento realizado em casa de vegetação e no campo na propriedade hidroagrícola Vale do Sol em Jequié-BA. O viveiro era constituído de sombrite 50%, micro-aspersores invertidos com tubo de descida de 0,60 m sendo sua área de aproximadamente 630 m<sup>2</sup> com pé direito de 2m. A área experimental útil utilizada no campo foi de 1792 m<sup>2</sup> plantada com cacau clonal com espaçamento de 3,5 x 2,0 m onde foram aplicadas quatro lâminas de irrigação tomando-se como base a lâmina bruta de irrigação (LB) sendo estas 0,60 LB, 0,80 LB, 1 LB e 1,2 LB, sendo as lâminas brutas inferidas de leituras de evaporação de água num tanque Classe "A" instalado na propriedade rural. As doses de fertilizantes aplicadas foram 70, 100, 130 e 160 % do nitrogênio (N) recomendado para a cultura do cacau. O delineamento estatístico experimental foi um fatorial 4 x 4 , em blocos casualizados com 4 repetições ,onde os fatores lâminas de água (L) e doses de nitrogênio (N) foram combinados resultando em 16 tratamentos. No viveiro foram mensurados a altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas; no campo a altura da plantas, diâmetro do caule os componentes de produção (número de frutos por planta, comprimento, diâmetro dos frutos, peso dos frutos, número de sementes por frutos, peso da amêndoa e produtividade). Os níveis de água e as doses de nitrogênio utilizado neste estudo influenciaram a altura da planta e o diâmetro do caule, enquanto que a interação dos fatores água e nitrogênio não influenciaram nestas características. As lâminas de água, doses de nitrogênio e a interação entre elas influenciaram positivamente na produção de amêndoas secas e no número de frutos por planta do cacau. No campo o uso de 1922,52 mm de água e 493,10 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio promoveu a maior produtividade de amêndoas de cacau para comercialização, 1025,69 kg ha<sup>-1</sup>. A combinação ótima lâmina de água e dose de nitrogênio foi de 1926,23 mm e 560,70 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio proporcionando uma produção de 1649,23 kg ha<sup>-1</sup> de amêndoas secas de cacau.

**PALAVRAS CHAVE:** *Theobroma cacao* L, irrigação localizada, adubação, crescimento, produtividade.

# WATER AND NITROGEN LEVELS IN THE CULTURE OF COCOA IN THE SEMIARID BAIANO

## ABSTRACT

The growth of cocoa seedlings and the effect of irrigation and nitrogen fertilization on the growth characteristics and productivity of cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 clone, was verified in an experiment conducted in a greenhouse and in the field of the Hydro-agricultural property in Vale do Sol Jequié-BA. The nursery shaft had 50% shading, micro-sprinklers reversed to the height of 0.60 m and an area of approximately 630 m<sup>2</sup> with a ceiling height of 2m. The experimental field had an area of 1792 m<sup>2</sup> planted with clones spaced 3.5 x 2 m, where were applied 4 irrigation regimes, based on the gross irrigation depth (GD) 0.60 , 0.80 , 1.0 and 1.2 GD, inferred from a Class "A" Evaporation Pan installed on the farm. The fertilizer doses applied were 70, 100 130 and 160% of the recommended nitrogen for the cocoa cultivation. The statistical experimental design was a 4 x 4 factorial, randomized blocks with four replications, where the water depths and nitrogen factors were combined resulting in 16 treatments. In the nursery was measured the plant height, stem diameter and leaf number; at the field the plant height, stem diameter and the yield components (number of fruits per plant, length, diameter fruit, fruit weight, number of seeds per fruit, weight of kernel and productivity). The water depths and nitrogen doses used in this study influenced the plant height and stem diameter, while the interaction of water and nitrogen did not affect these characteristics. The amount of water, the nitrogen and the interaction between them influenced positively the production of dry beans and fruit number per plant of the cocoa. In the field the use of 1922.52 mm of water and 493.10 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen promoted the highest productivity of commercial cocoa beans, 1025.69 kg ha<sup>-1</sup>. The optimal combination of water depth and nitrogen was 1926.23 mm and 560.70 kg ha<sup>-1</sup>, nitrogen giving a yield of 1649.23 kg ha<sup>-1</sup> of dry cocoa beans.

**Key words:** *Theobroma cacao* L, irrigation, fertilization, growth, productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

O cacauieiro (*Theobroma cacao L.*), da família Sterculiaceae, componente de população panmíticas, autóctone da região amazônica é uma planta perene de grande importância econômica, que geralmente começa a produzir frutos aos três anos de idade. Os plantios brasileiros enfrentam danos causados principalmente por condicionantes biológicos, como é o caso das doenças fitopatológicas “vassoura-de-bruxa” e “podridão-parda”, causadas pelos fungos *Moniliophthera perniciososa*, antes chamado de *Crinipellis Perniciosa*, e *Phytophthora palmivora*, que ocorrem, respectivamente, na Bahia e na Amazônia, maiores produtores de cacau do Brasil.

O primeiro produtor mundial de cacau é a Costa do Marfim com uma produção de 1,5 milhões de toneladas até setembro de 2011 seguida por Gana, segundo maior produtor com uma safra estimada em 1 milhão de toneladas no mesmo período. O Brasil que já foi o maior produtor mundial de cacau com cerca de 40% desta produção se encontra atualmente na sétima posição com uma safra estimada em agosto de 2011 de 237 mil toneladas (CEPLAC, 2011).

A safra brasileira fechou a partir de meados de maio/2011 em torno de 200.964,5 toneladas ou 3.349.408 sacos de 60 kg sendo o estado da Bahia o maior produtor nacional com 153.393,4 toneladas ou 2.556.556 sacos o que representa 76,3%; os outros estados juntos com 47.571,1 toneladas ou 792.852 sacos representando 23,7% da produção (CEPLAC, 2011).

Uma das novas alternativas para recuperar a produção de cacau no Brasil será a produção de cacau irrigado no semiárido nordestino. Resultados recentes com cacau irrigado no Vale do São Francisco mostram uma produtividade de 300 @.ha<sup>-1</sup>, apresentando um desenvolvimento da planta maior e mais rápido em relação às áreas tradicionais de cultivo (Ilhéus e Itabuna). Outro fator que tem animado os agricultores e pesquisadores da região é que a produtividade pode ser até cinco vezes maiores do que a conseguida no Sul da Bahia, como também foi observada por Cruz (2010).

A utilização de adubos solúveis na água de irrigação, como a uréia e o sulfato de potássio como fonte de nitrogênio e de potássio, respectivamente, tem sido uma das práticas adotadas pelos cacauicultores do semiárido baiano, que procuram novas tecnologias para aumentar a produtividade.

Siqueira et al. (2011), concluíram que a fertirrigação na cultura do cacau é uma nova tecnologia que provou ser lucrativa para o produtor e que as formulações solúveis são as que apresentam maior influência na produtividade. Segundo Borges e Silva (2002), a uréia é a fonte solúvel mais empregada em fertirrigação, em função de apresentar o menor preço, e menor índice salino/unidade do nutriente. Malavolta et al. (1989), acrescentam que o nitrogênio estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas e também o crescimento vegetativo das plantas, pois esta na composição de enzimas, coenzimas, vitaminas e mais de uma centena de aminoácidos, que participam da absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular.

Esta nova fase de implantação da cultura do cacau irrigado no semiárido Baiano pode ser objeto de pesquisa dentro do Plano de Aceleração do Desenvolvimento na Região Cacaueira da Bahia – PAC, do Cacau programa criado pelo governo Estadual e Federal que pretende recuperar a lavoura cacaueira disseminada pela vassoura de bruxa restabelecendo a vida social de diversas famílias no Sul da Bahia. Lobão e Setenta (2002), acrescentam que o agroecossistema cacaueiro é de fundamental importância, sob a égide do desenvolvimento sustentável, pois envolve aspectos agroeconômicos, sociais e ambientais de benefícios incomparáveis.

Pesquisas com cacau irrigado no semiárido estão começando a se desenvolver, mas em número ainda pequeno e seus resultados ainda necessitam de comprovações científicas mais detalhadas, principalmente no que se refere aos parâmetros de campo da cultura como lâmina de água mais eficiente e dose de nutriente mais satisfatória que irão influenciar diretamente na produtividade do cacaueiro, além de outros aspectos técnicos que merecem ser diagnosticados.

Diante do exposto, objetivou-se analisar o crescimento das mudas de cacau clonal CCN-51, avaliar as características de crescimento em ambiente natural e a primeira safra do cacau clonal CCN-51 submetido a lâminas de água e doses de nitrogênio no semiárido Baiano.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1. Aspectos gerais sobre o cacauero

O cacau cujo nome científico *Theobroma cacao* L, é uma planta originária da América Central, sendo o povo Maia, localizado no sul do México e na Guatemala, o primeiro a cultivar. Em seguida vieram os astecas, primeiro povo a usar o cacau como bebida. O cacau foi levado para a Europa pelos espanhóis através de Cristovam Colombo, e foram os primeiros a usar o cacau como valor comercial. Na Inglaterra abriram-se casas para tomar chocolate competindo com o tradicional chá inglês. Lineu o pai da botânica moderna classificou o cacau com o nome de *Theobroma* que significa “bebida dos deuses”.

As principais espécies brasileiras do cacauero são o “forasteiro” ou cacau roxo, *Treobroma leiocarpum*, Bern, e o “criolo”, *Treobroma cacao*, *Linnaeus*, sendo esta última, da família *Sterculiaceae*, originária do continente Sul Americano, atingindo entre 4 a 12 metros de altura (Oetterer et al., 2006).

A vassoura-de-bruxa é uma das mais graves enfermidades do cacauero. Natural da Região Amazônica, essa doença ocorre atualmente em países da América do Sul e ilhas do Caribe, sendo responsável pela perda da ordem de 40% na produção de cacau da Amazônia brasileira e em torno de 30% na Venezuela. Na Bahia, a sua presença foi constatada pela primeira vez em maio de 1989 no município de Uruçuca e praticamente extinguiu a lavoura cacauera do estado.

Segundo Purdy e Schmidt (1996), o cacauero atinge alturas maiores que 15 m próximo a regiões tropicais onde a vegetação predominante é do tipo arborizada, dentro de outras culturas esta altura pode variar de 5 a 8m. O Cacau normalmente descascado contém de 30 a 50 sementes, geralmente é plantado consorciado com a banana, mandioca, ou outras espécies que proporcionem sombra e evite os efeitos do vento. Uma árvore de cacau pode produzir 50 flores.

Segundo Namaliu e Daniel (2008), a floração do cacauero é iniciado em resposta a mudanças sazonais sendo que no cacau híbrido começará com aproximadamente 30 meses após o plantio, enquanto que o clonal de 15 a 24 meses para florescer. A produção total é alcançado quando as árvores tem entre quatro e cinco anos de idade e pode ser mantida por 20 anos ou mais com um bom manejo da cultura.

Para Duke (1983), o cacaueteiro deve permanecer sombreado durante 3 anos, removendo os brotos florais até que as árvores tenham 5 anos. O cacaueteiro deve ser consorciado com outras culturas de valor econômico, como bananeiras ou coqueiros. A irrigação pode ser utilizada, mas sempre com sistema de drenagem para prevenir excesso de água.

Nakayama et al. (1996), analisando amostras de caule e folha (limpo e pecíolo), correspondente ao terceiro nó, além de folhas novas de 5 cm de comprimento encontrou que a lâmina foliar é hipoestomática, com estômatos do tipo anomocítico e em ambas as faces do limbo ocorrem quatro tipos de tricomas: sendo dois tectores e dois glandulares. Na epiderme adaxial estão presentes as glândulas secretoras de mucilagem o mesofilo é dorsiventral, o parênquima paliçádico é formado por duas ou três camadas e o parênquima lacunoso apresenta células coletoras. Ao longo do mesofilo predomina feixes colaterais envolvidos por bainha esclerenquimática que se estende até as epidermes com o padrão de venação sendo do tipo Camptodroma com ramificações mistas Brochidrodomas e Eucamptodromos.

Segundo Almeida e Valle (2007), o cacau produz flores caulescentes que começam deiscência à tarde e se abrem completamente no início do pólen manhã seguinte a uma libertação estigma receptivo. Flores não polinizadas abscisam 24-36 h após a antese. A percentagem de flores que polinizam está compreendido entre 0,5 a 5%. Os mais importantes parâmetros determinantes do rendimento estão relacionados a: (i) interceptação de luz da fotossíntese e capacidade de distribuição de fotoassimilados, (ii) respiração de manutenção e (iii) a morfologia e semente e sua fermentação, eventos que podem ser modificados por fatores abióticos.

## **2.2. Fatores climáticos**

Segundo Purdy e Schmidt (1996), o cacaueteiro produz bem em altitudes abaixo de 1000 metros e em temperaturas menores que 15°C reduz a velocidade de crescimento sendo que temperaturas de 5°C ocorre paradas de crescimento e sua sobrevivência pode ser afetada, uma exposição curta a 0°C pode matar a planta. Por outro lado, elevada radiação e temperatura aumentam o metabolismo das plantas e conseqüentemente, aumenta o requerimento por água, nutrientes e tratos culturais. Os efeitos da luz e da nutrição em plantios de cacaueteiros estão intimamente relacionados. Assim, o



estabelecimento de sombreamento para o cacauero e a resposta a fertilizantes não podem ser separados (Muller e Biehl, 1993).

Burridge et al. (1964), realizando análises químicas de folhas durante um período de dois anos em árvores de cacau em um campo fertilizado com sombreamento e tratamentos de irrigação, verificaram que o sombreamento aumentava os níveis de nitrogênio, fósforo, e potássio, e diminuía os níveis de cálcio nas folhas.

As plantas são tolerantes a sombra requer temperaturas altas uniformemente distribuídas, a temperatura máxima diária deve ser 33,5°C e mínima de 13°C, com variação de temperatura diurna entre 33,5 e 18°C, são intolerantes ao vento por isto são plantadas freqüentemente em ladeiras para proteção contra o vento (Reed, 1976).

Regiões com alta precipitação ou com chuvas bem distribuídas ao longo do ano proporcionam condições favoráveis a ocorrência da vassoura-de-bruxa (Luz et al., 1997), acrescentando Purdy e Schmidt (1996) ainda consideram que o micro clima proporcionado pela plantação favorece a infecção e a esporulação do cacau pelo fungo *Crinipellis perniciososa*.

Para Gagné (2008), a árvore de cacau está sujeito a muitas doenças como: fungos, putrefação de vagem e crescimentos estranhos e baixas temperaturas matam as sementes. O cacauero exige em seu crescimento umidade durante o ano todo e a irrigação regular é necessária. O cacau é uma planta muito necessitada e exigente, e se não tem estas necessidades atendidas a planta morrerá.

Para Hardy (1961), Alvim (1972), Augusto (1997) e Castro e Krüge (1998), as limitações climáticas do cacauero para que haja produção são: precipitação média mensal, mínimo de 100 mm no mês mais seco, temperatura média mensal, mínimo de 22°C e temperatura mínima absoluta não inferior a 6°C; já para Duke (1978) o cacauero suporta uma precipitação anual de 480 a 4290 mm e uma temperatura anual variando de 18,0 a 28,5°C,

Para a produção de cacau em regiões de clima seco, é necessária a adoção de sistemas de irrigação. Estas regiões apresentam pluviosidade variando entre 600 a 800 mm anuais, distribuídos pelos meses de dezembro a março, enquanto o cacauero precisa de 100 a 150 mm mensais para obtenção de boas produções (Gramacho et al., 1992).

Além do fornecimento de água, deverão ser realizadas adubações com macro e micronutrientes, via água de irrigação para que as plantas fiquem bem nutridas e com

isso, expressar melhor seu potencial genético e também, deixá-las mais tolerantes às pragas e doenças (Mi, 2006).

### **2.3. Mudanças de cacau**

Marrocos e Sodré (2004) afirmam que a produção de mudas clonais de cacau em larga escala, foi iniciada em 1999, pelo Instituto Biofábrica de Cacau (IBC) na Bahia.

Mudas de cacau clonal ou seminal, irrigadas em regiões que apresentam temperaturas superiores a 35°C, têm demonstrado resistência a vassoura-de-bruxa, uma vez que, não se tem constatado em viveiros, o engrossamento do broto apical, nem folhas retorcidas com pulvínulos inchados, principais indicadores da doença em mudas (Alves e Del Ponte, 2010). Ainda para estes autores, apesar das condições ideais para o desenvolvimento dos basidiocarpos serem precipitação anual entre 1500 a 2000 mm, temperaturas entre 24 a 26°C e umidade relativa do ar entre 80 a 90%, mudas em fase adulta, submetidas a irrigação, com adubações regulares e bons tratamentos fitossanitários, conseguem produzir de maneira satisfatória, como se tem demonstrado em algumas regiões do Brasil.

### **2.4. Crescimento do cacau**

O cacau exige em seu crescimento umidade durante o ano todo e a irrigação regular é necessária (Gagné, 2008). Segundo Purdy e Schmidt (1996), a altura do cacau pode variar de 5 a 8m, tendo uma precipitação que varia de 1250 a 2800 mm ao ano. Arce (2004) e Gramacho et al. (1992) cita valores semelhantes de precipitação para um crescimento máximo da planta.

Segundo Almeida e Valle (2007), o crescimento e o desenvolvimento do cacau são dependentes da temperatura, que afeta principalmente o crescimento vegetativo, florescimento e desenvolvimento do fruto. O alagamento do solo diminui a área foliar, a condutância estomática e taxa de fotossíntese, além de induzir a formação de lenticelas e raízes adventícias. Para a maioria dos genótipos a resistência à seca é associada ao ajustamento osmótico,

Para Peixoto e Peixoto (2004), a análise quantitativa de crescimento tem sido usada por pesquisadores de plantas, na tentativa de explicar diferenças no crescimento, de

ordem genética ou resultante de modificações no ambiente. Já Benincasa (2003) coloca que a análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos para o crescimento total, podendo conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie de forma a poder selecioná-las e melhor atender aos objetivos desejados.

Wilhelm e McMaster (1995) definem o crescimento como o aumento irreversível na dimensão física de um indivíduo ou órgão, em determinado intervalo de tempo.

## 2.5. Irrigação do cacauero

Para o adequado desenvolvimento da planta e para obtenção de produtividade satisfatória é essencial a reposição de água e nutrientes, na quantidade ideal e no momento oportuno (Nanetti et al. 2000). A resposta das culturas as diferentes combinações de irrigação e fertilizantes tem sido objeto de numerosas pesquisas (Frizone et al., 1996).

No entanto segundo Dias e Resende (2001), as pesquisas com o cacauero em experimentos demandam tempo e área excessivos representando elevados custos com implantação, manejo, colheita e mão de obra. Por estas razões a simplicidade a flexibilidade e a robustez do delineamento experimental a ser utilizado e a multiplicidade dos objetivos da pesquisa são aspectos importantes que devem ser observados na experimentação.

A irrigação localizada no cultivo do cacau começa a se tornar uma coisa corriqueira nos modernos plantios de cacau. Áreas de cacau irrigado por gotejamento ou microaspersão já são encontradas em diversos lugares da America do Sul. A tendência da saída do cultivo do cacau das florestas em direção ao campo aberto esta sendo acompanhada pela introdução da tecnologia da irrigação localizada (Netafim, 2008).

Uma lavoura de cacau irrigada, com espaçamento de três metros entre fileiras de plantas (1.100 plantas por hectare), produz 1500 kg ha<sup>-1</sup>, esta mesma lavoura sem irrigação atinge uma média de 600 kg ha<sup>-1</sup> de produtividade, quando a lavoura é irrigada e adubada, a produtividade pode dobrar. Dos 1500 kg ha<sup>-1</sup> conseguidas em média com a irrigação, o produtor que usar a fertirrigação pode atingir a uma média de 3000 kg ha<sup>-1</sup>. Além de elevar a produtividade, a irrigação aumenta o peso das sementes em até 70%,

uma lavoura sem irrigação produz em média sementes com 0,80 gramas. Irrigada, a lavoura registra sementes com pesos médios de 1,40 gramas (Siqueira, 2008).

No norte do Espírito Santo, cacauzeiros irrigados tiveram um aumento de produção de 54 % (Siqueira et al., 2011), enquanto que, no Recôncavo Baiano, a produção chegou a 100 % de aumento. A viabilidade da implementação da cultura cacauzeira irrigada na região semiárida, deve ser efetivada, quando pesquisas indicarem variedades adaptadas as condições climáticas da região, segundo CODEVASF (2009) no Vale do São Francisco a utilização de novas tecnologias como a fertirrigação e a utilização de irrigação por gotejamento os produtores estão esperando chegar à produção de até 300 arrobas.ha<sup>-1</sup> de cacau (4,5 toneladas), enquanto, na região tradicional, não se chega a 50 arrobas.ha<sup>-1</sup> (0,75 toneladas)

## **2.6. Adubação nitrogenada no cacauzeiro**

Segundo Chepote et al. (2005), a adubação do cacauzeiro baseia-se nas doses de nitrogênio, determinadas em ensaios de campo e nos níveis críticos de fósforo e potássio disponíveis que proporcionam maior desenvolvimento e produção do cacauzeiro; no entanto Moraes et al. (1979) afirmam que o nitrogênio, além de ser um nutriente que limita bastante o crescimento de mudas de cacau, pode ser perdido por volatilização e, em ambiente com irrigação constante, sofre perdas elevadas por lixiviação.

O nitrogênio é um dos que promove maiores modificações morfofisiológicas nas plantas, com possibilidade de alterar o número, o peso e a qualidade dos frutos, sendo essencial para a síntese de aminoácidos, clorofila, alcalóides, ácidos nucleicos, hormônios, enzimas e vitaminas (Marschner, 1995).

Burridge et al. (1964) estudando o efeito de fertilizantes e irrigação nas folhas do cacauzeiro verificaram um aumento nos níveis de nitrogênio, fósforo, cálcio, e magnésio, e diminuiu o nível de potássio e o efeito de irrigação foi pequeno, mas diminuiu os níveis de nitrogênio, potássio, cálcio, e magnésio.

Vernon et al. (1972), aplicando fertilizantes no terceiro e quarto ano do cacauzeiro não encontraram resposta significativa a aplicação de fertilizantes, mesmo o plantio tendo um rendimento de 3000 kg ha<sup>-1</sup>.

Zobel et al. (2007) chegaram a conclusão que o diâmetro das raízes do cacauzeiro sofre alteração de tamanho devido a concentração de nutrientes, aumenta ou diminui de

acordo as concentrações de nitrato, fósforo e alumínio. A mudança do diâmetro é dependente do tipo de nutriente da variedade da semente e da interação entre eles.

Os macronutrientes primários nitrogênio e potássio tem sido os de maior emprego em amoniacaís, apresentam alta solubilidade, elevado índice salino, alto índice de acidez e, muitas vezes, ausência de macro nutrientes secundários (Borges e Silva, 2002).

## **2.7. Manejo da cultura**

Para se conseguir maiores produtividades para a cultura do cacau tem-se utilizado diferentes espaçamentos no campo e verificado qual a melhor forma de propagação. Mooleedhar e Lauckner (1990), investigaram o efeito de três espaçamentos para a cultura do cacau: plantação tradicional de 3,6 x 3,6m (748 plantas ha<sup>-1</sup>), um intermediário de 3,6 x 1,8 m (1495 plantas ha<sup>-1</sup>) e um pessoal de 1,8 x 1,8m (2990 plantas ha<sup>-1</sup>), os rendimentos obtidos pelo último espaçamento eram significativamente melhores que os do intermediário e o tradicional.

Para Duke (1983), devem-se usar espaçamentos de 2,4 m x 2,4 m ou 3,6 m x 3,6 m, porém se os solos forem pobres e estiverem em altitudes acima 300 m e conveniente se utilizar espaçamentos menores.

Segundo Duke (1983) a propagação do cacauzeiro pode ser feita por enxertos, mas a semeadura é um procedimento que requer um custo menor. Os recentes trabalhos de investigadores sobre os sistemas de propagação do cacau dando ênfase a multiplicação do genótipo e reunindo para distribuição uma coleção de sementes tem tido resultados mais eficaz que os procedimentos de enxertia usado em todo o mundo para a propagação da cultura, já que a semente é fator limitante na produção devido a maioria dos genótipos do cacau possuir uma heterogeneidade alta (USDA, 2003).

O cacauzeiro deve ser consorciado com outras culturas de valor econômico, como bananeiras ou coqueiros devem permanecer sombreados durante 3 anos, removendo os brotos florais até que as árvores tenham 5 anos.

## 2.8. Produtividade do cacauero

Segundo a Organização Internacional do Cacau (ICCO), a produção líquida mundial da safra 2010/11 foi de 4,2075 milhões de toneladas(t) derivada de produção bruta de 4,250 milhões de toneladas, ultrapassando de longe e, pela primeira vez na história, a marca dos 4 milhões de toneladas, com aparente elevação adicional de 619 mil toneladas, ou 17,0%, frente à produção bruta de 3,631 milhões de t do ano agrícola 2009/10, CEPLAC (2011).

As altas produtividades evidenciadas nas pesquisas conduzidas nos últimos anos pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) com cacau irrigado, sinalizam positivamente para uma provável quebra de paradigma, mediante a aceitação da hipótese de que a cultura irrigada de cacau é uma atividade lucrativa (Begiato et al., 2009).

Os esforços da pesquisa e da assistência técnica no Espírito Santo proporcionaram no período de 1955 a 1985, um aumento de 59% na produtividade de amêndoas secas de cacau, para uma taxa de expansão de área cultivada inferior a 10% (Smith, 1990), no entanto para o adequado desenvolvimento da planta e para obtenção de produtividade satisfatória é essencial a reposição de água e nutrientes, na quantidade ideal e no momento oportuno (Nannetti et al., 2000) em contrapartida o tipo de semente entre outros fatores é fator limitante na produção devido a maioria dos genótipos do cacau possuir uma heterogeneidade alta (USDA, 2003).

Zuidema et al. (2005) afirmam que os modelos de produção de cacau que foram estabelecidos até o momento são baseados em regressão com aplicabilidade limitada para locais diferentes do da pesquisa, modelos de simulação podem ser valiosos para identificar lacunas no conhecimento sobre a produção de cacau. Para culturas perenes poucos trabalhos apresentam modelos de produção em contrapartida para culturas temporárias existem um numero maior de trabalhos sobre o tema (Cannell, 1985). Teal e Vigneri (2004) analisaram a evolução do crescimento da produção de cacau em Gana através de função de produção considerando insumos e terra como variáveis independentes.



## 2.9. Função de produção

A existência de vários fatores relacionados ao clima, solo, planta entre outros interagindo entre si determina a produtividade das culturas agrícolas ou seja existe uma relação matemática entre estes fatores e a produtividade que pode ser expressa por:

$$Y=f(x_1,x_2,\dots,x_n) \quad (1)$$

Onde:

Y = quantidade produzida.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = insumos utilizados para produção.

Segundo Frizone e Andrade Junior (2005), os economistas definem função de produção como sendo a relação física entre as quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se podem obter do produto, para uma dada tecnologia conhecida. As funções de produção são bastante difundidas sendo muito empregadas para determinar os níveis ótimos ou econômicos dos fatores de produção,

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 (Aguilar, 2005).

Os modelos matemáticos que descrevem função de produção mais comumente utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são; quadrático, raiz quadrada, Mitscherlich e o potência  $3/2$ , Hexem e Heady (1978). Entretanto quando se trabalha com uma maior quantidade de níveis dos fatores considerados na análise de produção a relação do tipo quadrática é a mais utilizada ou seja quando temos uma relação com dois fatores um polinômio de segundo grau é obtido e uma superfície de resposta tridimensional pode ser a representação gráfica da função descrita pelo polinômio.

Os modelos de simulação são também ferramentas de grande importância no estudo da interação solo-cultura-clima, uma vez que possibilitam considerar um grande número de fatores ambientais que afetam a cultura, bem como a análise dos efeitos edáficos, o que seria impossível em experimentos convencionais, em razão dos altos custos e do longo tempo demandado para a obtenção dos resultados de pesquisa. A

utilização de modelos permite, portanto, uma economia de tempo, recursos financeiros e humanos.

### **2.10. Eficiência do uso de água (EUA)**

De acordo com Oliveira (1993), as relações obtidas entre as lâminas de água aplicadas e as eficiências do uso de água (EUA) permitem o conhecimento da forma como a planta está utilizando a água em seu processo de transformação em produto comercializável.

Klar (1988) afirma que a fertilidade do solo, em particular, promove uma maior eficiência de uso da água pelas culturas, sendo o nitrogênio um dos nutrientes que promove expressiva variação na eficiência do uso da água pelas culturas. Segundo Lopes (1989), quando o rendimento de uma cultura aumenta com a adubação, a eficiência do uso da água pela cultura também aumenta.

A eficiência do uso de água é determinada pela relação entre a produtividade 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 (Doorembos e Kassan, 1994).

### **2.11. Eficiência do uso de nitrogênio (EUN)**

Em virtude dos diversos tipos de perdas a eficiência de aproveitamento de nitrogênio pelas plantas está em torno de 40% a 50%, (Sartori, 2010), principalmente a uréia e outros fertilizantes inorgânicos que são perdidos por volatilização da amônia podendo chegar até 55% do nitrogênio aplicado (Alkanani et al., 1991). Contudo tem-se procurado alternativas para se reduzir estas perdas com manejo mais eficiente do equipamento de aplicação e da quantidade aplicado no campo.

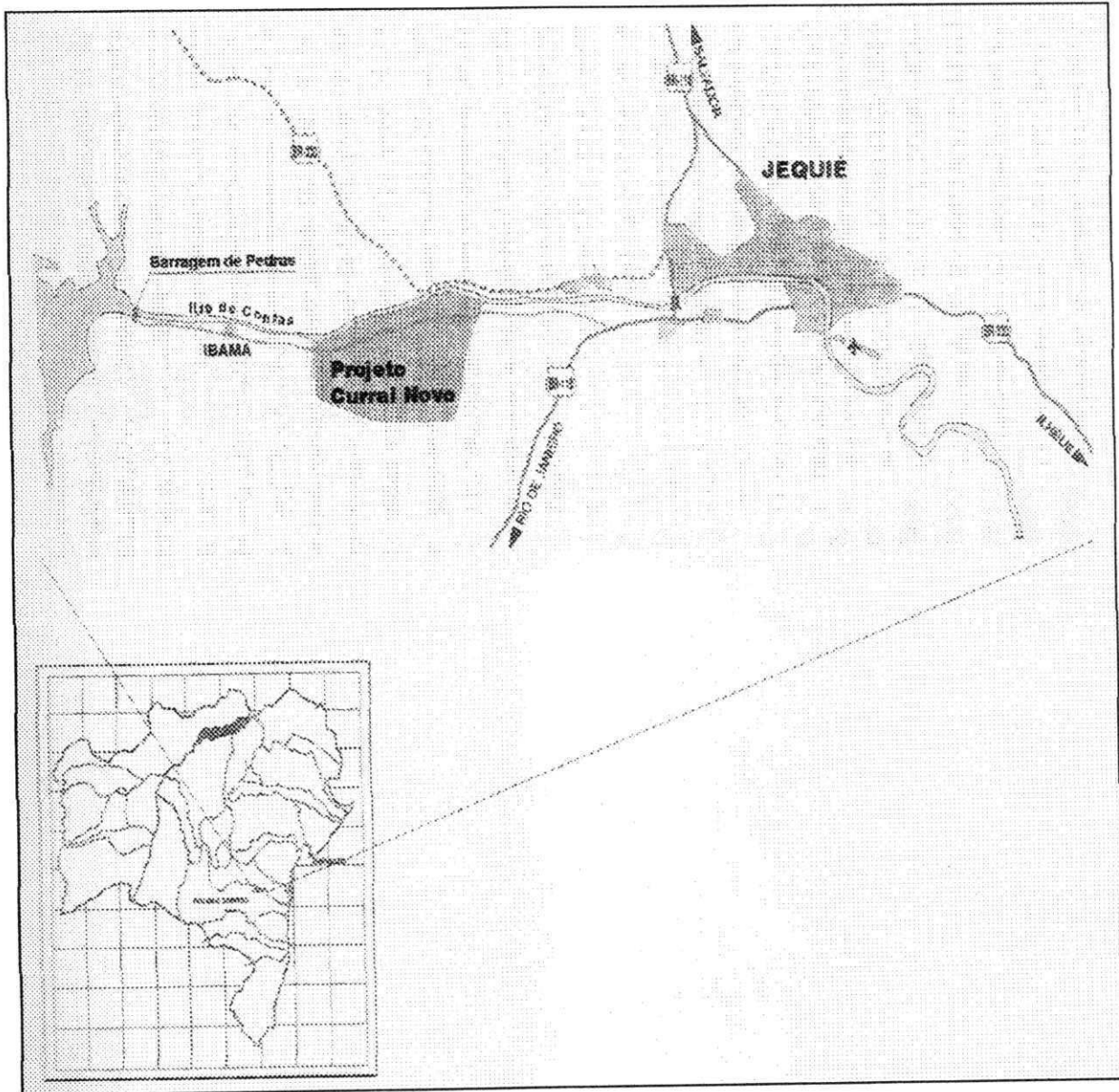
Segundo Muraoka e Trevelin (2007) a eficiência do uso de nitrogênio medida através da produção de grãos por unidade de nutriente aplicado deve ser alcançado em culturas de alta produtividade com boas praticas de manejo. Ainda para estes autores a eficiência do uso de nitrogênio pode ser expressa através da eficiência interna de utilização do nitrogênio, pelo fator parcial de produtividade, eficiência fisiológica, eficiência agrônômica e eficiência aparente de recuperação.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da área experimental**

A pesquisa foi realizada na propriedade Hidro agrícola Vale do Sol no período de 01/07 /2009 até 28/02/2012, em Jequié, Bahia (13° 51' 28" S , 40° 5' 2" W e altitude de 199 metros) a aproximadamente 300 m da barragem de pedra do Rio de Contas (Figura 1). A classificação climática de Köppen indica que a área da pesquisa está sob domínio do clima Aw: clima quente com mês mais frio com temperatura média superior a 18 °C. A temperatura média anual é de 23,6 °C sendo que no verão no local do experimento, sua temperatura atinge 45°C.

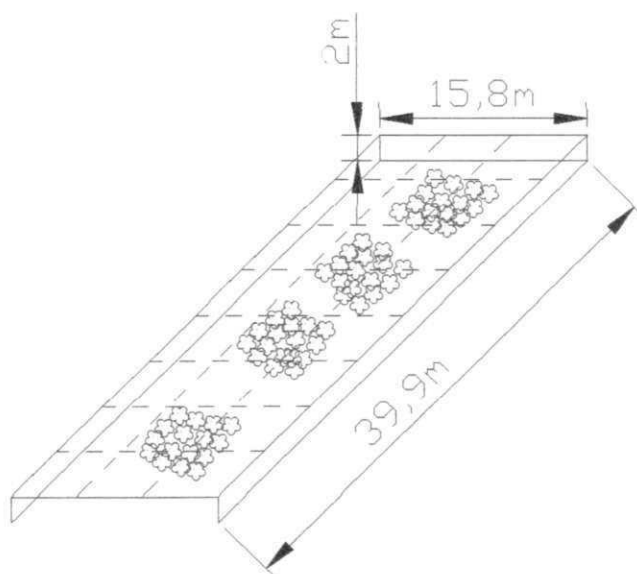
A umidade relativa mínima do ar é de 58,3% e a máxima 72,9%. A evapotranspiração potencial média anual é de 1.500 mm, apresentando valor máximo no mês de dezembro e mínimo no mês de junho, com índices de 169 mm e 68 mm, respectivamente. Apresenta ventos com baixa velocidade média anual de 3,6 Km/h; máxima 5,8 Km/h e mínima 2,2 Km/h. A cidade de Jequié está localizada na região sudoeste da Bahia a 365 Km de Salvador. A microrregião de Jequié é uma das microrregiões do estado brasileiro da Bahia pertencente à mesorregião Centro-Sul Baiano. Possui uma área total de 17.396,126 km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Localização da área experimental. Jequié-BA, 2012.

### 3.1.1. Ambiente protegido

O viveiro da propriedade agrícola é constituído de sombrite 50%, registros, tubos de PVC de 1" (25 mm) e mangueiras de ½" polegadas (24 mm) que abasteciam os micro-aspersores invertidos com tubo de descida de 0,60 m sendo sua área de aproximadamente 630 m<sup>2</sup> com pé direito de 2 m (Figura 2).



**Figura 2.** Dimensões do viveiro utilizado na área experimental. Jequié-BA, 2012.

#### 3.1.1.1. Mudanças de cacau clonal CCN-51

As mudas obtidas por estaquia com 180 dias de idade provenientes da Biofábrica do Cacau localizada no município de Uruçuca-BA, foram acondicionadas em sacos pretos de polietileno e mantidos sob sombrite 50% (Figura 3). O material do solo apresentou as seguintes características físico-químicas determinadas pelo método adotado pela Embrapa (1997): areia = 700,3 g kg<sup>-1</sup>; silte = 232,6 g kg<sup>-1</sup>; argila = 67,1 g kg<sup>-1</sup>; pH (H<sub>2</sub>O) = 7,83; Ca = 8,92 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg = 2,81 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Na = 0,31 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; K = 0,40 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H + Al = 0,00 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; MO = 25,5 g kg<sup>-1</sup>; P = 56,2 mg kg<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Distribuição das mudas no viveiro. Jequié-BA, 2012.

#### **3.1.1.2. Tratos culturais das mudas**

Os tratos culturais realizados foram irrigações por aspersão, controle manual de ervas daninhas e controle fitossanitário.

Durante o período experimental, as mudas foram pulverizadas com um coquetel composto por quimióleo  $0,5 \text{ mL L}^{-1}$  de água, talfontop  $1,5 \text{ g L}^{-1}$  de água e Aminon fertilizante organomineral foliar  $2 \text{ mL L}^{-1}$  de água, fracionado em três aplicações.

#### **3.1.1.3. Irrigação das mudas**

O sistema de irrigação foi instalado com microaspersores invertidos, com tubo de descida de  $0,6 \text{ m}$  de comprimento, apresentando vazão de  $48,6 \text{ L h}^{-1}$  para uma pressão de  $1,3 \text{ kgf cm}^{-2}$ . O sistema de irrigação funcionou das 7:00 as 8:00 horas e das 17:00 as 18:00 horas, diariamente.

Foi realizado o cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (1942), para estimativa da uniformidade de distribuição de água dos microaspersores utilizados no viveiro (Equação 2). Foram utilizadas as médias dos volumes (mL) de água coletados nos recipientes espaçados de  $1,5 \text{ m}$ . Foram realizados três ensaios, com tempo

definido de  $L h^{-1}$  para um único microaspersor trabalhando com pressão de serviço de  $1,3 \text{ kgf cm}^{-2}$  e vazão média de  $48,6 L h^{-1}$ , com valor de CUC igual a 81%.

$$CUC=100. \left[ 1 - \frac{\sum_i^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right] \quad (2)$$

Onde:

$q_i$  = vazão em cada emissor,  $Lh^{-1}$ ;

$\bar{q}$  = vazão média dos emissores,  $Lh^{-1}$ ;

$n$  = número de emissores.

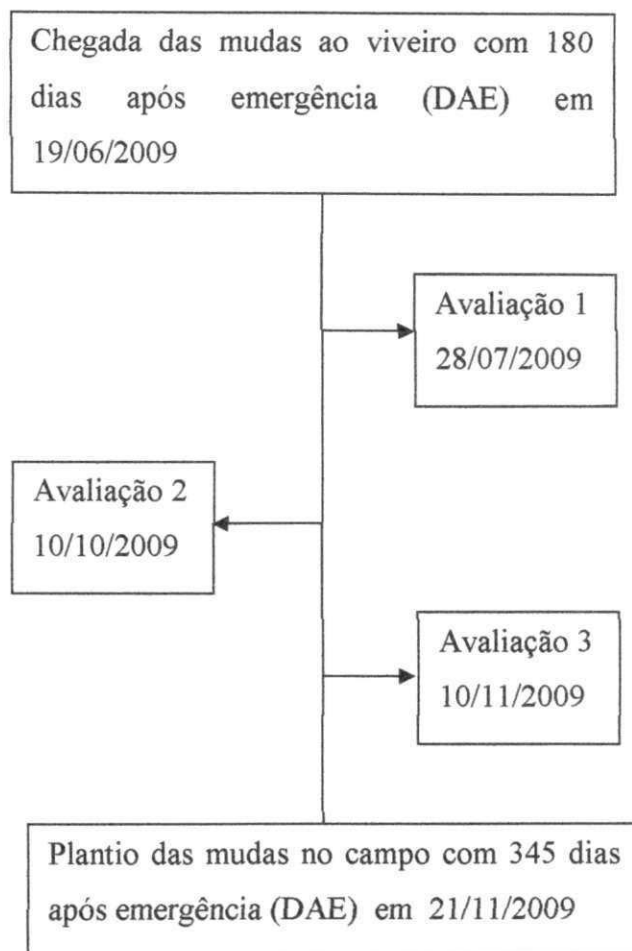
#### 3.1.1.4. Substrato

Foi utilizado substrato à base de solo com características físicas e químicas descritas em 3.1.1.1 e esterco caprino na proporção 4:1, sendo adubado com 400g de superfosfato simples ( $P_2O_5$  16%; S 11% e Ca 16%) e 16g de FTE BR-12 (9% Zn; 1,8% B; 0,8% Cu; 2% Mn; 3,5% Fe; 0,1% Mo).

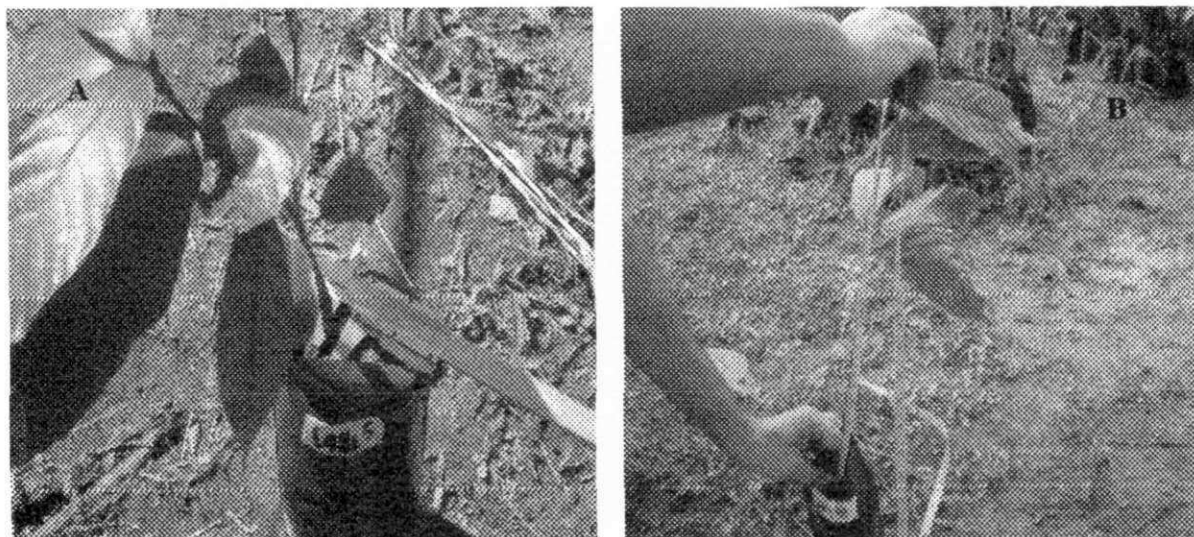
#### 3.1.1.5. Variáveis analisadas

Durante o período de 19/06/2009 até 21/11/2009 as mudas de cacau CCN-51 ficaram no viveiro onde foram realizadas três avaliações dos parâmetros de crescimento conforme organograma de datas (Figura 4) sendo eles: a altura da planta do nível do solo até a parte basal da última folha medida com (trena), o diâmetro do caule na superfície do solo medido com paquímetro de aço 150 mm com precisão de 0,05 mm e o número de folhas (contagem direta) (Figuras 5 A e B).





**Figura 4.** Organograma das avaliações realizados no ambiente protegido. Jequié-BA, 2012



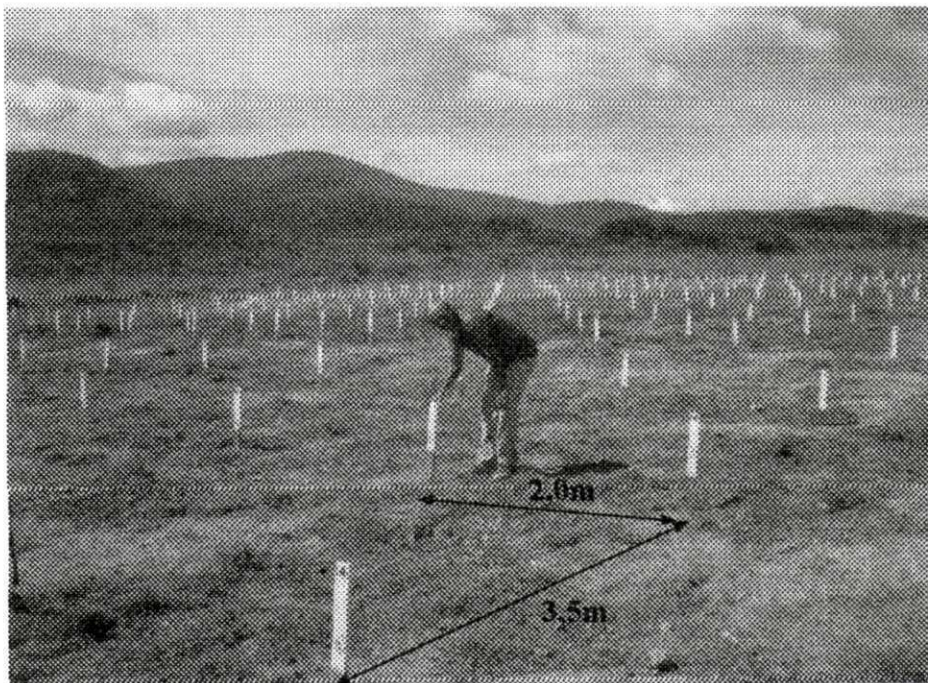
**Figura 5.** Aferição do diâmetro caulinar (mm) (A) e aferição da altura (cm) das mudas de cacau (B) CCN-51. Jequié-BA, 2012.

### 3.1.1.6. Análise estatística

A análise estatística foi realizada através de estatística descritiva e do Teste Tukey com a utilização do programa ASSISTAT 2011 e do Excel 2007 para a obtenção das médias das características avaliadas.

### 3.1.2. Ambiente Natural

No período de 21/11/2009 a 29/01/2012 na área experimental utilizada no campo de aproximadamente 0,18 hectares foi plantado o cacau clonal CCN-51 em covas de 0,40 x 0,40 x 0,40 m no espaçamento de 3,5 x 2,0 m em LATOSSOLO AMARELO, com relevo levemente ondulado (Figura 6).

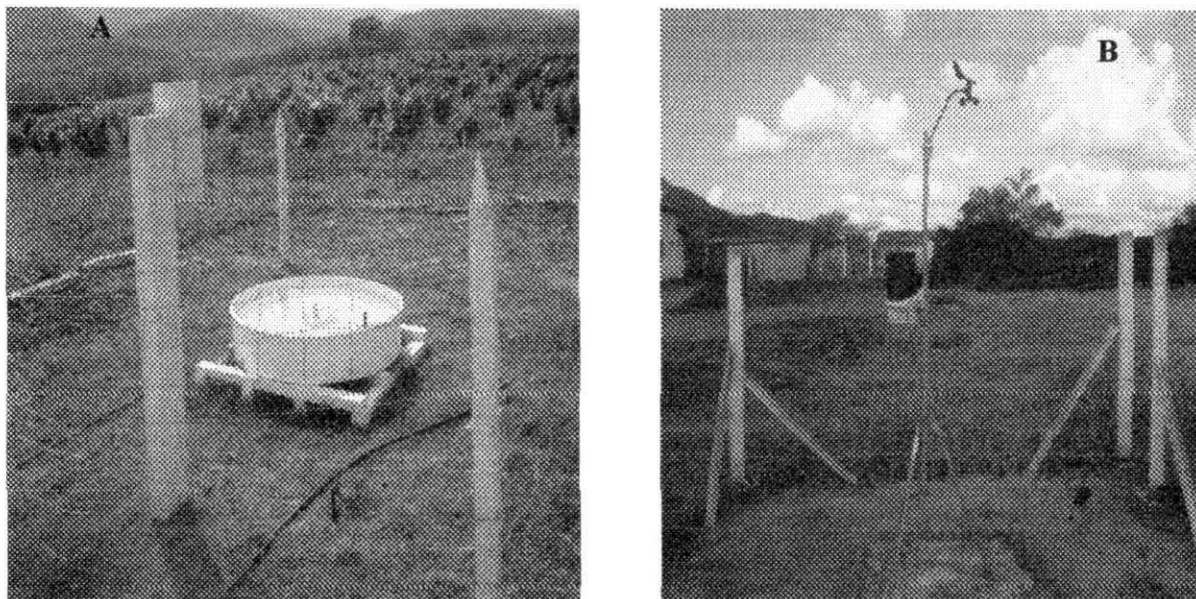


**Figura 6.** Área demarcada com esquadro. Jequié-BA, 2012.

#### 3.1.2.1. Características climáticas

Os dados climáticos, evaporação e precipitação, foram obtidos a partir de leituras diárias realizadas a 7:00 horas no tanque classe “A” (Figura 7A), com poço tranquilizador e régua de vidro graduada em mm e no pluviômetro Vally de Paris, instalados na mini estação meteorológica localizada na área experimental, enquanto que

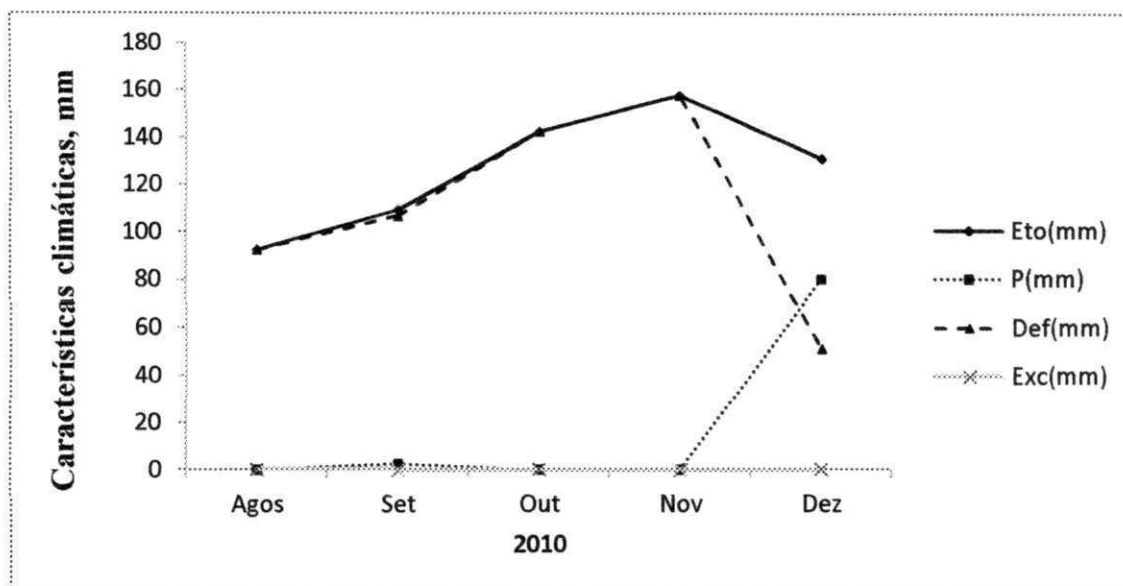
os dados temperatura e umidade relativa do ar foram fornecidos pela estação meteorológica do distrito de irrigação da Fazenda Velha localizada a aproximadamente 100 m da área experimental (Figura 7B).



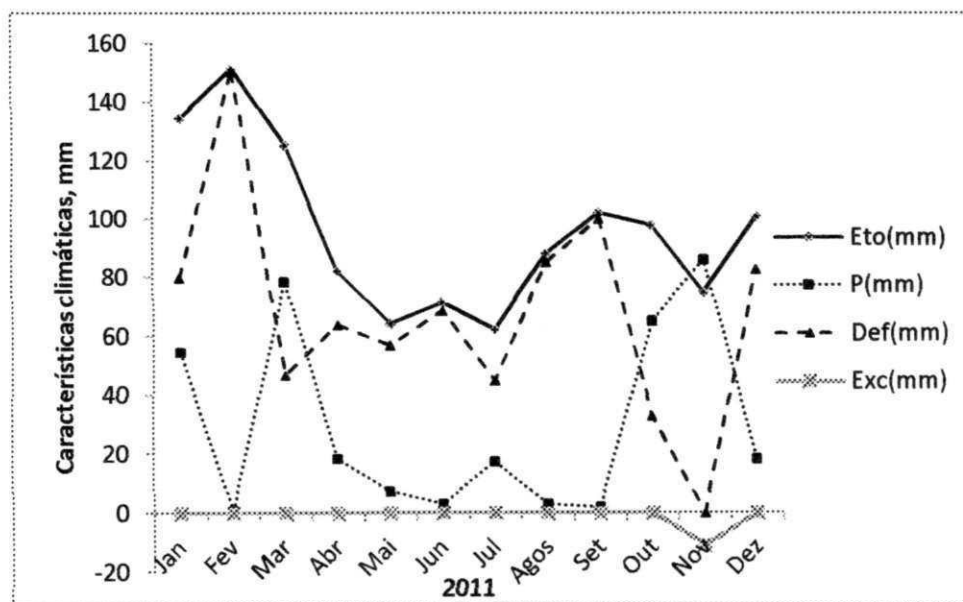
**Figura 7.** Mini estação meteorológica da área experimental (A) e estação meteorológica do Distrito de Irrigação da Fazenda Velha (B). Jequié-BA, 2012.

A evapotranspiração de referência média em 2010 alcançou um valor máximo de aproximadamente 160 mm em novembro e mínimo de 90 mm em agosto, sempre superando a precipitação mensal que alcançou índice máximo em torno de 80 mm em dezembro, sendo necessário a utilização de irrigação complementar (Figura 8). Em 2011 a evapotranspiração de referência média ficou abaixo dos 160 mm com precipitação média acima de 0 mm durante praticamente todo o ano de 2011, atingindo seu ponto máximo em novembro com excesso de água no solo de aproximadamente 20 mm (Figura 9).





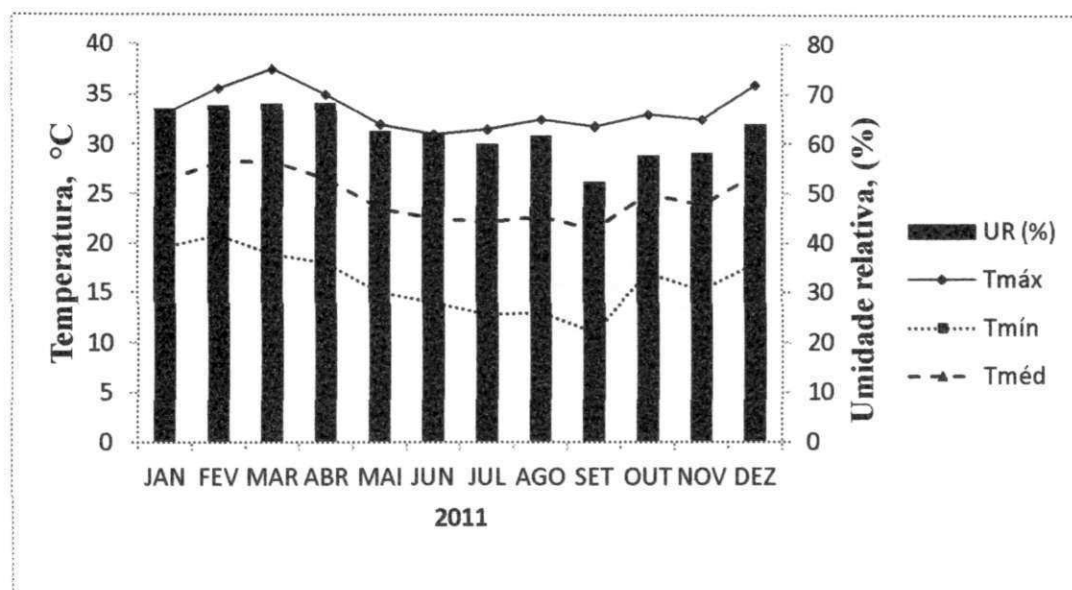
**Figura 8.** Balanço hídrico durante o período de realização do experimento em 2010, sendo Eto= evapotranspiração de referencia; P= precipitação; Def= déficit hídrico e Exc= excesso de água. Jequié-BA, 2012.



**Figura 9.** Balanço hídrico durante o período de realização do experimento em 2011. sendo Eto= evapotranspiração de referencia; P= precipitação; Def= déficit hídrico e Exc= excesso de água. Jequié-BA, 2012.

O cacauieiro requer clima quente para evitar a infestação da lavoura pela vassoura de bruxa. As temperaturas variaram significativamente ao longo do período

experimental alcançando máximas de 37°C e mínima de 14°C em 2011, a temperatura média mostrou uma tendência uniforme ficando em torno de 27,5°C (Figura 10). A umidade relativa do ar média ficou em torno de 61% dificultando o aparecimento do fungo *Moniliophthera perniciososa* causador da “Vassoura de Bruxa” na cultura do cacau.



**Figura 10.** Características climáticas para o ano de 2011 na área experimental, sendo UR=umidade relativa; Tmáx= temperatura máxima; Tmín = temperatura mínima e Tméd= temperatura média. Jequié-BA, 2012.

### 3.1.2.2. Características do solo e da água utilizada na irrigação

Á análise física e química das amostras de solo foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. De acordo com os resultados da Tabela 1, a área experimental foi adubada quanto ao potássio e fósforo segundo recomendação da CEPEC/CEPLAC (2009).

Pelos valores apresentados na Tabela 1 não houve necessidade de se incorporar calcário dolomítico para se elevar a saturação por base, pois esta apresentou valor de 84,69% acima do recomendado para a cultura do cacau que é de 50%. A análise revelou também a inexistência de alumínio tóxico devido ao pH acima de 5,5 presentes nas partículas do solo indicando um solo sem problemas de acidez. As adubações foram realizadas com base na análise de solo (Tabela 1) e nas recomendações da CEPLAC para a cultura do cacau.

**Tabela 1** - Características físicas e químicas do solo presente na área experimental.

Jequié-BA, 2012.

Características	Profundidade do solo		
	(0-0,20 m)	(0,20-0,40 m)	(0,40-0,60 m)
Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	683,8	645,3	634,0
Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	228,8	227,7	218,4
Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	87,4	127,0	147,6
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Densidade do solo	1,57	1,54	1,64
Densidade de partículas	2,76	2,73	2,76
Porosidade (%)	43,12	43,59	40,58
Umidade natural (%)	0,70	0,20	0,55
Capacidade de campo (%)	10,63	9,66	11,13
Ponto de murcha (%)	3,63	3,47	3,88
Água disponível (%)	6,97	6,19	7,25
Cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	2,53	2,32	2,07
Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1,81	1,76	1,98
Sódio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,03	0,04	0,07
Potássio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,28	0,12	0,1
S ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	4,65	4,24	4,22
Hidrogênio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,84	1,02	0,9
Alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,00	0,00	0,00
T ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	5,49	5,26	5,12
Carbonato de calcio qualitativo	Ausência	Ausência	Ausência
Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,58	0,58	0,25

<b>Matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>)</b>	1,00	1,00	0,43
<b>Nitrogênio (g kg<sup>-1</sup>)</b>	0,05	0,05	0,02
<b>Fósforo assimilável (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	11,2	3,4	2,2
<b>pH em H<sub>2</sub>O (1:2,5)</b>	6,48	6,51	6,61
<b>Condutividade Elétrica (dS m<sup>-1</sup>)</b>	0,13	0,12	0,12

À análise química da água utilizada na irrigação foi realizada pela SENIR-DNOCS (4ª diretoria regional de estudos e projetos) localizada em Salvador-BA, apresentando as características na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características químicas da água utilizada pelo sistema de irrigação na área experimental. Jequié-BA, 2012.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	6,9
<b>Condutividade Elétrica (dS m<sup>-1</sup>)</b>	0,24
<b>Cálcio (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	1,0
<b>Magnésio (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	1,24
<b>Sódio (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,87
<b>Potássio (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,46
<b>Cloretos (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	1,73
<b>Bicarbonatos (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	1,70
<b>Sulfatos (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	Ausente
<b>Relação de adsorção de sódio (RAS) (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup></b>	1,3
<b>Classe de Água</b>	C2S1



Pela Tabela 2 a água utilizada na irrigação foi classificada como C2-S1, ou seja, água com salinidade média e baixo teor em sódio que pode ser utilizada na irrigação em quase todos os tipos de solos; o valor da condutividade elétrica da água de irrigação de  $0,24 \text{ dS m}^{-1}$  e de  $2 \text{ dS m}^{-1}$  estimado para o cacau, foram utilizados no cálculo da lâmina de lixiviação.

### 3.1.2.3. Pulverizações realizadas e limpeza da área experimental.

Ao longo de todo o período experimental as pulverizações e limpeza da área foram realizadas de acordo com as necessidades apresentadas na área, combatendo principalmente as ervas daninhas existentes, através de limpeza manual ou com a utilização de roçadeira, conforme Tabela 3.

**Tabela 3.** Pulverizações realizadas e limpeza da área ao longo do experimento. Jequié-BA, 2012.

DATA	DEFENSIVO	QUANTIDADE/TIPO	CLASSE
07/08/2010	RECONIL	$4 \text{ g.pé}^{-1}$	Fungicida bactericida
25/01/2011	DECIS 25Ec	$200 \text{ ml.ha}^{-1}$	Inseticida de contato
30/07/2011	DECIS 25Ec	$150 \text{ ml.ha}^{-1}$	Inseticida de contato
<b>LIMPEZA DA ÁREA</b>			
10-11/12/11/2009		Manual	
26-27/03/2010		Manual	
15/06/2010		Roçadeira	
30/09/2010	Roundup Multiação	$2 \text{ kg.ha}^{-1}$	Herbicida não seletivo
08/01/2010	Podium EW	$0,75 \text{ l.ha}^{-1}$	Herbicida seletivo
20/04/2011		Roçadeira	
29/08/2011		Roçadeira	
04/11/2011		Manual	
09/01/2012		Manual	

#### **3.1.2.4. Podas.**

Foram realizadas duas podas: formação em 21/08/2010 e a de manutenção em 06/04/2011. Na poda de formação procurou deixar a planta de cacau CCN-51 com uma forma cônica, mantendo-se o equilíbrio entre os ramos laterais e o eixo central da planta. Os brotos ladrões ou comumente chamado “chupões” que apareceram no tronco foram eliminados.

A poda de manutenção consistiu na eliminação de galhos secos e enfermos ou ainda de ramos cuja folhagem não recebia adequadamente a luz solar bem como dos frutos pecos.

#### **3.1.2.5. Sombreamento inicial**

O sombreamento inicial do cacau é uma necessidade, não só pelo fato de se tratar de uma planta umbrófila, como por concorrer para uma maior longevidade da cultura e uma produção econômica mais regular. A adaptação do cacau ao semiárido se passa pela necessidade de criação de um micro clima que permita a planta se desenvolver normalmente como se estivesse em seu habitat natural, por isto foi realizado um consórcio entre o cacau e o milho (*Zea mays*) para que este promovesse o sombreamento no início do crescimento do cacau (Figura 11A). Foi realizado em duas oportunidades 10/11/2009 e 22/04/2010.

#### **3.1.2.6. Quebra vento**

A necessidade de quebra vento foi verificada pela desidratação das folhas de cacau e pela proximidade de tombamento de algumas plantas da área experimental. Em 29/07/2011 foi realizado o plantio de bananeiras (*Musa spp*) da variedade prata, Figura 11 B, em volta do experimento diminuído a influência do vento sobre a plantação de cacau.



**Figura 11.** Plantio do milho sombreamento inicial (A); quebra vento (B) e dimensões da cova (C).

### 3.1.2.7. Delineamento experimental

O delineamento estatístico experimental foi em blocos casualizados em um fatorial 4x4 resultando 16 tratamentos constituídos pelas lamina de água (L) em (mm) e as dose de nitrogênio (N) em  $\text{kg ha}^{-1}$ , formando o par ordenado (L; N) (Tabela 4). Os tratamentos foram distribuídos em 4 blocos; cada bloco tinha 64 plantas sendo 4 plantas por parcela com um total de 256 plantas de cacau clonal CCN-51 na área útil e 96 plantas da variedade forasteiro “cacau comum” como bordadura. Os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente na área experimental através da técnica de amostragem que utiliza papéis numerados.

**Tabela 4.** Tratamentos utilizados durante a realização do experimento no campo. Jequié-BA, 2012.

TRATAMENTOS	De 09/08 /2010 até 19/06/2011		De 09/08 /2010 até 30/01/2012	
	ÁGUA(L)	DOSE (N)	ÁGUA(L)	DOSE (N)
L1N1	1146,35	249,3	1384,52	318,3
L2N 1	1335,66	307,2	1653,219	318,3
L3N1	1525,578	365	1922,521	318,3
L4N1	1717,576	422,9	2193,908	318,3
L1N2	1146,35	249,3	1384,52	405,8
L2N2	1335,66	307,2	1653,219	405,8
L3N2	1525,578	365	1922,521	405,8
L4N2	1717,576	422,9	2193,908	405,8
L1N3	1146,35	249,3	1384,52	493,1
L2N3	1335,66	307,2	1653,219	493,1
L3N3	1525,578	365	1922,521	493,1
L4N3	1717,576	422,9	2193,908	493,1
L1N4	1146,35	249,3	1384,52	580,6
L2N4	1335,66	307,2	1653,219	580,6
L3N4	1525,578	365	1922,521	580,6
L4N4	1717,576	422,9	2193,908	580,6

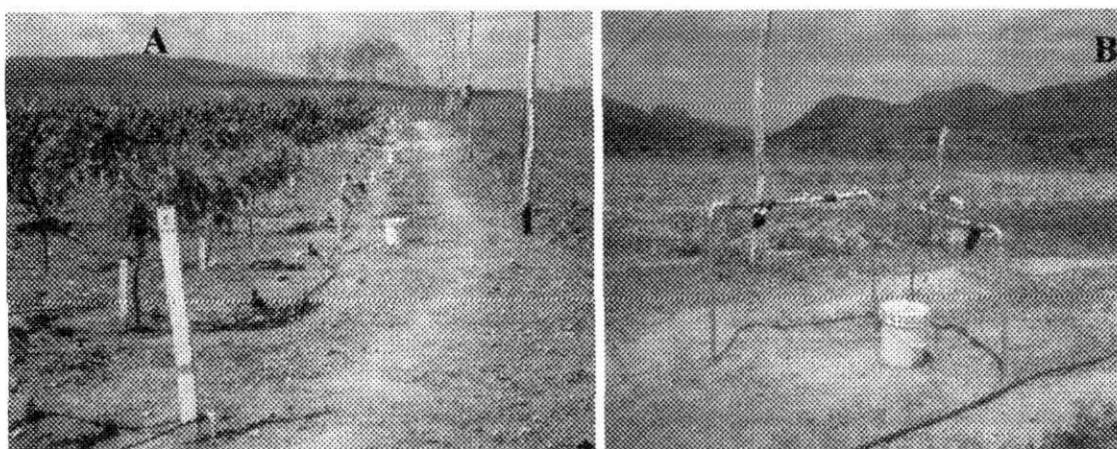
### 3.1.2.8. Sistema de irrigação e Fertirrigação

A Barragem de Pedra do Rio de Contas com 65m de altura apresentando um volume de água de 300.000.00 m<sup>3</sup> e sangradouro com vazão de 5.000,00 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> escoava água até a bomba Booster, que pertence ao distrito de irrigação da Fazenda Velha, instalada nas proximidades da área experimental que distribuía a água de maneira pressurizada para as propriedades rurais da região, esta água abastecia o sistema de irrigação localizada por gotejamento da área experimental, composto de 2 fitas gotejadoras por fileira de planta com 41 m de comprimento cada uma, possuindo gotejadores autocompensantes, da marca Streamline, espaçados de 0,70 m, trabalhando com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup> e pressão de 196 kPa.

Para o manejo da irrigação foram utilizadas 16 válvulas solenóides Rain Bird sendo estas controladas por um multi programador de irrigação de 6 setores conforme croqui da área experimental (Figuras 12 A e 13).

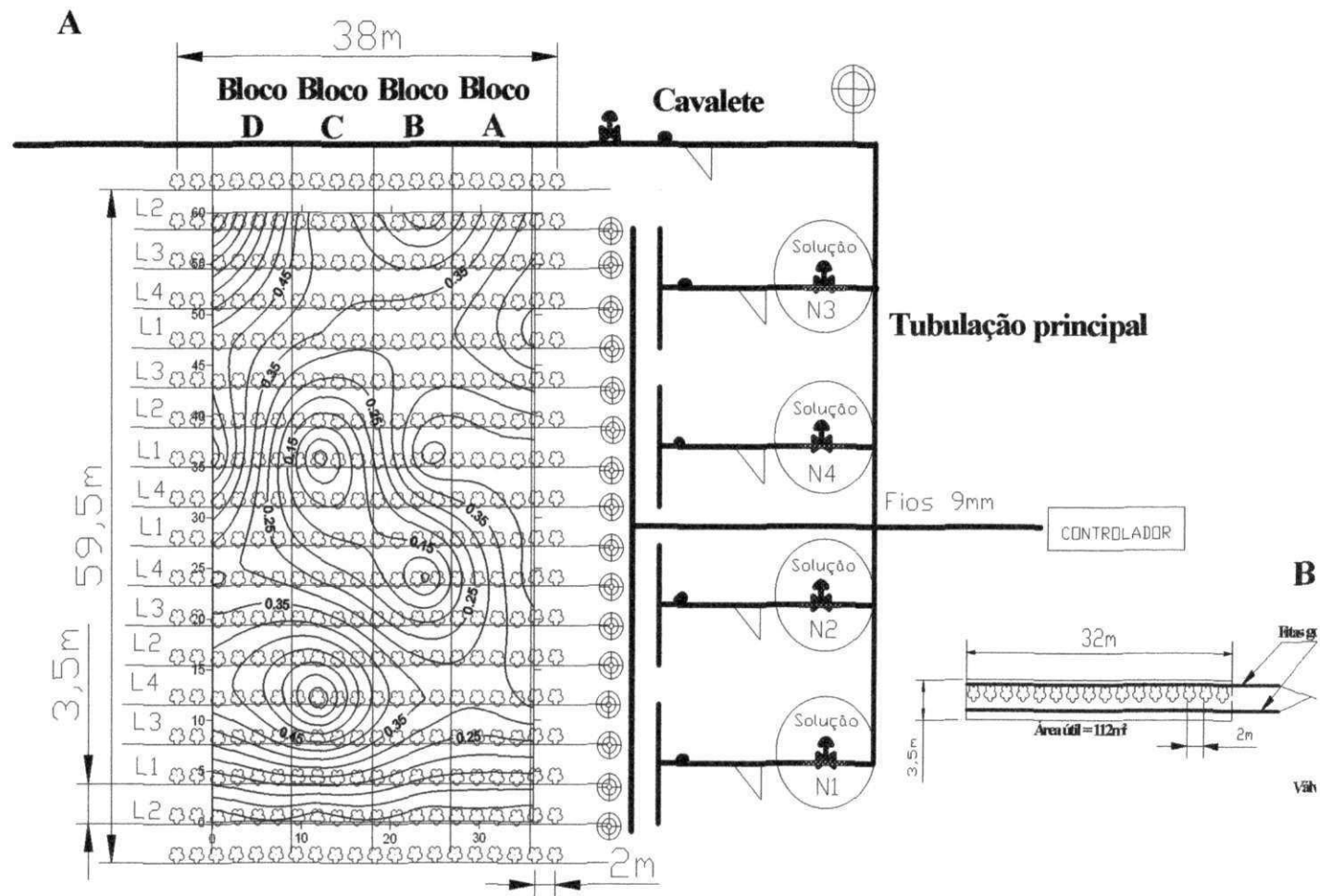
O sistema era composto de 5 cavaletes sendo o primeiro localizado no início da área apresentando os seguintes materiais: ventosa, redutor de pressão, manômetro de glicerina para aferir a pressão em  $\text{kg cm}^{-2}$  e um filtro de disco e os 4 cavaletes ao longo da linha principal para realizar a fertirrigação sendo composto dos seguintes materiais: registros, venturi, ventosas, filtros de disco, peças de PVC e recipientes para elaborar a solução a ser aplicada (Figura 12 B).

Para a montagem do sistema de distribuição de água se utilizou de tubos de PVC da marca tigre de 25 mm, 32 mm e 100 mm; 18 conectores em forma de “Y” para adaptação das fitas gotejadoras na tubulação principal, conector anel, joelhos, curvas, mangueiras, além de outros acessórios.



**Figura 12.** Sistema de irrigação localizada automatizado (A); Cavalete principal a esquerda e cavalete para a fertirrigação da dose  $N_3$  a direita (B). Jequié BA, 2012.

- Legenda:**
- ⊕ Válvulas solenoide
  - ⊕ Registro
  - ▽ Filtro de disco
  - Ventosa
  - Redutor de pressão
  - ⊕ Manômetro
  - Venturi
  - ⊕ Planta
  - Bordadura



**Figura 13.** A- Croqui da área experimental; B-Detalhe de uma linha de irrigação. Jequié-BA, 2012.



### **3.1.2.9. Manejo da adubação**

#### **3.1.2.9.1. Plantio**

Nas covas de 0,40 x 0,40 x 0,40 m, (Figura 11C), foram aplicados 70 g (cova)<sup>-1</sup> de FTE BR12, composto químico formado de micronutrientes adicionadas a 140 g (cova)<sup>-1</sup> de MAP (52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 11% N) ou seja 72,8 g (cova)<sup>-1</sup> de pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) mais 15,4 g (cova)<sup>-1</sup> de nitrogênio (N<sub>2</sub>), adicionando a esta mistura 3 litros de esterco de caprino como adubo orgânico.

#### **3.1.2.9.2. Formação da planta**

Ao longo do experimento foram aplicados 194,3 kg ha<sup>-1</sup> de potássio K<sub>2</sub>O, sendo usado como fonte o sulfato de potássio (50%), aplicado via água de irrigação; cada aplicação era de 2 g (planta)<sup>-1</sup> e o sulfato não foi diferenciado, ou seja, todas as plantas receberam a mesma quantidade de potássio.

Com relação ao nitrogênio, nutriente mais importante na alimentação do cacau, foi utilizado a uréia (50% de N), sendo aplicada via água de irrigação semanalmente tomando-se como padrão 3 g N (planta)<sup>-1</sup> considerada como a dose N2-100%. Os percentuais de N1-70, N3-130 e N4-160 % tomaram como referência esta dose padrão. As quatro doses de nitrogênio tiveram como referência os valores indicadas para a cultura do cacau nos três primeiros anos segundo CEPEC/CEPLAC (2009).

Os totais destas doses utilizadas ao longo do experimento até a data da última avaliação dos parâmetros de crescimento do cacau em 16/06/2011 foram de: N1= 249,30 kg ha<sup>-1</sup>; N2 = 307,20 kg ha<sup>-1</sup>; N3 = 365 kg ha<sup>-1</sup>; N4 = 422,9 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **3.1.2.9.3. Produção**

A colheita dos frutos de cacau se iniciou em 20/06/2011 até seu término em 29/01/2012 quando o cacau completou dois anos e dois meses de plantado; estas colheitas foram realizadas esporadicamente quando o fruto de cacau se apresentava no

ponto de maturação. Os valores totais de nitrogênio que foram aplicados foram de N1= 318,3 kg ha<sup>-1</sup>; N2 = 405,8 kg ha<sup>-1</sup>; N3 = 493,1 kg ha<sup>-1</sup>; N4 = 580,6 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Manteve-se as mesmas proporções que foram aplicadas no período de formação ou crescimento da cultura, pois o cacaueteiro só entraria no período de produtividade, provavelmente, a partir do terceiro ano de plantio.

### **3.1.2.10. Manejo da irrigação**

No campo, diariamente foram aplicadas quatro lâminas de irrigação sempre que não havia precipitação pluviométrica; estas tinham como base a lâmina bruta (LB) necessária para repor a água evapotranspirada sendo estas 0,60 LB, 0,80 LB, 1 LB e 1,2 LB. Os dados de leitura diárias as 7:00 horas de evaporação do tanque Classe “A” instalado na propriedade rural e o coeficiente do tanque (Kp), que de acordo Doorembos e Pruitt (1977), para uma velocidade média do vento de 4 m s<sup>-1</sup> (345,6 Km h<sup>-1</sup>) e umidade relativa de 64% com raio de bordadura de 1 m é igual a 0,6, foram utilizados para estimar a evapotranspiração de referência ETo e a partir destes dados calcular a lâmina líquida de irrigação através da Equação 3.

Até o término do experimento em 29/01/2012, quando o cacaueteiro completou dois anos e dois meses de plantado, os valores totais de lâminas bruta de água que foram aplicados considerando o Kc = 0,6; KL = 0,76 de acordo com a Equação 6 e UE = 0,9 conforme Equação 9, foram de L1 = 1384,52 mm, L2 = 1653,22 mm , L3 = 1922,52 mm e L4 = 2193,91 mm. Tais valores não acumulam as precipitações efetivas ocorridas durante o experimento (Tabela 6).



**Tabela 5.** Doses de nitrogênio (g planta<sup>-1</sup>) aplicadas nas parcelas da área experimental. Jequié-BA, 2012.

MESES	1º ano no campo 11/2009 até 10/2010				2º ano no campo 11/2010 até 10/2011				3º ano no campo 11/2011 até 01/2012			
	N1(g)	N2(g)	N3(g)	N4(g)	N1(g)	N2(g)	N3(g)	N4(g)	N1(g)	N2(g)	N3(g)	N4(g)
NOVEMBRO	---	---	---	---	8,4	12	15,6	19,2	8,4	12	15,6	19,2
DEZEMBRO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	8,4	12	15,6	19,2
JANEIRO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	3,4	7	10,6	14,2
FEVEREIRO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
MARÇO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
ABRIL	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
MAIO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
JUNHO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
JULHO	10	10	10	10	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
AGOSTO	6,3	6	7,8	9,6	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
SETEMBRO	8,4	12	15,6	19,2	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
OUTUBRO	8,4	12	15,6	19,2	8,4	12	15,6	19,2	---	---	---	---
TOTAIS	103,1	112	119	128	100,8	144	187,2	230,4	20,2	31	41,8	52,6

INSTITUTO DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA

**Tabela 6.** Lâminas bruta de água (mm), aplicadas nas parcelas da área experimental. Jequié-BA, 2012.

MESES	1º ano no campo				2º ano no campo				3º ano no campo			
	11/2009 até 10/2010				11/2010 até 10/2011				11/2011 até 01/2012			
	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)	L4(mm)	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)	L4(mm)	L1(mm)	L2(mm)	L3(mm)	L4(mm)
NOVEMBRO	14	14	14	14	65,86	84,48	103,1	121,72	35,64	50,9	66,09	81,64
DEZEMBRO	85,0	85,0	85,0	85,0	52,99	70,56	88,13	105,77	39,41	52,57	65,73	78,89
JANEIRO	85,0	85,0	85,0	85,0	67,06	89,39	111,79	124,12	51,82	61,78	79,72	91,85
FEVEREIRO	85,0	85,0	85,0	85,0	69,51	92,68	110,85	129,02	---	---	---	---
MARÇO	85,0	85,0	85,0	85,0	76,86	102,48	128,1	133,3	---	---	---	---
ABRIL	50	50	50	50	52,36	69,79	87,29	104,72	---	---	---	---
MAIO	40	40	40	40	31,64	42,21	52,71	63,28	---	---	---	---
JUNHO	40	40	40	40	32,06	42,77	53,48	64,19	---	---	---	---
JULHO	40	40	40	40	34,79	46,34	54,96	69,51	---	---	---	---
AGOSTO	33,8	44,24	55,23	68,32	32,55	43,4	54,18	65,03	---	---	---	---
SETEMBRO	40,18	53,55	66,99	80,36	40,74	54,39	67,97	81,55	---	---	---	---
OUTUBRO	49,14	55,52	71,97	98,35	54,11	72,17	90,23	108,29	---	---	---	---
TOTAIS	647,12	677,31	718,19	771,03	610,53	810,66	992,79	1210,5	126,87	165,25	211,54	262,09

$$LL = ECA_{\text{média}} \cdot K_p \cdot K_c \cdot K_L \quad (3)$$

Onde:

LL = lâmina líquida, mm;

$ECA_{\text{média}}$  = média da Evaporação no tanque classe "A" na semana;

$K_p$  = coeficiente do tanque, adimensional;

$K_c$  = coeficiente da cultura, adimensional;

$K_L$  = fator de ajuste devido a aplicação localizada, que é dado pela equação 4 ;

Para calcular a lâmina líquida de irrigação se utilizou dos coeficientes da cultura do cacau ( $K_c$ ) que pelo boletim 56 da FAO, são: fase inicial 1, fase intermediária 1,05 e fase final 1,05.

Os cálculos de evaporação diária eram realizados tomando a diferença entre duas leituras consecutivas de evaporação em mm, adicionado a precipitação efetiva em mm, Equação 4.

$$ECA_{\text{média}} = (\text{Leitura 2} - \text{Leitura 1}) + P_e \quad (4)$$

Onde:

$P_e$  = precipitação efetiva.

Para a EMBRAPA (2009), a precipitação efetiva ( $P_e$ ), que atinge o solo, pode ser deduzida da precipitação total (PT) da seguinte forma: Calcula-se a capacidade real de água no solo disponível para as plantas CRA (Equação 4), que será tomada como valor limite da  $P_e$ , isto é, se  $P_t > CRA$  então a precipitação efetiva é  $P_e = CRA$  Se  $P_t < CRA$  então  $P_e = P_t$ .

$$CRA = (CC - PM) \cdot da \cdot Z \cdot f \cdot 10^{-1} \quad (5)$$

Onde:

CC = capacidade de campo, (%);

PM = ponto de mucha permanente, (%);

da = densidade aparente do solo,  $g \cdot cm^{-3}$ ;

Z = profundidade do sistema radicular, cm;

f = fator de disponibilidade de água para as plantas, adimensional.

$P_t$  = precipitação total, mm.

Os valores de capacidade de campo, ponto de mucha permanente e densidade aparente foram retirados da Tabela 1; a profundidade do sistema radicular para a cultura do

cacau considerada pelos técnicos da região é de 0,4 m e o fator de disponibilidade de água utilizado foi de 0,5.

Para o sistema de irrigação localizada foi levado em consideração que só uma parte da área esta sendo irrigada, sendo utilizado um fator de correção  $K_l$  no calculo da lamina liquida de água. Este valor segundo Feveres (1981) para frutíferas é calculado, quando a percentagem de área molhada ou sombreada  $P_w$  esta situado no intervalo  $20\% \leq P_w \leq 65\%$ , através da Equação 6.

$$K_l = 1,09. P_w. 10^{-2} + 0,30 \quad (6)$$

Onde:

$K_l$  = fator devido a aplicação localizada, adimensional;

$P_w$  = percentagem da área molhada ou sombreada, (%).

Foram realizados testes de campo para verificação do diâmetro do bulbo molhado pelo emissor para o cálculo do percentual de área molhada, encontrando o valor médio de 0,78 m o que pela Equação 7, para duas fitas gotejadoras por fileira de planta se obteve um percentual de área molhada de 42%, valor este dentro dos padrões de aceitação pela maioria das bibliografias pois citam valores acima de 33% para regiões semiáridas (Bernardo et al., 2007), utilizando 6 emissores por planta.

$$Se \geq Se' \quad P_w = \frac{NEP. Se'. (Se+W)}{2. S_p. S_f} . 100 \quad (7)$$

Onde:

$Se$  = espaçamento entre emissores, m;

$Se'$  = espaçamento entre emissores para ter um volume de solo molhado contínuo, m;

$NEP$  = número de emissores por planta;

$W$  = diâmetro máximo do bulbo molhado pelo emissor, m;

$S_p$  = espaçamento entre plantas, m;

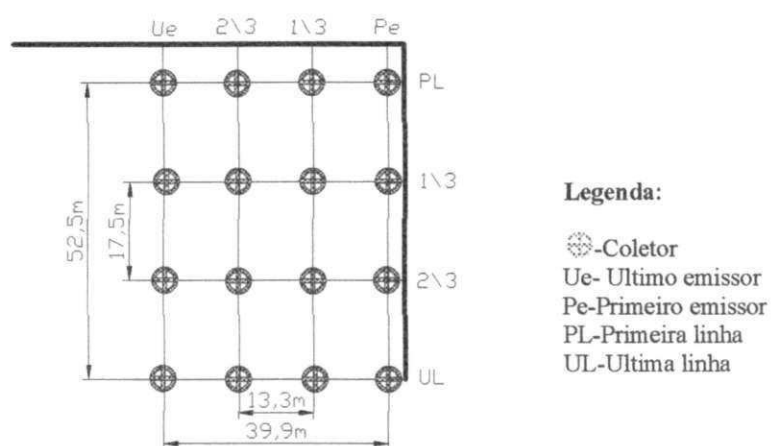
$S_f$  = espaçamento entre fileiras de planta, m.

$$Se' = 0,8. W \quad (8)$$

Para o cálculo da lâmina bruta se utilizou do coeficiente de uniformidade de emissão, (CUE), de água cujo valor encontrado em campo utilizando da metodologia de

Kelly e Karmelly (1974) foi de 90% e da razão de lixiviação calculada a partir da análise de água (Tabela 2), cujo valor menor que 0,1 portanto desprezível.

Para o cálculo da uniformidade de emissão de água (CUE) no campo (Equação 9), foi realizado a obtenção de vazão em quatro pontos ao longo da linha lateral, no primeiro gotejador, nos gotejadores situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento e o último gotejador. As linhas laterais selecionadas, ao longo da linha de derivação, foram a primeira, as situadas a 1/3 e 2/3 do comprimento e a última linha lateral (Figura 14).



**Figura 14.** Distribuição dos coletores no campo para teste de uniformidade de distribuição de água . Jequié-BA, 2012.

Para determinação do coeficiente de uniformidade de emissão foram realizados três ensaios de coleta de volume de água em  $L.s^{-1}$  em um tempo fixo de 10min, para cálculo da vazão em cada emissor selecionado. Os ensaios ocorreram as 8:00 horas com pressão de 196 kPa no manômetro localizado no cavalete principal.

$$CUE = 100 \cdot \left[ \frac{q_n}{\bar{q}} \right] \quad (9)$$

Onde:

$q_n$  = média de 25% das vazões com menores valores;

$\bar{q}$  = média de todas as vazões coletadas.

Para o cálculo da razão de lixiviação (Equação 10) foram utilizados os valores da condutividade elétrica da água de irrigação  $CE_a = 0,24 \text{ dS m}^{-1}$  conforme Tabela 2 e da condutividade elétrica estimada para o cacau de  $2 \text{ dS m}^{-1}$  sendo a lâminas bruta de irrigação utilizada suficiente para lixiviar os sais.

$$R_L = \frac{CE_a}{2 \cdot CE_c} \quad (10)$$

Onde:

$R_L$  = razão de lixiviação, adimensional

$CE_a$  = condutividade elétrica da água de irrigação,  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ .

$CE_c$  = condutividade elétrica estimada para o cacau,  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$

Para o cálculo da eficiência de aplicação, será utilizada a Equação 11.

$$E_a = 0,9 \cdot UE \quad (11)$$

O cálculo da lâmina bruta de irrigação que foi utilizada como referência para reposição da água evapotranspirada e a partir da qual foram referendadas as outras lâminas de água que compuseram os tratamentos aplicados no campo, foi realizado utilizando da Equação 12 descrita segundo Bernardo et al. (2006).

$$LB = \frac{LL}{CUE \cdot (1 - R_L)} \quad (12)$$

Onde:

$LB$  = lâmina bruta, mm;

Para o cálculo do volume de água aplicado por planta (VP), utilizaremos a Equação 13.

$$VP = LB \cdot S_p \cdot S_f \quad (13)$$

Onde:

$VP$  = volume de água aplicado por planta, L .

Foram usados 6 emissores por planta com vazão média de cada emissor de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  para calcular o tempo de aplicação da lâmina bruta de irrigação em mm. Os tempos de aplicação das lâminas de irrigação foram encontrados a partir da Equação 14.

$$T_a = \frac{V_p}{NEP \cdot q_{med}} \quad (14)$$

Onde:

$T_a$  = tempo de aplicação, h;

$q_{med}$  = vazão média dos emissores,  $\text{Lh}^{-1}$ .

### 3.1.2.11. Manejo da Fertirrigação

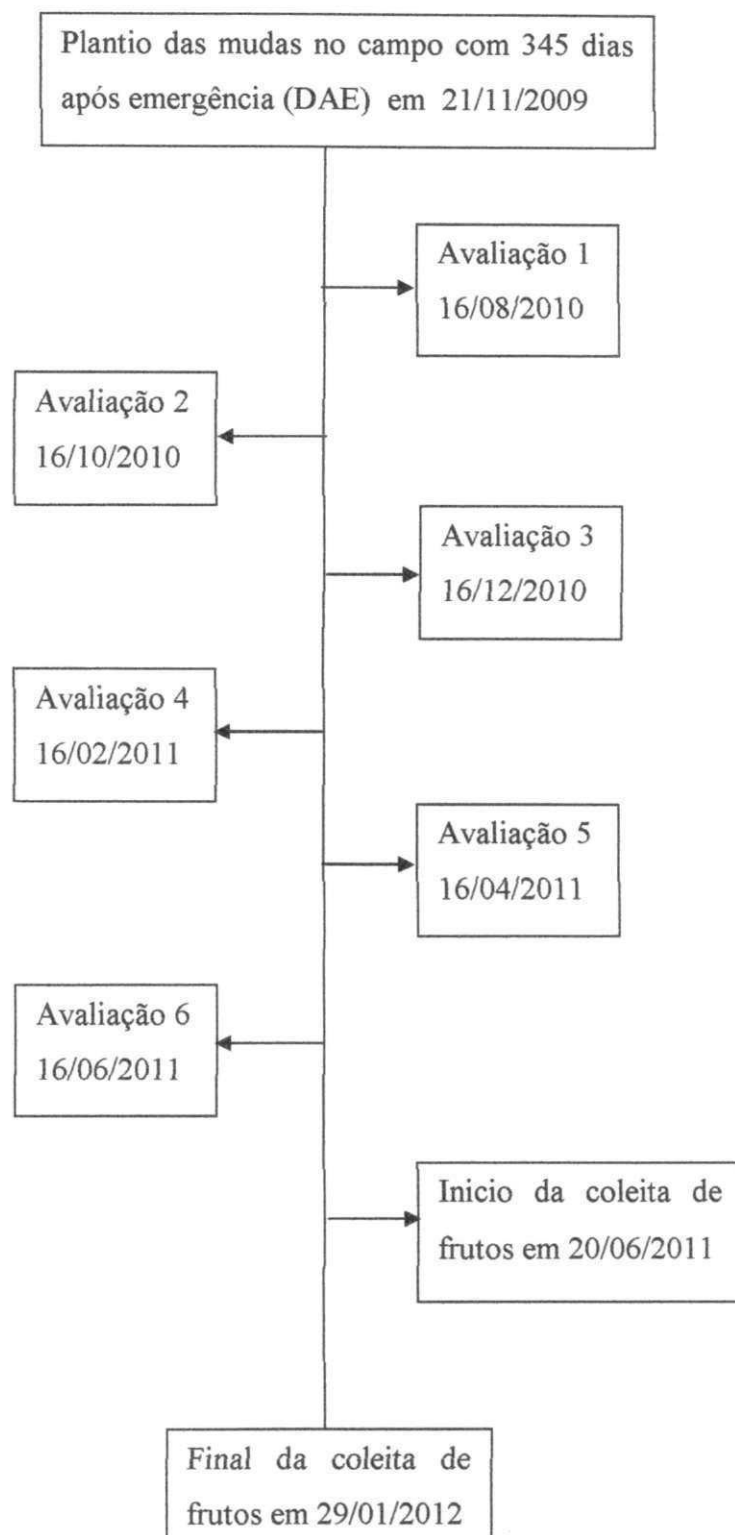
A adubação do cacauzeiro foi realizada obedecendo aos preceitos da fertirrigação com aplicação inicial de 25% do tempo destinado a aplicar a lâmina bruta de irrigação, visando equilibrar hidraulicamente as unidades de irrigação; em seguida foi feita a injeção de uréia como fonte de nitrogênio, sendo aplicada nas devidas proporções de acordo a dose estabelecida como padrão de aplicação semanal de  $3 \text{ g N (planta)}^{-1}$  e considerada como N2 (100%), e os demais níveis de N1 (70%), N3 (130%) e N4 (160%) em relação a dose padrão. Foi utilizado o sulfato de potássio como fonte de potássio aplicando-se a mesma quantidade semanalmente de  $2 \text{ g K (planta)}^{-1}$  para todas as plantas.

Estas misturas foram diluídas em recipiente de dez litros com tempo de descarga de cinco minutos. O sistema injetava, através dos quatro venturis, o adubo nas tubulações depois da filtragem. Os 25% do tempo final de aplicação da lâmina bruta de irrigação foi utilizado para lavar completamente o sistema de irrigação e carrear os fertilizantes da superfície para camadas mais profundas do solo.

A fertirrigação era realizada semanalmente aos sábados às 8 horas nos quatro venturis com vazão de sucção realizada por cada um de  $2 \text{ L (min)}^{-1}$  e pressão de 196 kPa.

### 3.1.2.12. Análise das características de crescimento e produção

A Figura 15 apresenta as datas de realização das avaliações que foram realizadas nas características de crescimento e de produção do cacau clonal CCN-51, em ambiente natural.



**Figura 15.** Organograma das avaliações realizadas no ambiente natural. Jequié-BA, 2012



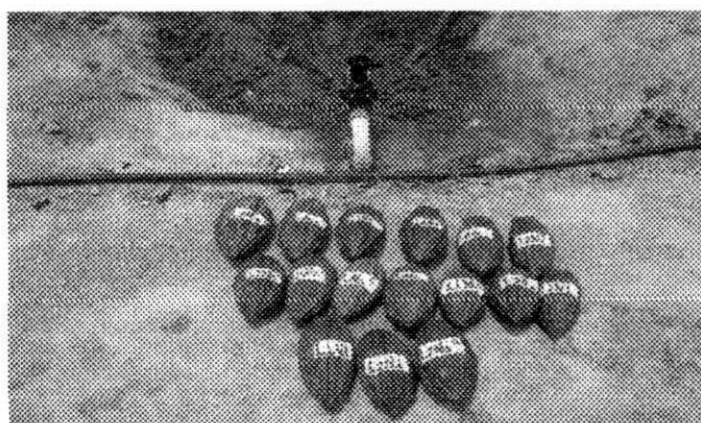
### 3.1.2.12.1. Características de crescimento

Durante o período experimental de 21/11/2009 até 16/06/2011 foram mensuradas ao longo dos dias após transplante para o campo (DAT) as características de crescimento da planta, altura (AP) em cm e o diâmetro do caule (DC) em mm em seis oportunidades: (265DAT), (325DAT), (385DAT), (445DAT), (505DAT) e (565DAT) conforme a Figura 15, sendo a altura medida do nível do solo até a parte basal da última folha com trena de 3 m e o diâmetro do caule no nível do solo com paquímetro de aço 150 mm com precisão de 0,05 mm. Foram encontradas as taxas de crescimento absoluto e relativo das características avaliadas.

### 3.1.2.12. 2. Características de produção

Foram determinadas as seguintes características de produção da planta no período de 20/06/2011 até 08/02/2012: Número de Frutos por Planta (NFP), Comprimento do Fruto (CF), Diâmetro do Fruto (DF), Peso do Fruto (PF), Número de Sementes por Frutos (NSF), Peso da amêndoa por fruto (PAF) e Produção(P), sendo o comprimento do fruto medido com trena de 1 m e o diâmetro do fruto com paquímetro de aço 150 mm com precisão de 0,05 mm o peso dos frutos e amêndoas com balança de precisão com 4 casas decimais e os demais através de contagem direta.

Para a coleta de dados relacionada à variável peso da amêndoa foi necessário expor as sementes a pleno sol durante um período de aproximadamente três dias até que estivesse no ponto de comercialização para depois então se realizar a pesagem. As demais características foram mensuradas assim que retirava o fruto do cacauero.



**Figura 16.** Identificação dos tratamentos nos frutos de cacau . Jequié-BA, 2012.

### 3.1.2.13. Análise estatística e matemática

Os dados foram submetidos análise de variância e regressão com a utilização do software ASSISTAT (2011) e SAS. As superfícies de resposta foram construídas a partir do programa STATISTIC 7.0, sendo determinados os pontos de máximo relativos através das derivadas parciais dos fatores incluídos no modelo obtidos a partir da análise das significâncias dos coeficientes, bem como foram realizados cálculos relacionados ao crescimento relativo das plantas e dos frutos.

**Tabela 7.** Modelo simplificado para análise de variância e regressão dos parâmetros que foram avaliados. Jequié-BA,2012.

Fonte de variação	GL	Estatística F					
		AP (cm)	DC (mm)	NFP	TF (cm)	DF	PF (Kg)
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)						
CV(%)							

Através da função de produção da cultura do cacau para o primeiro ano de produtividade foram determinados os pontos de máximo relativo de produtividade física e econômica.

#### 3.1.2.14. Taxa de crescimento absoluto e relativo.

A taxa de crescimento absoluto é definida como o incremento entre duas amostragens ao longo do ciclo, indicando a velocidade de crescimento da planta. A taxa de crescimento relativo está diretamente relacionada ao tamanho alcançado no período anterior sendo portanto uma função do tamanho inicial quando se observa o início do período de observação. Para o cálculo das taxas absoluto e relativo para a altura e o diâmetro do cacauzeiro foram utilizados as Equações 15 e 16.

$$TCR = \frac{\ln C_F - \ln C_I}{T_F - T_I} \quad (15)$$

$$TCA = \frac{C_F - C_I}{T_F - T_I} \quad (16)$$

Onde:

TCR = taxa de crescimento relativo;

TCA= taxa de crescimento absoluto;

$\ln C_F$  = logaritmo neperiano do comprimento final em (cm);

$\ln C_I$  = logaritmo neperiano do comprimento inicial em (cm);

$C_F$  = comprimento final em (cm);

$C_I$  = comprimento inicial em (cm);

$T_F$  =Tempo final em dias;

$T_I$  =Tempo inicial em dias.

#### 3.1.2.15. Função de produção

A função de produção foi encontrada a partir da análise de regressão entre a variável dependente e as variáveis independentes cujo modelo polinomial do segundo grau é descrito por diversos autores (Frizzone, 1993) no entanto, outros modelos de regressão como o cúbico tem se ajustado bem melhor aos dados para descrever a produtividades de diversas

culturas. Com a utilização dos valores de produtividade de amêndoas de cacau, lâmina de água e doses de nitrogênio foi analisada através das significâncias dos coeficientes e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), três modelos de regressão indicados pela Equação 17, 18 e 19 para duas variáveis independentes.

Um quarto modelo foi proposto (Equação 20), pois os modelos anteriores não apresentaram ser significativamente representativo para as variáveis número de sementes por planta e peso da amêndoa por fruto.

A função de produção de amêndoas de cacau estimada para duas variáveis independentes foi representada pelo modelo de regressão descrito na Equação 18 .

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 + K_4L + K_5L^2 + K_6L^3 + K_7 L.N \quad (17)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 + K_4L + K_5L^2 + K_6 L.N \quad (18)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3L + K_4L^2 + K_5 L.N \quad (19)$$

$$\hat{Y} = K_0 + K_1N + K_2N^2 + K_3N^3 \quad (20)$$

Onde:

$\hat{Y}$  = rendimento máximo estimado de frutos do cacau ( $kg.ha^{-1}$ );

$L$  = lâmina total de água em  $mm$ ;

$N$  = dose de nitrogênio em ( $kg.ha^{-1}$ );

$\hat{R}_0, \hat{R}_1, \hat{R}_2, \hat{R}_3, \hat{R}_4, \hat{R}_5, \hat{R}_6$  e  $\hat{R}_7$  = coeficientes estimados dos modelos de regressão analisados.

Para dois fatores variáveis as condições necessárias para existência de ponto de máximo ou otimização da função de produção são descritas a partir das derivadas parciais da função  $\hat{Y} = f(L, N)$ , ou seja será considerado ponto de máximo se a soma das derivadas parciais de segunda ordem forem negativas e o seu determinante Hessiano maior que zero Equações 21, 22 e 23.

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial L} = 0 \quad \frac{\partial \hat{Y}}{\partial N} = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial^2 L_{(L,N)}} + \frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial^2 N_{(L,N)}} < 0 \quad (22)$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial^2 L} & \frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial L \partial N} \\ \frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial N \partial L} & \frac{\partial^2 \bar{Y}}{\partial^2 N} \end{vmatrix}_{(L,N)} > 0 \quad (23)$$

Satisfeita estas condições o ponto (L, N) é o ponto de máximo da função de produção que foi estimada através da análise de regressão, este valor máximo de lamina de água e dose de nitrogênio são encontrados através da resolução do sistema de equação formado pelas Equações 24 e 25.

$$\frac{\partial \bar{Y}}{\partial L} = K_4 + 2K_5L + K_6N = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\partial \bar{Y}}{\partial N} = K_1 + 2K_2N + 3K_3N^2 + K_6L = 0 \quad (25)$$

### 3.1.2.16. Análise econômica simplificada dos tratamentos

Para o cálculo da receita líquida temos:

$$R_L = R_B - C_T \quad (26)$$

Onde:

$R_B$  = receita bruta em R\$;

$C_T$  = custo total em R\$.

$$R_B = P_Y \cdot \hat{Y} \quad (27)$$

Onde:

$P_Y$  = preço do cacau em (R\$. kg<sup>-1</sup>);

Onde:

$$C_T = C_V + C_F \quad (28)$$

$C_V$  = custo variável R\$;

$C_F$  = custo fixo total em (R\$.  $kg^{-1}$ ).

$$C_V = P_L \cdot L + P_N \cdot N \quad (29)$$

Onde:

$P_L$  = preço da lâmina de água em (R\$.  $mm^{-1} \cdot ha^{-1}$ );

$P_N$  = preço do nitrogênio em (R\$.  $kg^{-1}$ ).

Substituindo as Equações 27, 28 e 29 na Equação 26 encontramos a expressão matemática que fornece o cálculo da receita líquida ( $R_L$ ) em R\$, para as combinações de lâmina de água e doses de nitrogênio.

$$R_L = P_Y \cdot \hat{Y} - P_L \cdot L - P_N \cdot N - C_F \quad (30)$$

Resolvendo o sistema de equação formado pelas Equações 33 e 34 encontramos o ponto ( $L_E, N_E$ ) que será considerado ponto de máximo, ou seja, o ponto que maximiza a receita líquida se obedecer as condições descritas em máximo da função de produção.

$$\frac{\partial R_L}{\partial L} = P_Y \cdot \frac{\partial \hat{Y}}{\partial L} - P_L \quad (31)$$

$$\frac{\partial R_L}{\partial N} = P_Y \cdot \frac{\partial \hat{Y}}{\partial N} - P_N \quad (32)$$

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial L} = K_4 + 2K_5L + K_6N = \frac{P_L}{P_Y} \quad (33)$$

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial N} = K_1 + 2K_2N + 3K_3N^2 + K_6L = \frac{P_N}{P_Y} \quad (34)$$

Os dados utilizados para a análise econômica foram conseguidos da seguinte forma: o preço do cacau fornecido pelos produtores da região foi de R\$ 5,07.kg<sup>-1</sup>; o preço da água segundo Frizonne et al. (1996) pode ser considerado igual ao valor da tarifa de energia elétrica, então o preço de um milímetro de água será dado pelo custo da energia elétrica (R\$)

dividido pela lâmina de água aplicada no período em mm, cujo valor foi de R\$ 0,64mm<sup>-1</sup> ha. Este custo do consumo de energia elétrica foi fornecido pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA).

O custo do nitrogênio foi estimado a partir do preço da uréia ou seja 0,45 kg de nitrogênio por kg de uréia valor de R\$ 2,44 por quilo.

O custo fixo é a soma dos custos de produção mais a amortização anual. Onde os custos de produção, para um ha da cultura do cacau, foram disponibilizados pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura cacauzeira (CEPLAC), Tabela 8.

Na amortização os custos fixo são parcelados para quitação da dívida em um determinado período de vida útil dos equipamentos sendo estes custos acrescidos de uma determinada taxa de juros .

$$C_F = C_p + A \quad (35)$$

Onde:

$C_p$  =custo de produção da cultura em (R\$. ha<sup>-1</sup>) ;

$A$  =amortização anual dos investimentos em (R\$. ha<sup>-1</sup>).

A amortização anual dos investimentos no cultivo cacau irrigado foi estimada com base no princípio de recuperação de capital expresso através da Equação 36.

$$A = I_o \cdot FRC \quad (36)$$

Onde:

$A$  = amortização anual dos investimentos no sistema de irrigação e na terra (R\$. ha<sup>-1</sup>) ;

$I_o$  = investimento no sistema de irrigação e na terra (R\$) ;

$FRC$  = fator de recuperação do capital.

$$FRC = \frac{J \cdot (1+J)^n}{(1+J)^n - 1} \quad (37)$$

Onde:

$J$  = taxa anual de juros, %;

$n$  = vida útil dos equipamentos, ano.

**Tabela 8.** Custos de produção de hum hectare de cacau clonal CCN-51. Jequié-BA,2012.

ITENS DE CUSTO	1º Ano			
	Unidade	Unitário	Quantidade	Valor
<b>1. INSUMOS</b>				
Mudas(enxertada)	Ud	1,00	1429	1429,00
Inseticida	L	31,00	2	62,00
Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Kg	2,18	45	98,10
Potássio - K <sub>2</sub> O	Kg	1,26	20	25,20
Herbicida	L	12,30	3	36,90
Fungicida	Kg	25,00	2	50,00
<b>SUBTOTAL I</b>	<b>R\$</b>			<b>1. 701,20</b>
<b>2. SERVIÇOS</b>				
Limpeza da área	d/H	20,00	4	80,00
Construção de viveiro	d/H	20,00	4	80,00
Enchimento e plantio de sacolas	d/H	20,00	3	60,00
Tratos culturais	d/H	20,00	3	60,00
Abertura das covas	d/H	20,00	3	60,00
Plantio das mudas	d/H	20,00	5	100,00
Roçagem	d/H	20,00	8	160,00
Adubação	d/H	20,00	4	60,00
Combate a pragas	d/H	25,00	2	50,00
Poda de formação	d/H	20,00	1	20,00
Poda de condução e produção	d/H	20,00	1	20,00
Aplicação de herbicidas	d/H	20,00	1	20,00
Colheita	d/H	20,00	2	40,00
<b>SUBTOTAL II</b>	<b>R\$</b>			<b>810,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>R\$</b>			<b>2511,20</b>

Para o cálculo da estimativa da amortização foi considerado o valor dos equipamentos de irrigação localizada para um ha com duas fitas gotejadoras de R\$ 4600,00; um ha de terra nua na Fazenda Velha em Jequié-BA cujo valor estimado é de R\$ 2000,00 mais o preço de construção da casa do conjunto moto bomba de R\$ 400,00 fornecido pela



Agroconsult projetos de irrigação. Foi considerada a taxa de juros de 12% ao ano e vida útil de 10 anos dos equipamentos, valores utilizados na maioria das negociações agrícola e consideraremos o valor zero como o residual no final da vida útil.

### 3.1.2.17. Eficiência no uso de água

A eficiência do uso de água foi determinada pela relação entre a produtividade do cacauzeiro, obtida pela função de produção e dos níveis totais de água (L) para cada tratamento (Equação 38) conforme Doorembos e Kassan (1994):

$$EUA = \frac{P_y}{L} \quad (38)$$

Onde:

EUA= eficiência do uso de água em  $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ;

$P_y$  = a produtividade do cacauzeiro em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

L= a lâmina aplicada em mm.

### 3.1.2.18. Eficiência de uso do nitrogênio (EUN)

A eficiência de uso de nitrogênio é definida como a quantidade de quilos, acrescentado na produção de cacau para cada quilo de nitrogênio adicionado na adubação.

$$EUN = \frac{P_{tr} - P_{te}}{N_t} \quad (39)$$

Onde:

*EUN* - eficiência do uso de nitrogênio para a cultura do cacau, adimensional;

$P_{tr}$ - produtividade no tratamento "t" em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$P_{te}$ - produtividade no tratamento testemunha  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$N_t$ - quantidade de nitrogênio aplicada no tratamento "t" em  $\text{kg ha}^{-1}$

Como  $P_{te}$  não existe temos que:

$$EUN = \frac{P_{tr}}{N_t} \quad (40)$$

Moll et al. (1982) citam expressão matemática semelhante para o cálculo da EUN (Equação 41):

$$EUN = \frac{G_w}{N_s} \quad (41)$$

Onde:

$G_w$  = massa de grãos, kg;

$N_s$  = massa de N aplicado no solo,  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Ambiente protegido

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam a evolução do crescimento em altura, diâmetro e número de folhas das mudas de cacau CCN-51.

As mudas apresentaram altura média de 30,51 cm aos 195 dias após emergência (DAE) e 43,46 cm aos 345 dias após emergência, um crescimento relativo de 42,44 % , (Tabela 9). Adu-Ampomah et al. (2003) trabalhando com cruzamentos de mudas de cacau clonado com 6 meses de idade encontrou para as alturas médias variando de 48,6 a 55 cm. Efron et al. (2003) trabalhando com mudas clonais de cacau originadas de porta-enxerto verificaram aos 3; 6 e 9 meses após semeadura alturas de 32,9cm; 46,9cm e 54 cm, respectivamente.

**Tabela 9.** Evolução da altura média das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA,2012.

DAE	Altura (cm)			
	Média	CV(%)	Mín	Máx
195	30,51	3,17	29,1	32,2
269	37,83	5,19	34,10	40,60
345	43,46	5,70	38,10	47,40

Os valores do diâmetro caulinar das mudas avaliadas em 195, 269 e 345 DAE corresponderam a 7,1; 8,2 e 9,1 mm, respectivamente. Apresentando um crescimento relativo de 15,59 % e 10,21 % de 195 a 269 DAE e de 269 a 345 DAE, respectivamente (Tabela 10). Frazão et al. (1984) trabalhando com mudas de cacau comum, em casa de vegetação, encontrou diâmetros médios de 1,7 e 5 mm aos 30 e 165 dias de idade apresentando uma crescimento relativo de 96%. Estes mesmos autores também identificaram um crescimento linear para esta característica de crescimento.

Efron et al. (2003) trabalhando com mudas clonais de cacau originadas de porta-enxerto verificaram aos 3, 6 e 9 meses após semeadura valores de diâmetro caulinar de 3; 6,3 e 10,1 mm, respectivamente. Souza Junior e Carmello (2008), analisando mudas de cacau

clonados por estaquia com 145 dias de vida, encontraram o diâmetro caulinar médio das mudas de 3,92 mm.

**Tabela 10.** Evolução do diâmetro médio das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA,2012.

DAE	Diâmetro (mm)			
	Média	CV(%)	Mín	Máx
195	7,12	2,00	3,80	7,40
269	8,23	4,09	7,80	9,00
345	9,07	4,46	8,5	9,9

**Tabela 11.** Evolução do número de folhas média das mudas de cacau CCN-51. Jequié-BA,2012.

DAE	Número de folhas			
	Média	CV(%)	Mín	Máx
195	8,88	6,31	8,10	10,30
269	12,14	9,55	10,7	14,8
345	17,04	3,79	14,1	21,6

Observa-se que para os três períodos da avaliação das mudas aos 195, 269 e 345 dias após emergência, foram encontrados em média 8,9; 12,1 e 17,0 folhas por planta respectivamente, (Tabela 11). Ao longo do período experimental, os crescimentos relativos ao número médio de folhas aos 269 dias em relação aos 195 dias e aos 345 dias em relação aos 269 dias, foram de 36,71% e 40,36%, respectivamente.

Souza et al. (2008), trabalhando com diversos clones de cacau, inclusive utilizando o clone CCN-51, irrigado, com substrato composto de mistura solo: areia: matéria orgânica na proporção 3:1, encontraram valores médios do número de folhas de 12 unidades com 150 dias de idade e de 15 folhas aos 270 dias de idade; estas médias apresentaram diferenças significativas em relação as médias dos clones PH-16 e PS-1319. Da mesma forma, Santos e Ribeiro (2008), pesquisando mudas de cacau clonado sob irrigação e com substrato preparado com argila, areia e esterco caprino, na proporção de 3:1:1, apresentou para o clone CCN-51, aos 270 dias de crescimento, o número médio de 15 folhas, imediatamente inferior o das mudas de PH-16 e PS-1319.

Almeida e Chaves (2010), encontraram um crescimento linear para os parâmetros número de folhas, diâmetro e altura da planta de mudas de cacau CCN-51 e um incremento de 93%, 27% e 24% aos 336 dias em relação a 234 dias de idade.

## **4.2. Ambiente Natural.**

### **4.2.1. Crescimento da planta**

Os níveis de água (L) aplicados neste estudo afetou significativamente a altura das plantas, com probabilidade ( $0,01 < p < 0,05$ ) na avaliação 6, nas demais avaliações realizadas estes níveis não mostraram influência sob esta característica de crescimento, conforme a Tabela 12. Estes níveis de água influenciaram no crescimento do diâmetro caulinar em todas as avaliações realizadas com exceção da avaliação 4 que apresentou resultado não significativo com probabilidade ( $0,01 < p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ), de acordo a Tabela 13.

Um aumento nos níveis de nitrogênio (N), levou a um aumento significativo ( $p < 0,01$ ) nas características de crescimento avaliadas: altura das plantas e diâmetro do caule, que foram significativamente afetados nos níveis estudados para todas as avaliações realizadas de acordo as Tabelas 12 e 13. Os resultados da interação entre L e N não afetaram significativamente as características analisadas (Tabela 12 e 13).

Os modelos de regressão que melhor representaram a evolução da altura da planta e do diâmetro do caule em função das lâminas de água nas 6 avaliações realizadas foram os lineares e para as doses de nitrogênio foram os quadráticos (Tabela 12 e 13).

**Tabela 12.** Resumo da análise de variância e regressão da variável altura de planta (AP) em (cm) em 6 avaliações, submetidas às lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié BA, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6
Bloco	3	16,88 <sup>ns</sup>	33,83 <sup>ns</sup>	56,89 <sup>ns</sup>	21,61 <sup>ns</sup>	55,20 <sup>ns</sup>	87,10 <sup>ns</sup>
L	3	48,27 <sup>ns</sup>	91,38 <sup>ns</sup>	139,17 <sup>ns</sup>	218,30 <sup>ns</sup>	214,85 <sup>ns</sup>	312,24*
N	3	321,24**	319,88**	433,70**	558,16**	719,56**	980,57**
LxN	9	27,05 <sup>ns</sup>	43,81 <sup>ns</sup>	73,62 <sup>ns</sup>	142,13 <sup>ns</sup>	131,78 <sup>ns</sup>	139,66 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	30,43	40,32	52,91	84,60	91,19	79,74
CV (%)		7,01	6,96	6,38	6,92	6,21	5,5
Lâminas (L)							
Regressão Linear	1	35,53 <sup>ns</sup>	62,38**	80,25*	111,66*	127,20*	211,79**
Regressão Quadrática	1	0,55 <sup>ns</sup>	3,73 <sup>ns</sup>	21,00 <sup>ns</sup>	12,82 <sup>ns</sup>	28,56 <sup>ns</sup>	20,63 <sup>ns</sup>
Regressão Cúbica	1	0,11 <sup>ns</sup>	2,41 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	39,25 <sup>ns</sup>	5,38 <sup>ns</sup>	6,26 <sup>ns</sup>
Níveis Nitrogênio (N)							
Regressão Linear	1	91,16*	33,18 <sup>ns</sup>	28,55 <sup>ns</sup>	18,94 <sup>ns</sup>	172,58 <sup>ns</sup>	358,07*
Regressão Quadrática	1	118,61**	187,78**	255,33*	372,45*	362,98*	372,17**
Regressão Cúbica	1	31,17 <sup>ns</sup>	18,95 <sup>ns</sup>	41,39 <sup>ns</sup>	27,24 <sup>ns</sup>	4,11 <sup>ns</sup>	5,19 <sup>ns</sup>
Lâminas (L) em mm							
		Médias					
L1 (1384,52)		80,44	93,56	115,72	134,80	156,00	165,84
L2 (1653,22)		79,63	92,07	116,80	137,03	157,19	166,00
L3 (1922,52)		78,07	91,34	113,61	130,47	153,11	161,07
L4 (2193,91)		76,52	87,92	111,06	129,11	148,95	156,66
Níveis de Nitrogênio (N) em kg. ha <sup>-1</sup>							
		Médias					
N1(318,30)		78,80	93,20	116,98	136,80	154,40	160,62
N2 (405,80)		73,00	85,69	107,31	125,79	146,90	156,22
N3 (493,10)		78,88	89,90	112,82	130,27	151,20	158,93
N4 (580,60)		83,96	96,09	119,13	138,55	162,76	173,82

Ns; \*; \*\*; não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

**Tabela 13.** Resumo da análise de variância e regressão da variável Diâmetro do caule (DC) em (mm) em 6 avaliações, submetidas as lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié BA, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	DC6
Bloco	3	1,70 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	3,05 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	2,73 <sup>ns</sup>	6,60 <sup>ns</sup>
L	3	9,35*	16,34**	13,46*	36,31 <sup>ns</sup>	40,85**	40,81*
N	3	15,44**	16,42**	12,95*	87,39**	45,42**	78,22**
LxN	9	1,81 <sup>ns</sup>	4,04 <sup>ns</sup>	6,00 <sup>ns</sup>	23,77 <sup>ns</sup>	7,72 <sup>ns</sup>	18,69 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	2,68	3,40	4,36	19,10	8,83	11,92
CV (%)		7,68	7,46	6,73	11,19	6,53	6,63
Lâminas (L)							
Regressão Linear	1	6,32**	12,20**	9,74**	16,21 <sup>ns</sup>	28,40**	29,05**
Regressão Quadrática	1	0,53 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	6,31 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>
Regressão Cúbica	1	0,16 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	4,71 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
Níveis Nitrogênio (N)							
Regressão Linear	1	3,79*	0,72 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>ns</sup>	34,47**	20,11*	39,03*
Regressão Quadrática	1	7,74**	11,45*	6,80 <sup>ns</sup>	25,56**	12,80 <sup>ns</sup>	13,51 <sup>ns</sup>
Regressão Cúbica	1	0,038 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	5,51 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	6,12 <sup>ns</sup>
Lâminas (L) em mm							
		Médias					
L1 (1384,52)		22,03	25,93	31,90	40,00	46,86	53,55
L2 (1653,22)		21,65	25,03	31,51	39,39	46,54	53,14
L3 (1922,52)		21,36	24,40	30,80	39,95	45,14	51,58
L4 (2193,91)		20,25	23,53	29,81	36,82	43,35	50,05
Níveis de Nitrogênio (N) em kg.ha <sup>-1</sup>							
		Médias					
N1(318,30)		21,39	25,24	31,12	38,07	44,74	50,63
N2 (405,80)		20,34	23,91	30,14	37,91	44,44	51,29
N3 (493,10)		20,91	23,84	30,54	37,65	44,72	51,03
N4 (580,60)		22,65	25,90	32,21	42,54	47,99	55,37

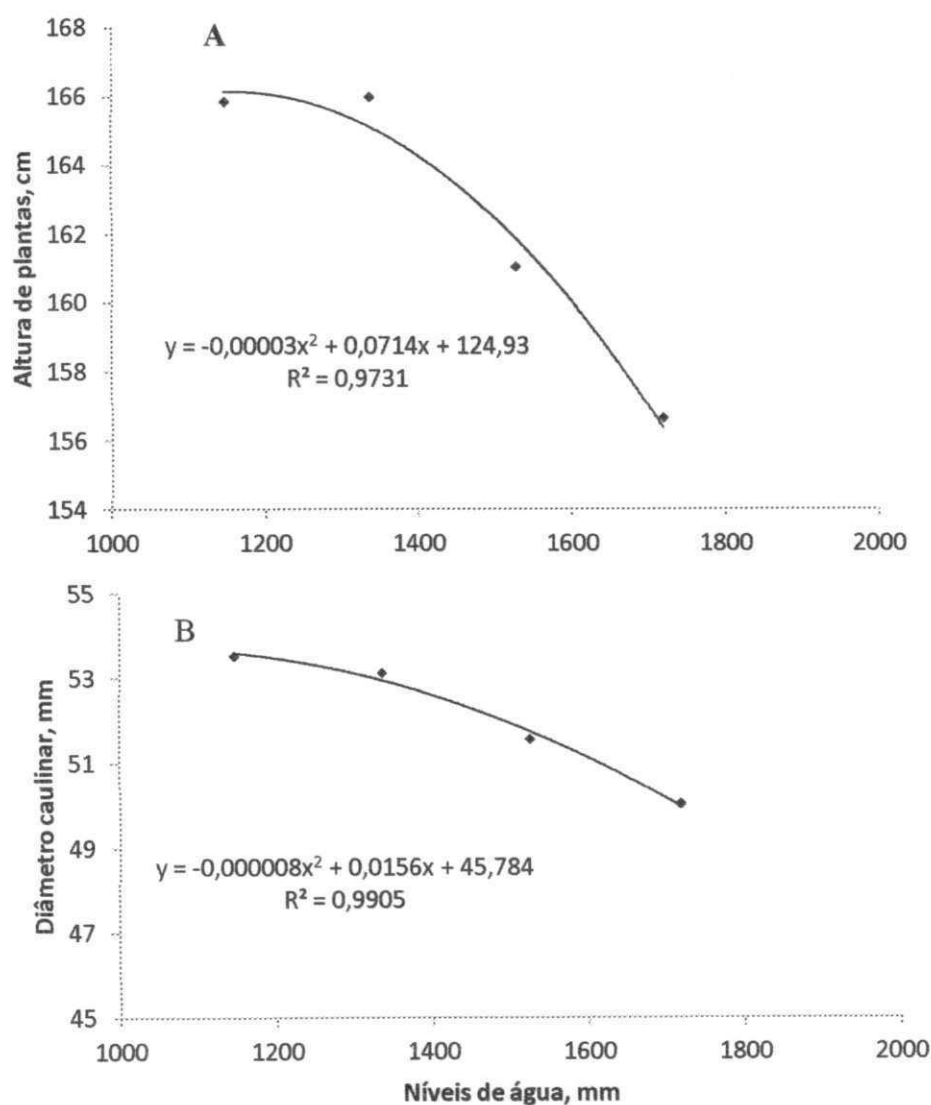
Ns; \* ; \*\*; não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

A altura das plantas e diâmetro do caule foram significativamente afetados pelos níveis de água descritos por uma regressão quadrática (Figura 17A e 17B). Abdoellah e Notoradiningrat (1993), também encontraram uma regressão linear como sendo significativa para o crescimento do diâmetro do caule do cacauzeiro ao analisar a influência de Al / K + Ca + Mg no crescimento das plantas.



No entanto, os valores de altura da planta em função dos níveis de água variam desde 165,86 cm a 156,66 cm (Figura 17 A), ou seja, o aumento da quantidade de água de irrigação de 1146,35 milímetros para 1717,58 milímetros, reduziu na altura da planta em 5,5% . Da mesma forma, o aumento na água de irrigação diminuiu o diâmetro do caule (Figura 17B), em 6,54%, considerando a maior e a menor quantidade de água aplicada na irrigação.

A plantação de cacau irrigado na região do semiárido é uma inovação, pois não tem ainda informações precisas sobre a irrigação e gestão da produção. Efeito da irrigação na produção de cacau depende principalmente da quantidade e distribuição das chuvas.



**Figura 17.** Altura de plantas (A) e diâmetro caulinar (B) em relação aos níveis de água. Jequié-BA, 2012.

De acordo com Purdy e Schmidt (1996), a altura de cacau, pode variar de 5 a 8 m tendo uma precipitação variando de 1250 a 2800 milímetros por ano. PROAMAZONIA (2004) e Gramacho et al. (1992), cita valores semelhantes de precipitação para o crescimento máximo da planta. Dias e Resende (2001) e Abdul-Karimu et al. (2003) descobriram que a planta de cacau com dois anos de idade, nas regiões do cultivo tradicional da coca apresenta os valores médios do diâmetro do caule e a altura das plantas de 32,7 mm e 150 cm, respectivamente.

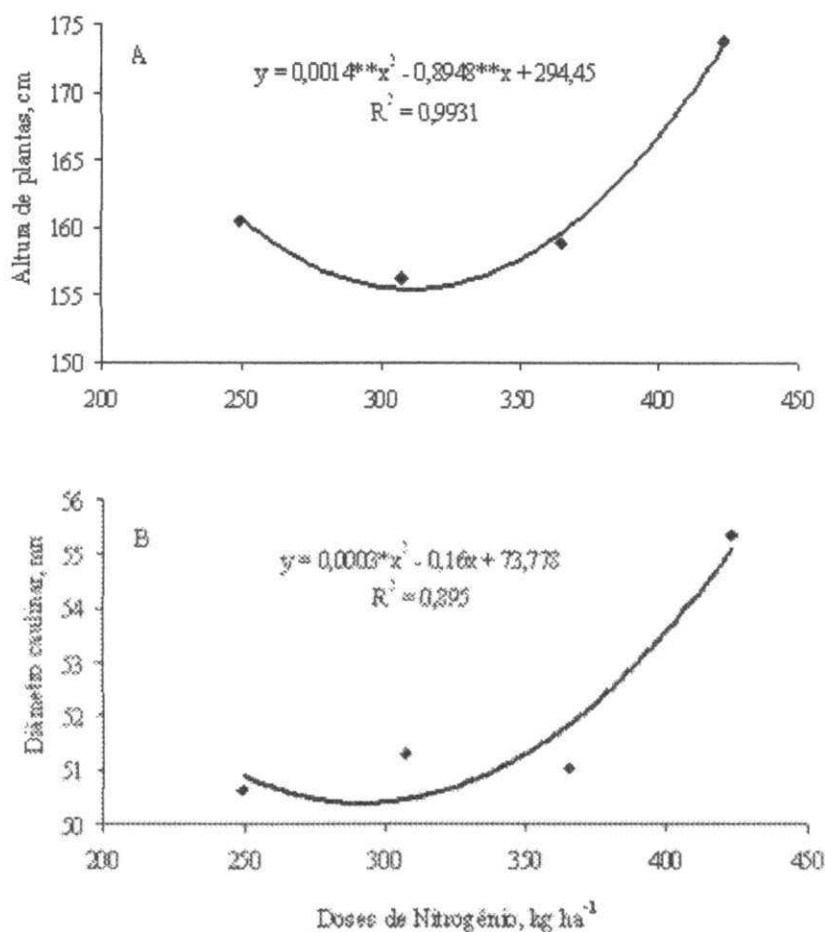
Segundo Braudeau (1970), o cacau é suscetível ao estresse causado pela falta de umidade no solo, entretando, vários autores concluíram que a irrigação nas condições semi-áridas do Brasil podem ser de caráter complementar, desde que os níveis de umidade do solo sejam ideais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, a aplicação de muita água no solo afeta o desenvolvimento do cacau.

Uma regressão polinomial descreve a relação dos níveis de nitrogênio em relação a altura de planta e o diâmetro do caule representando a contribuição da adubação nitrogenada sobre o crescimento destas características estudadas na area experimental (Figuras 18 A e 18 B). O nitrogênio é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas e Chepote et al. (2005) concordou que esta é a base da fertilização de nutrientes de cacau. Os resultados deste estudo mostraram que o incremento do nível de nitrogênio aumentou a altura das plantas e o diâmetro do caule.

A altura da planta variou de 160,62 a 173,82 cm (Figura 18 A) e o diâmetro do caule variou de 50,63 a 55,37 mm (Figura 18 B) com aplicação de 249,31 e 422,9 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente, com aproximadamente 535 dias após transplante para o campo. Houve um aumento na altura da planta e no diâmetro do caule de 8,22% e 9,36%, respectivamente, em relação ao aumento de 69,63% de nitrogênio.

Souza Junior e Carmello (2008), estudando os efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de mudas de cacau observaram que a altura das plantas e diâmetro do caule responderam significativamente a um acréscimo quadrático de nitrogênio. Em vez disso, Leite (2006), estudando o crescimento em diâmetro e altura média de cacau para 630 dias submetidos a irrigação, descobriu um aumento linear do diâmetro e altura das plantas a partir do terceiro mês após o plantio, com o valor do diâmetro do caule e a altura da planta de 35,8 milímetros e 190,6 cm, respectivamente.

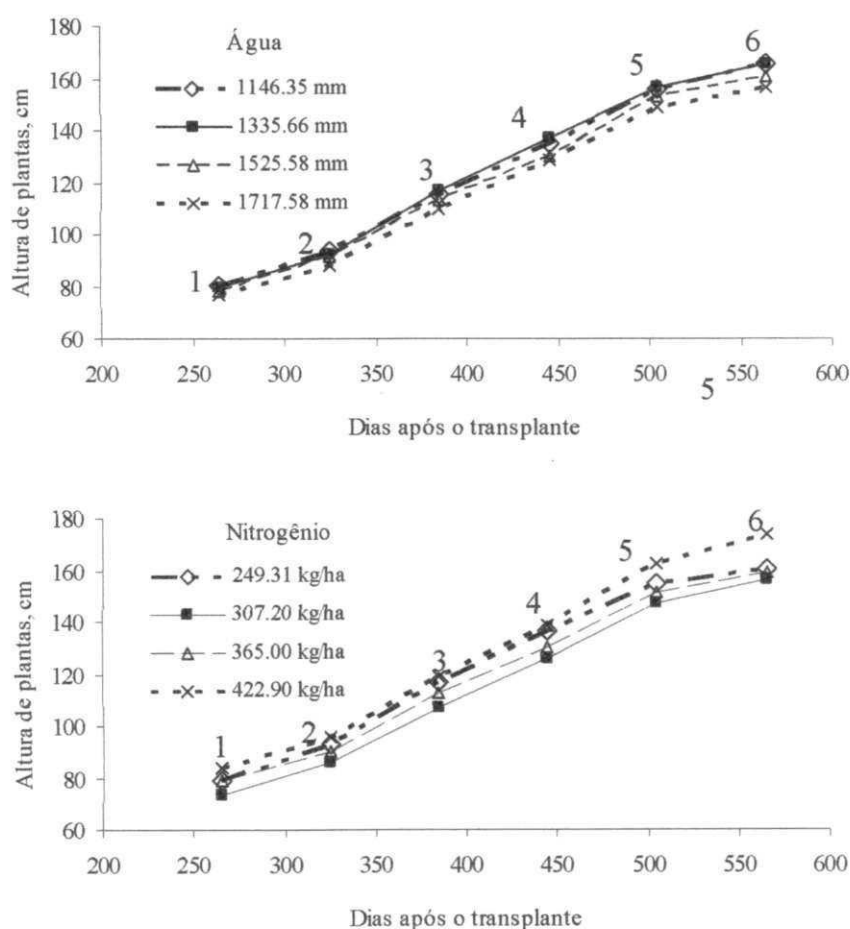
Chepote et al. (2005), estudando planta de cacau com 24 meses de idade e aplicando uma fertilização de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 30-90-30, mostraram um diâmetro de 28,5 mm e uma altura de 181,7 cm.



**Figura 18.** Altura de plantas (A) e diâmetro caulinar (B) com relação as doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

Os perfis sigmóides para a altura da planta variável como uma função dos dias após o transplante (DAT) são mostrados na Figura 19 corroborando Benincasa (2003) que encontrou um perfil semelhante para esta característica de crescimento.

As maiores taxas de crescimento absoluto e relativo da altura da planta, ocorrida no intervalo de 325 até 385 dias após o transplante, correspondendo a  $0,41 \text{ cm.dia}^{-1}$  e  $0,0040 \text{ (cm.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1})$ , obtida com 1335,66 mm de água (Tabela 14). O nitrogênio promoveu um incremento máximo absoluto na altura da planta de  $0,40 \text{ cm.dia}^{-1}$  dos 445 dias até 505 dias após o transplante para o campo com aplicação de  $422,90 \text{ kg.ha}^{-1}$  (Tabela 14).



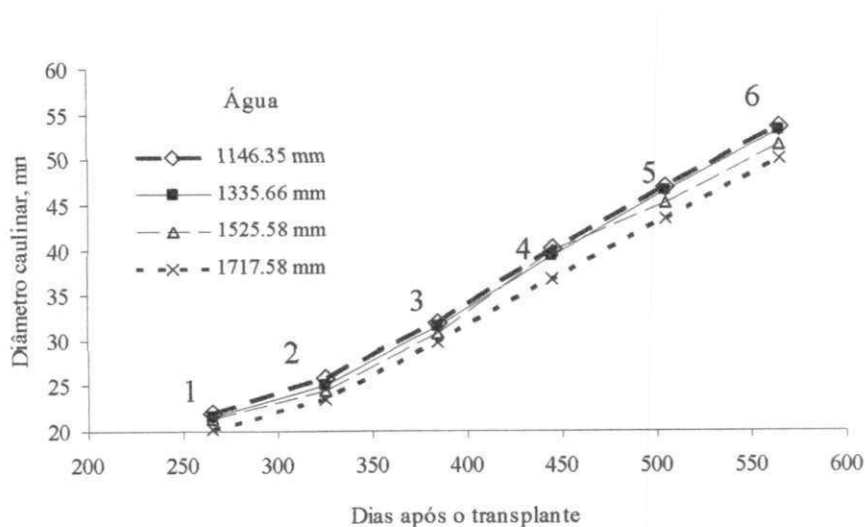
**Figura 19.** Altura das plantas submetidas aos diferentes tratamentos com água e nitrogênio em função do tempo. Jequié-BA, 2012.

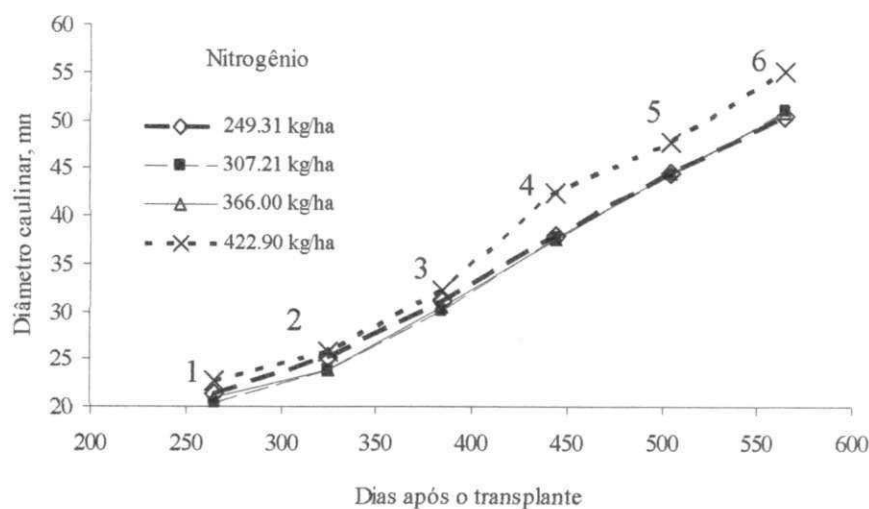
**Tabela 14.** Taxa de crescimento absoluto (TCA) em (cm.dia<sup>-1</sup>) e taxa de crescimento relativo (TCR) em (cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) da altura da planta . Jequié-BA, 2012.

Níveis	1---2		2---3		3---4		4---5		5---6	
	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR
L1	0,22	0,0025	0,37	0,0035	0,32	0,0025	0,35	0,0024	0,16	0,0010
L2	0,21	0,0024	0,41	0,0040	0,34	0,0027	0,34	0,0023	0,15	0,0009
L3	0,22	0,0026	0,37	0,0036	0,28	0,0023	0,38	0,0027	0,13	0,0008
L4	0,19	0,0023	0,37	0,0038	0,32	0,0027	0,33	0,0024	0,13	0,0008
N1	0,24	0,0028	0,04	0,0038	0,33	0,0026	0,29	0,0020	0,10	0,0007
N2	0,21	0,0027	0,36	0,0037	0,31	0,0026	0,35	0,0026	0,16	0,0010
N3	0,18	0,0022	0,38	0,0038	0,29	0,0024	0,35	0,0025	0,13	0,0008
N4	0,20	0,0022	0,38	0,0036	0,32	0,0025	0,40	0,0027	0,18	0,0011

Os perfis de sigmóides para o diâmetro do caule em função dos dias após o transplante (DAT) são mostrados na Figura 20, apresentando semelhança com os perfis encontrados para a altura da planta.

A maior taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule ocorreu no intervalo de 385 dias até 445 dias após o transplante, correspondendo a 0,17 cm.dia<sup>-1</sup> obtida com 1717,58 mm de água (Tabela 15). O nitrogênio promoveu um incremento máximo relativo no diâmetro do caule de 0,0043 (cm.cm<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) no intervalo de 385 dias até 445 dias após o transplante com aplicação de 366,00 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 15).





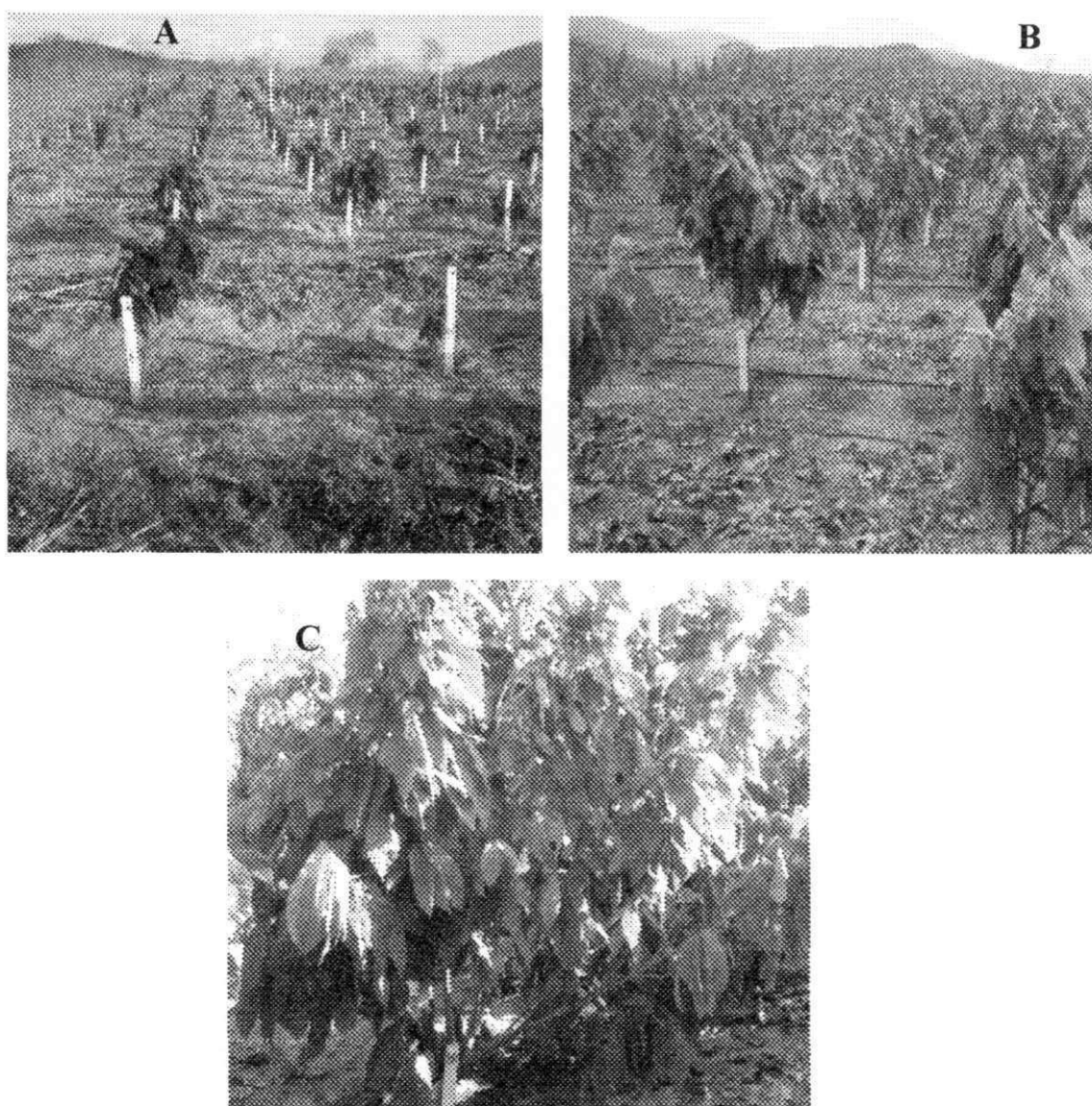
**Figura 20.** Diâmetro caulinar das plantas submetidas aos diferentes tratamentos com água e nitrogênio em função do tempo. Jequié-BA, 2012.

**Tabela 15.** Taxa de crescimento absoluto (TCA) em ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) e Taxa de crescimento relativo (TCR) em ( $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) do diâmetro do caule. Jequié-BA, 2012.

Níveis	1---2		2---3		3---4		4---5		5---6	
	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR	TCA	TCR
L1	0,06	0,0028	0,10	0,0035	0,12	0,0034	0,11	0,0027	0,10	0,0021
L2	0,06	0,0027	0,10	0,0039	0,13	0,0038	0,11	0,0026	0,11	0,0024
L3	0,05	0,0022	0,11	0,0041	0,12	0,0035	0,12	0,0029	0,11	0,0022
L4	0,05	0,0022	0,11	0,0036	0,17	0,0046	0,09	0,0020	0,12	0,0024
N1	0,06	0,0027	0,10	0,0035	0,14	0,0038	0,11	0,0026	0,11	0,0022
N2	0,06	0,0024	0,11	0,0038	0,13	0,0037	0,12	0,0028	0,11	0,0022
N3	0,05	0,0022	0,11	0,0039	0,15	0,0043	0,09	0,0020	0,11	0,0022
N4	0,05	0,0025	0,10	0,0039	0,12	0,0035	0,11	0,0027	0,11	0,0024

#### 4.2.2. Fase inicial da produção

Três estágios de desenvolvimento do cacaueteiro no campo chegando até o início da fase produtiva quando os frutos foram analisados nos diversos aspectos proposto na metodologia deste trabalho são mostrados na Figura 21.



**Figura 21.** Evolução das plantas de cacau CCN-51 até a fase produtiva. A-8 meses no campo; B-18 meses no campo; C-27 meses no campo. Jequié-BA, 2012.

De acordo com a análise de variância e regressão, a produção e o número de frutos por plantas sofreram influência significativamente com ( $0,01 < p < 0,05$ ) em função dos níveis de água (L) aplicados. Já os níveis de nitrogênio (N), levou a um aumento significativo ( $p < 0,01$ ) nestas características além das variáveis número de sementes por fruto, peso da amendoa e número de frutos por planta (Tabela 16).

Os resultados da interação entre o lâminas de água e doses de nitrogênio afetaram significativamente as características analisadas de produção e número de sementes por fruto ao nível de ( $p < 0,01$ ) e peso da amendoa e o número de frutos por planta foi afetado com probabilidade de  $0,01 < p < 0,05$  (Tabela 16).

Para as variáveis comprimento do fruto, diâmetro do fruto e peso do fruto foram realizados simulações de modelos de regressão, no entanto, nenhum destes modelos apresentou significância estatística dos coeficientes de regressão ao nível de ( $0,01 < p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ), ficando estas características melhor representadas pelas suas médias, cujos valores foram de 19,41 cm; 85,97mm e 567,34g respectivamente. Brito e Silva (1983), ao estudar frutos do cacau clonal SIAL-105 encontraram frutos de cacau aos 180 dias de idade com comprimento iguais a 10,37cm e diâmetro de 8,30 cm.

Schroeder (1958) estudando o crescimento estacionário do fruto de cacau na Costa Rica observou que o crescimento dimensional considerando comprimento e diâmetro segue uma curva sigmóide e que o crescimento em comprimento é mais proeminente que o diâmetro. Porém, a partir de 10 cm o crescimento em diâmetro se torna relativamente maior do que o longitudinal, o que está associado a grandes mudanças internas do tecido tais como, o rápido desenvolvimento do embrião e a presença de material cotiledonário.

Apesar de não ser necessário um estudo mais detalhado através dos desdobramentos dos fatores lâmina de água e níveis de nitrogênio por se tratar de fatores quantitativos (água e nitrogênio) em mais de dois níveis, a metodologia mais apropriada para este estudo seria através de análise de regressão com a utilização de superfícies de resposta, entretanto, para se verificar a influência de um fator sobre o outro dentro de cada nível foi realizado o desdobramento para as características que tiveram efeito significativo na interação (Tabela 17 e Tabela18).



**4.3.1. Tabela 16.** Resumo da análise de variância e regressão das variáveis produção (P), comprimento do fruto(C), diâmetro do fruto (D), peso do fruto (PF), número de sementes por fruto(NSF), peso da amêndoa por fruto(PAF) e média de frutos por planta(NFP), submetidas as lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

FV	GL	Quadrado Médio						
		P, kg.ha <sup>-1</sup>	C, cm	D, mm	PF, g	NSF	PAF, g	NFP
Blocos	3	121079.31 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	34,74 <sup>ns</sup>	3248,43 <sup>ns</sup>	41,43 <sup>ns</sup>	187,48 <sup>ns</sup>	9,91 <sup>ns</sup>
Lâminas (L)	3	216732.75*	2,19 <sup>ns</sup>	40,89 <sup>ns</sup>	3049,80 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	125,87 <sup>ns</sup>	23,12*
Nitrogênio(N)	3	718877.94**	0,36 <sup>ns</sup>	46,13 <sup>ns</sup>	6167,24 <sup>ns</sup>	5,30**	467,74**	84,01**
L x N	9	148070.16**	2,91 <sup>ns</sup>	50,02 <sup>ns</sup>	8508,48 <sup>ns</sup>	4,27**	242,72*	17,36*
Tratamentos	15	275964.24**	2,26 <sup>ns</sup>	52,82 <sup>ns</sup>	6948,50 <sup>ns</sup>	83,5**	264,35**	31,84**
Resíduo	45	51957.79	1,41	61,23	5237,47	22,34	87,27	7,19
CV(%)		37,09	6,11	9,10	12,76	11,86	16,67	35,76
L linear	1	50991,87**	0,20 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	76,87 <sup>ns</sup>	2,69 <sup>ns</sup>	4,40 <sup>ns</sup>	5,25*
L quadrático	1	81088,26**	1,42 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	2109,53 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	7,6**
L cúbico	1	38690,09*	0,53 <sup>ns</sup>	25,08 <sup>ns</sup>	35,72 <sup>ns</sup>	7,09 <sup>ns</sup>	66,45 <sup>ns</sup>	4,45*
N linear	1	371240,38**	0,17 <sup>ns</sup>	3,64 <sup>ns</sup>	1288,82 <sup>ns</sup>	8,46 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>	55,15*
N quadrático	1	670,03 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	6,61 <sup>ns</sup>	193,35 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
N cúbico	1	175041,41*	0,01 <sup>ns</sup>	24,33 <sup>ns</sup>	3143,79 <sup>ns</sup>	80,06*	336,2**	8,17 <sup>ns</sup>

Ns; \*; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% (0.01 < p < 0.05) e 1% (p < 0.01) de probabilidade, respectivamente.

Os desdobramentos das variáveis que apresentaram significância na interação estão apresentados nas Tabelas 17 e 18 para a variação das lâminas de água dentro dos níveis de nitrogênios utilizados e das doses de nitrogênio dentro dos níveis de água.

As variáveis produção e média de frutos por planta sofreram efeito significativo das lâminas de água na dose (N1) (Tabela 17). Este efeito está melhor representado a partir do modelo de regressão linear (Figura 22 A e Figura 22 C). Através da utilização destes modelos de regressão foram encontrados percentuais de decréscimo na produção e na média de frutos por planta na ordem de 82,69% e 81,52% respectivamente, considerando a lâmina de água maior cujo valor foi 2193,91mm e a menor de 1384,52 mm. Ao acrescentar maiores quantidades de água dentro destes níveis de nitrogênio, a planta tem sua capacidade produtiva afetada. As demais características avaliadas não apresentaram significância para nenhum dos modelos de regressão testados.

Para a variação das lâminas de água no nível de nitrogênio (N3) (Figura 22 B) apenas a produtividade sofreu influência sendo o modelo de regressão quadrático o que melhor representa esta variação. Pelo modelo houve um pequeno decréscimo de 2% ao variar as lâminas de água de 1384,52 mm para 2193,91 mm.

A Tabela 18 e Figura 23A, Figura 23B, Figura 23C, Figura 23D e Figura 23E mostram as variações do nitrogênio dentro de cada nível de água os dados se ajustaram melhor ao modelo linear e quadrático.

A produção de amêndoas sofreu aumento linear com a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, sendo sua variação de 82% dentro da lamina L3 e 81,1% na L4 ao se adicionar 45% a mais de nitrogênio.

O número de sementes por fruto não sofreu incremento ao aumentar as doses de nitrogênio dentro dos níveis L3 e L4 (Figura 21C). O peso das amêndoas sofreu um aumento de 34,58 % e 21% ao se elevar as quantidades de nitrogênio de 318,3 kg ha<sup>-1</sup> para 580,60 kg ha<sup>-1</sup> nos níveis de água L3 e L4, respectivamente (Figura 23<sup>a</sup>).

O número de frutos por planta que foi o mais afetado entre os parâmetros variando de 70,75% no nível L3 para 80,55 no L4 ao se aumentar as doses de 318,3 kg ha<sup>-1</sup> para 580,60 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que no nível L4 houve significância para o modelo quadrático.

**Tabela 17.** Resumo da análise de regressão nos desdobramento das variáveis que apresentaram significância estatística em função das variações de lâminas de água dentro doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

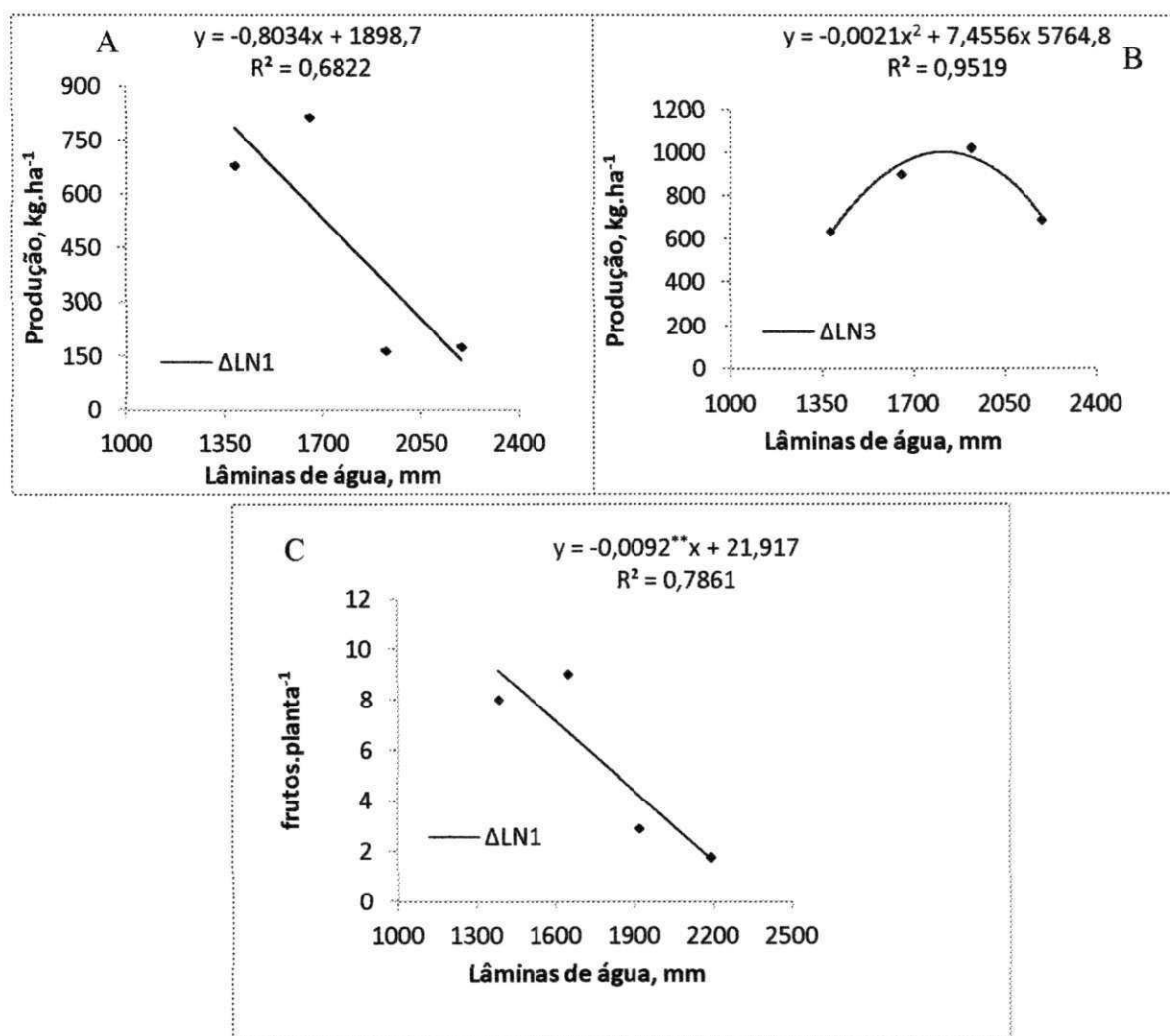
Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		P, kg.ha <sup>-1</sup>	NSF	PAF, g	MFP
<b><math>\Delta LN_1</math></b>					
Reg. Linear	1	939434,70**	93,58 <sup>ns</sup>	78,6 <sup>ns</sup>	123,50**
Reg. Quadrática	1	15640,25 <sup>ns</sup>	140,97 <sup>ns</sup>	475,62 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>
<b><math>\Delta LN_2</math></b>					
Reg. Linear	1	155542,12 <sup>ns</sup>	82,25 <sup>ns</sup>	237,99 <sup>ns</sup>	17,77 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	1656,12 <sup>ns</sup>	54,21 <sup>ns</sup>	23,32 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	23399,51 <sup>ns</sup>	20,83 <sup>ns</sup>	164,69 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b><math>\Delta LN_3</math></b>					
Reg. Linear	1	17205,53 <sup>ns</sup>	22,24 <sup>ns</sup>	35,98 <sup>ns</sup>	6,44 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	356819,71*	45,71 <sup>ns</sup>	150,23 <sup>ns</sup>	25,25 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	19440,85 <sup>ns</sup>	14,85 <sup>ns</sup>	81,19 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b><math>\Delta LN_4</math></b>					
Reg. Linear	1	24221,30 <sup>ns</sup>	3,70 <sup>ns</sup>	16,51 <sup>ns</sup>	2,63 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	60798,97 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	4,04 <sup>ns</sup>	9,46 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	4350,56 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	53,22 <sup>ns</sup>	5,78 <sup>ns</sup>

Ns; \*; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

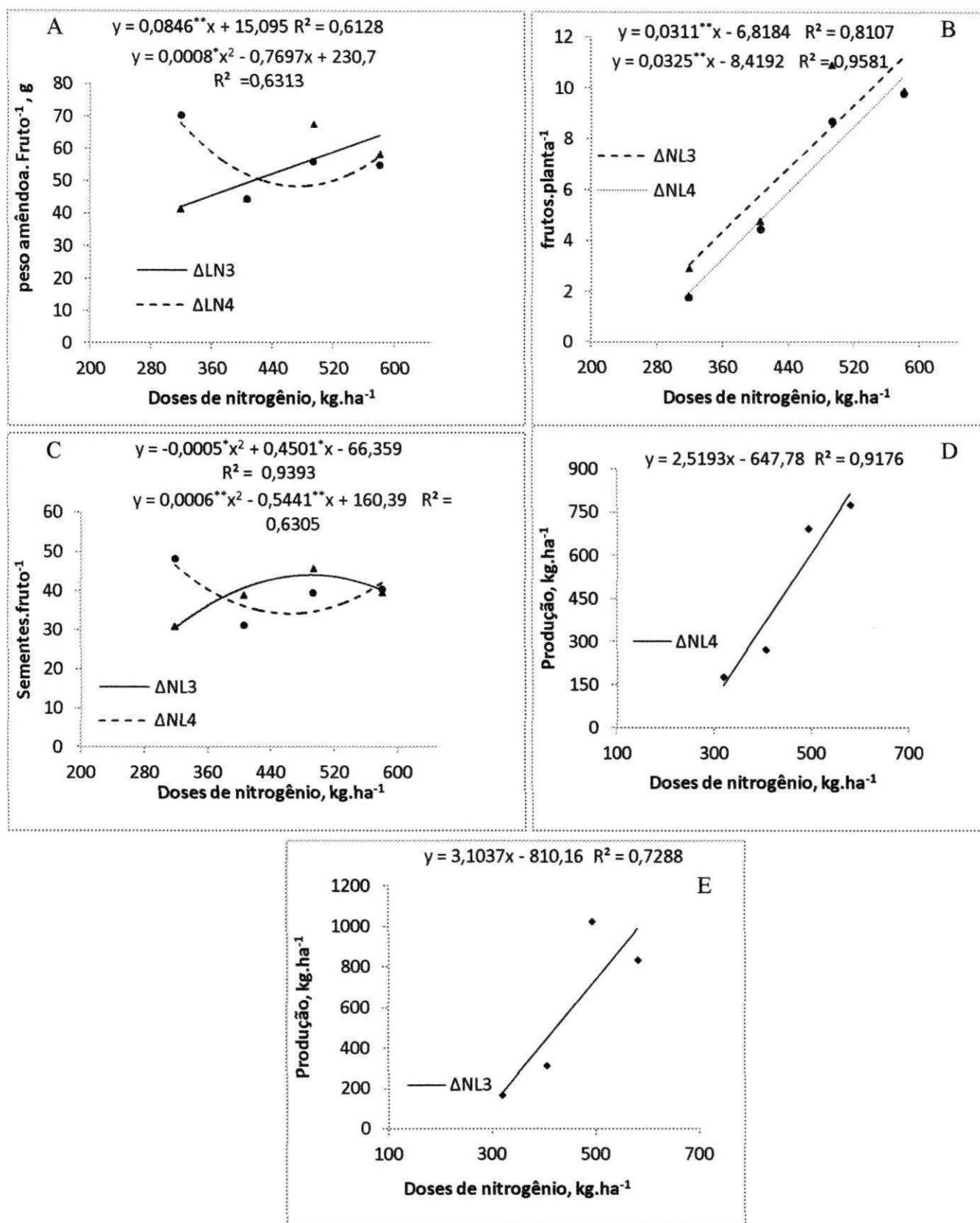
**Tabela 18.** Resumo da análise de regressão nos desdobramento das variáveis que apresentaram significância estatística em função da variações das doses de nitrogênio dentro dos níveis de água. Jequié-BA, 2012.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		P, kg.ha <sup>-1</sup>	NSF	PAF, g	MFP
<b>ΔNL<sub>1</sub></b>					
Reg. Linear	1	548,45 <sup>ns</sup>	25,93 <sup>ns</sup>	1,57 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	39451,91 <sup>ns</sup>	30,90 <sup>ns</sup>	14,18 <sup>ns</sup>	3,71 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	36931,53 <sup>ns</sup>	37,79 <sup>ns</sup>	214,83 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
<b>ΔNL<sub>2</sub></b>					
Reg. Linear	1	44458,81 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	143,2 <sup>ns</sup>	21,32 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	65655,45 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	11,46 <sup>ns</sup>	17,02 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	275469,90 <sup>ns</sup>	96,76 <sup>ns</sup>	173,75 <sup>ns</sup>	17,96 <sup>ns</sup>
<b>ΔNL<sub>3</sub></b>					
Reg. Linear	1	1473129,03 <sup>**</sup>	216,28 <sup>*</sup>	1094,14 <sup>**</sup>	147,43 <sup>**</sup>
Reg. Quadrática	1	114015,33 <sup>ns</sup>	197,08 <sup>*</sup>	154,13 <sup>ns</sup>	8,12 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	433157,27 <sup>*</sup>	26,63 <sup>ns</sup>	536,02 <sup>*</sup>	26,22 <sup>ns</sup>
<b>ΔNL<sub>4</sub></b>					
Reg. Linear	1	978497,99 <sup>**</sup>	43,90 <sup>ns</sup>	237,86 <sup>ns</sup>	161,60 <sup>**</sup>
Reg. Quadrática	1	186,31 <sup>ns</sup>	321,82 <sup>**</sup>	617,56 <sup>*</sup>	2,48 <sup>ns</sup>
Reg. Cúbica	1	89008,92 <sup>ns</sup>	214,43 <sup>ns</sup>	500,09 <sup>ns</sup>	4,56 <sup>ns</sup>

Ns; \*; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% (0.01 < p < 0.05) e 1% (p < 0.01) de probabilidade, respectivamente.



**Figura 22.** Desdobramento para a variável produção e frutos por planta para as variações de lâminas de água nas doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.



**Figura 23.** Desdobramento para a variável peso da amêndoa por fruto, frutos por planta, numero de sementes por fruto e produção, para as variações de doses de nitrogênio nos níveis de água. Jequié-BA, 2012.

#### 4.2.2.1. Análise das variáveis número de sementes por fruto, peso da amêndoa por fruto e número de frutos por planta.

As Tabelas 19, 20 e 21 mostram os valores médios das variáveis número de sementes por fruto, peso da amêndoa por fruto e número de frutos por planta para os tratamentos aplicados em campo. Os maiores valores em média alcançado por estas variáveis foram de: 48,25; 70,50 e 11,18 respectivamente. Coral et al. (1968), analisando os híbridos de cacau, entre o terceiro e quarto ano de produção, IMC 67 x TSAN 792 encontrou o número de sementes por fruto de 40 e o peso médio das sementes por fruto de 42 g, o ICS 1 x IMC apresentou uma média de 42 sementes por fruto e 49 g para o peso médio das sementes por fruto. Souza et al. (1996) encontrou uma produção média de 16,6 frutos por planta seis anos após o plantio.

Os percentuais de crescimento relativo do número de sementes por fruto e peso da amêndoa em 11,18 frutos de cacau foram de 55,64% e 69,87% respectivamente, quando da utilização do tratamento L4N1 em relação ao tratamento L3N1. Verifica-se uma diminuição do número de frutos por planta (Tabela 21), ao se aplicar o tratamento L4N1 com decréscimo de 528,09% em relação ao tratamento L2N4.

**Tabela 19.** Número de sementes por fruto para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.

Nitrogênio	Lâmina				Média
	1	2	3	4	
1	37,19	42,56	31,00	48,25	39,75
2	38,35	37,97	39,00	31,25	36,64
3	43,62	44,22	45,75	39,59	43,29
4	39,23	39,32	39,71	40,53	39,70
Média	39,60	41,02	38,87	39,91	39,85

**Tabela 20.** Peso da amêndoa (g) por fruto para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.

Nitrogênio	Lâmina				Média
	1	2	3	4	
1	56,50	63,69	41,50	70,50	58,05
2	52,10	56,81	44,75	44,63	49,57
3	62,22	62,97	67,68	56,18	62,26
4	54,06	52,71	58,51	55,15	55,11
Média	56,22	59,05	53,11	56,61	56,25

**Tabela 21.** Número de frutos por planta para os tratamentos aplicados em campo. Jequié-BA, 2012.

Nitrogênio	Lâmina				Média
	1	2	3	4	
1	8,03	9,03	2,93	1,78	5,44
2	7,15	6,10	4,78	4,45	5,62
3	7,15	9,98	10,93	8,73	9,19
4	8,20	11,18	9,93	9,83	9,78
Média	7,63	9,07	7,14	6,19	7,51

#### 4.2.2.1.1. Modelos de regressão

A tabela 22, 23 e 24 mostram os valores das significância dos coeficientes dos modelos em relação ao teste t de Student, todas as variáveis incluídas no modelo apresentaram resultado muito significativo com erro de 1% com exceção dos coeficientes de N, N<sup>2</sup> e N<sup>3</sup>, cuja significância ocorreu para um erro de 5%. Podendo, assim todos, os coeficientes serem incluídos nos modelos de regressão. Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) foram relativamente baixos sendo estes de 0,58; 0,54 e 0,60 para as variáveis número de sementes por fruto, peso da amêndoa por fruto e número de frutos por planta respectivamente, contudo, pela significância dos coeficientes os modelos de regressão são validados.

**Tabela 22.** Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta número de sementes.fruto<sup>-1</sup>. Jequié-BA, 2012.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	451,72	0,0017**
N	-2,93	0,0035**
N <sup>2</sup>	0,0067	0,0032**
N <sup>3</sup>	-0,000005	0,0031**

\*\*; significância ao nível de 1% (p < 0.01) de probabilidade.



**Tabela 23.** Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta peso das amêndoas.fruto<sup>-1</sup>. Jequié-BA, 2012.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	919.79255	0.0006**
N	-6.07707	0.0012**
N <sup>2</sup>	0.01384	0.0012**
N <sup>3</sup>	-0.00001024	0.0013**

\*\*; significância aos nível de 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade.

**Tabela 24.** Significância dos coeficientes do modelo de regressão para a superfície de resposta número de frutos.planta<sup>-1</sup>. Jequié-BA, 2012.

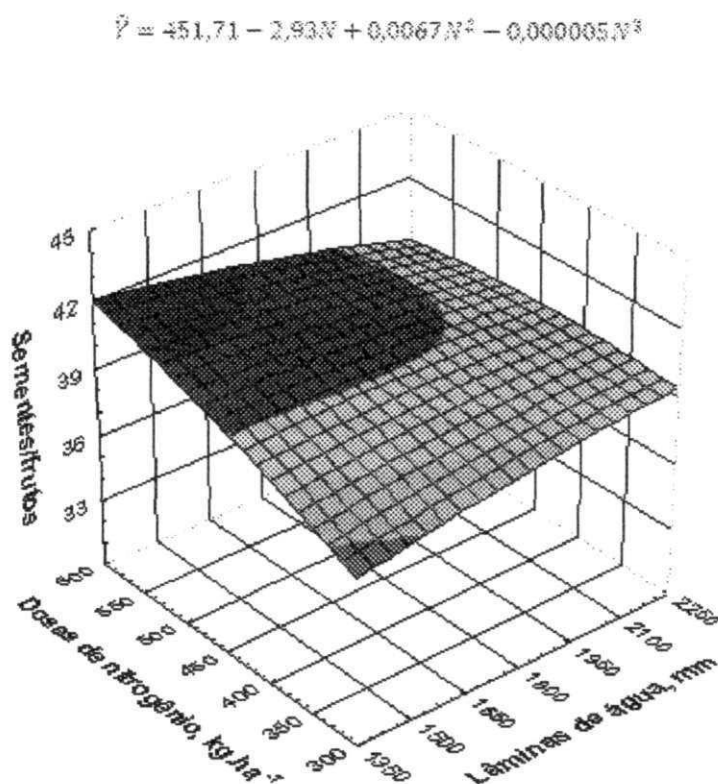
Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	173.46757	0.0114*
N	-1.01054	0.0323*
N <sup>2</sup>	0.00216	0.0435*
N <sup>3</sup>	-0.00000159	0.0446*
L	-0.02147	0.0002**
L x N	0.00004260	0.0006**

\* ; \*\*; significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

#### 4.2.2.1.2. Superfície de resposta

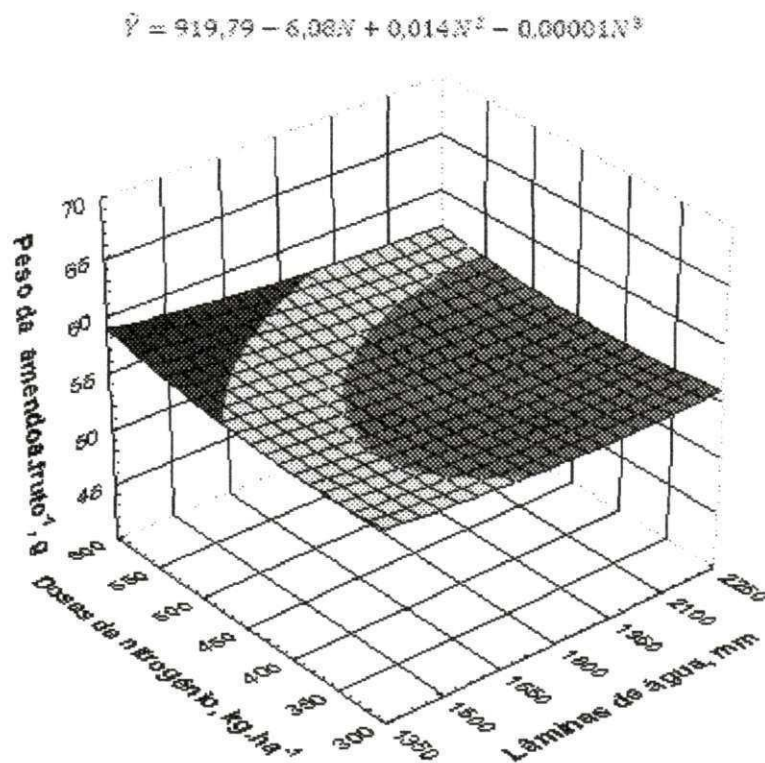
As características que apresentaram equações de regressão com coeficientes significativos tem suas superfícies de resposta apresentadas nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

A superfície de resposta (Figura 24) apresentou um modelo cúbico como significativo para a variável número de sementes por fruto, sendo o nitrogênio o único fator a influenciar sobre esta variável, a superfície de resposta gerada mostra um crescimento linear do numero de sementes em função das doses de nitrogênio aplicadas. De acordo com o modelo de regressão utilizado o número de sementes por fruto sofreu um incremento de 16,78% a medida que a quantidades de nitrogênio passou de 318,30 kg ha<sup>-1</sup> para 580 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 24.** Número de sementes média em frutos de cacau clonal CCN-51 em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

O nitrogênio provocou um aumento linear no peso da amêndoa ao passar da menor dose de  $318,30 \text{ kg ha}^{-1}$  para a maior de  $580 \text{ kg ha}^{-1}$ . Através do modelo de regressão utilizado houve um ganho no peso de 47% para um aumento de 45,12% de nitrogênio. Pela superfície de resposta (Figura 25) a medida que se aumenta o nitrogênio o ganho em peso de amêndoa de cacau é muito pequeno; este fato se deve a pouca variação do peso de uma unidade de amêndoa do clone CCN-51 que é de aproximadamente 2g em média.



**Figura 25.** Peso médio(g) da amêndoa do fruto de cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio Jequié-BA, 2012.

O efeito da interação entre os fatores lâmina de água e nitrogênio se mostrou significativo para o número de frutos por planta com probabilidade ( $P < 0,01$ ) e o modelo de regressão utilizado (Figura 26) é considerado altamente significativo, conforme a significância dos coeficientes (Tabela 24).

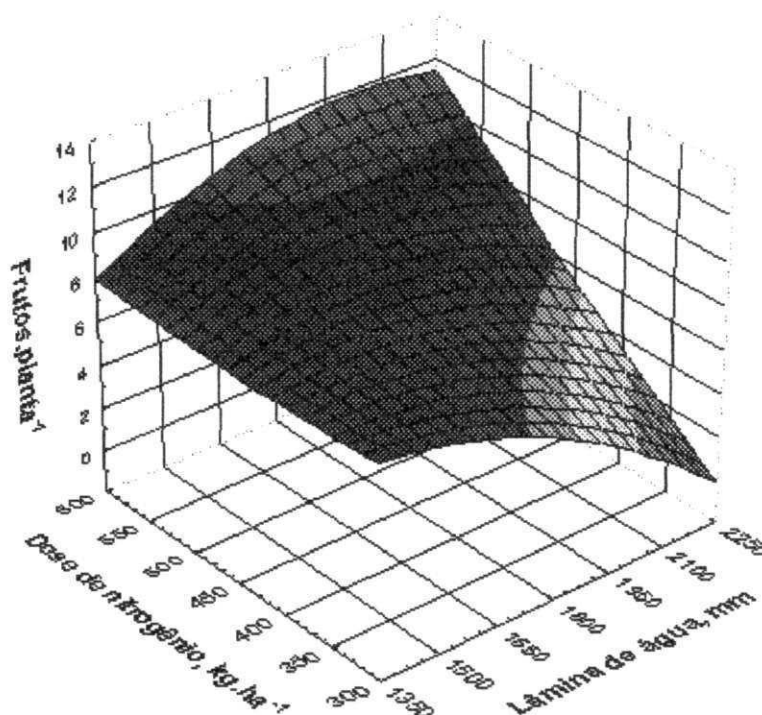
A superfície de resposta mostra uma tendência linear em relação as doses de nitrogênio e quadrática em relação as lâminas de água aplicadas (Figura 26).

A maior quantidade de frutos médios por planta foi encontrado para o tratamento L3N3 cujo valor médio encontrado foi de 11,01 frutos por planta. Valores inferiores foram encontrados por Souza Junior (1997), Gramacho et al. (1992) e Silva Neto (2001) para em regiões tradicionais; estes pesquisadores encontraram a partir do quarto ano de plantio uma produção média de 4,5 frutos planta<sup>-1</sup>, contudo essa produção aumenta com a idade do plantio alcançando o equilíbrio a partir do décimo ano uma produção de 28 a 35 frutos planta<sup>-1</sup>.

Leite (2006) encontrou uma produção média por planta considerando apenas aquelas que entraram em produção de 3 frutos planta<sup>-1</sup>, com destaque para os clones CCN 51 e PH 16 com 4,9 e 3,5 frutos planta<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 21 meses do plantio. Os dados da produção obtidos revelaram que o cacaueteiro apresentou precocidade de até 2 anos comparado

com as regiões tradicionais. Nestas regiões segundo Seagri (2012) o cacauero começa a produzir a partir de 3 anos de idade

$$\hat{Y} = 173,46 - 1,01N + 0,0067N^2 - 0,0000016N^3 - 0,022L + 0,000043NL$$



**Figura 26.** Frutos.plantas<sup>-1</sup>, do cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

#### 4.2.2.2. Análise de oito meses de produção

A Tabela 25 mostra a relação de equivalência entre a produtividade do cacau clonal CCN-51 em kg ha<sup>-1</sup> e seu equivalente em arroba.ha<sup>-1</sup> e em frutos ha<sup>-1</sup>. A maior produtividade de 1025,69 kg ha<sup>-1</sup> obtida com o tratamento L3N3 teve seu equivalente de 68,38 arroba.ha<sup>-1</sup> o que corresponde a utilização de 15,20 frutos para que se obtenha um quilograma de amêndoas para comercialização, valor este compatível com o estimado para produzir um quilograma em regiões tradicionais.

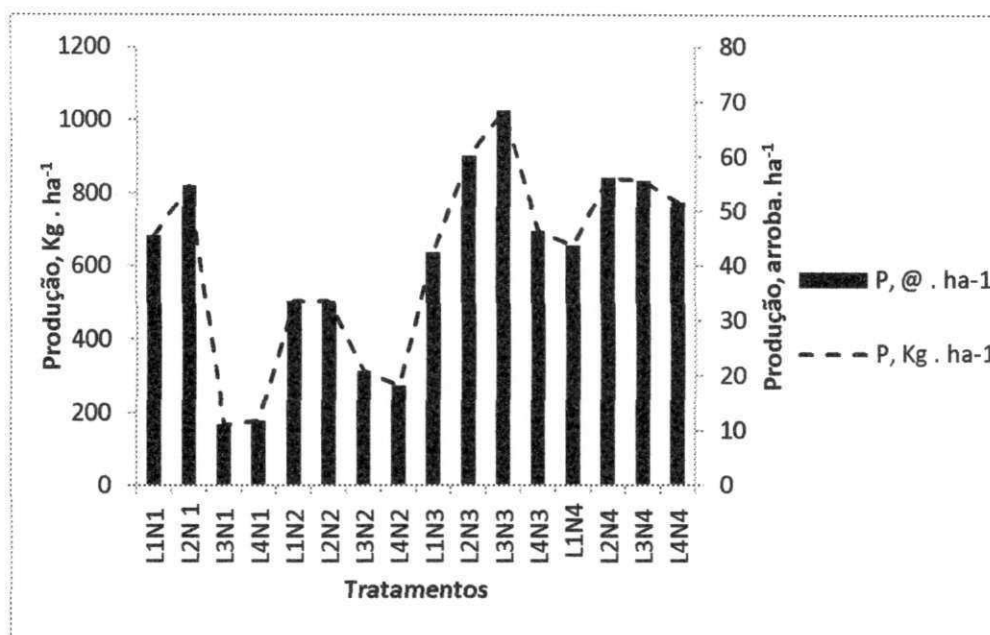
A Figura 27 mostra a produtividade nas unidades de medida agrícola que são as mais utilizadas na comercialização do cacau a nível nacional e internacional. Pelo perfil gráfico

verifica-se uma menor produtividade para os tratamentos L3N1 e L4N1 com produção de 11,13 arroba. ha<sup>-1</sup> e 11,87 arroba. ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Nos perímetros irrigados do Vale do São Francisco, durante um ciclo produtivo em 10 anos de produção considerada uma produtividade média anual de 200 arroba. ha<sup>-1</sup> (aproximadamente 3000 Kg). Esta produtividade é baseada na média de produção das áreas experimentais do CEPLAC (Begiato et al., 2009). Produtividade esta alcançada ao longo dos anos pois segundo Mi (2006) o cacaueteiro alcança seu ideal produtivo em torno de 35 anos. Ainda para este autor o início da produção econômica ocorre a partir do quinto ano após o plantio. Corroborando com esta ideia Dias et al. (1998) relataram que as médias das produções exibiram tendência de aumento com o avanço na idade dos cacaueteiros e grande variabilidade entre os anos.

**Tabela 25.** Produção do cacaueteiro em kg.ha<sup>-1</sup> e seu equivalente em arroba.ha<sup>-1</sup> e frutos.ha<sup>-1</sup>. Jequié-BA, 2012.

TRATAMENTOS	Água	Nitrogênio	Kg.ha <sup>-1</sup>	arroba.ha <sup>-1</sup>	fruto.ha <sup>-1</sup>
L1N1	1384,52	318,30	683,04	45,54	11471,66
L2N 1	1653,22	318,30	819,28	54,62	12900,26
L3N1	1922,52	318,30	166,90	11,13	4185,80
L4N1	2193,91	318,30	178,07	11,87	2542,91
L1N2	1384,52	405,80	503,02	33,53	10214,49
L2N2	1653,22	405,80	503,59	33,57	8714,46
L3N2	1922,52	405,80	312,79	20,85	6828,71
L4N2	2193,91	405,80	272,67	18,18	6357,27
L1N3	1384,52	493,10	637,18	42,48	10214,49
L2N3	1653,22	493,10	902,82	60,19	14257,43
L3N3	1922,52	493,10	1025,69	68,38	15614,60
L4N3	2193,91	493,10	693,99	46,27	12471,68
L1N4	1384,52	580,60	655,78	43,72	11709,60
L2N4	1653,22	580,60	843,37	56,22	15971,75
L3N4	1922,52	580,60	833,92	55,59	14185,99
L4N4	2193,91	580,60	774,93	51,66	14043,14



**Figura 27.** Produção do cacaueteiro em kg.ha<sup>-1</sup> e seu equivalente em arroba.ha<sup>-1</sup>. Jequié-BA, 2012.

#### 4.2.2.2.1. Função de produção

Foram testados três modelos de regressão para a variável produção de amêndoas em kg ha<sup>-1</sup>, conforme metodologia do trabalho. As Tabelas 26, 27 e 28 mostram as significâncias dos coeficientes dos modelos que foram analisados. O modelo 1 apresentou o efeito de L, L<sup>2</sup> e L<sup>3</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade através do teste t de Student, (Tabela 26), apresentando coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,86.

O modelo 2, descrito na metodologia, cujos coeficientes se apresentam na Tabela 27, mostrou-se ser o modelo de regressão mais confiável pois apresentou todos os coeficientes significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t de Student, com exceção do coeficiente de L que permaneceu no modelo pois L<sup>2</sup> foi significativo apresentando o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,83 ou seja um bom ajuste dos dados analisados.

Foi testado o modelo de regressão 3, apresentando uma formatação de segundo grau construído a partir da retirada do efeito N<sup>3</sup> mesmo este efeito sendo significativo, os resultados da significância dos coeficientes se apresentam na Tabela 28. Contudo este novo modelo de regressão apresentou todos os coeficientes não significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, com exceção da interação cujo valor de p foi igual a 0,0019

portanto significativo a 5% de probabilidade, este modelo apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,66.

**Tabela 26.** Significância dos coeficientes do modelo 1 de regressão para a superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	1323,84	0,9247 <sup>ns</sup>
N	-143,75331	0,0007*
N <sup>2</sup>	0,31591	0,0011*
N <sup>3</sup>	-0,00023366	0,0011*
L	34,11272	0,1251 <sup>ns</sup>
L <sup>2</sup>	-0,01955	0,1210 <sup>ns</sup>
L <sup>3</sup>	0,00000348	0,1377 <sup>ns</sup>
L x N	0,00370	0,0007*

Ns; \* ; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

**Tabela 27.** Significância dos coeficientes do modelo 2 de regressão para a superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	20331	0,0013*
N	-143,75331	0,0008*
N <sup>2</sup>	0,31591	0,0012*
N <sup>3</sup>	-0,00023366	0,0012*
L	1,20192	0,4516 <sup>ns</sup>
L <sup>2</sup>	-0,00086238	0,0458*
L x N	0,00370	0,0008*

Ns; \* ; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade,

respectivamente

**Tabela 28.** Significância dos coeficientes do modelo 3 de regressão para a superfície de resposta produção. Jequié-BA, 2012.

Elementos da equação	Parâmetros estimados	Pr >  t
Intercepto	762,96690	0,6909 <sup>ns</sup>
N	-5,81146	0,1954 <sup>ns</sup>
N <sup>2</sup>	0,00084621	0,8472 <sup>ns</sup>
L	1,20192	0,4885 <sup>ns</sup>
L <sup>2</sup>	-0,00086238	0,0654 <sup>ns</sup>
L x N	0,00370	0,0019 <sup>*</sup>

Ns; \* ; \*\*, não significância e significância aos níveis de 5% ( $0.01 < p < 0.05$ ) e 1% ( $p < 0.01$ ) de probabilidade, respectivamente.

Através do modelo de regressão selecionado apresentado na Figura 28, foi calculado os valores de lâmina de água e dose de nitrogênio que proporcionam o máximo rendimento físico da produção sendo estes de 1926,23 mm e 560,70 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para esta combinação ótima foi estimado um valor de 1649,23 kg ha<sup>-1</sup> ou 109,95 arroba.ha<sup>-1</sup> de amêndoas seca de cacau. Valor superior 46,75% que o máximo observado em campo de 1025,69 kg ha<sup>-1</sup> ou 68,38 arroba.ha<sup>-1</sup> para o tratamento L3N3.

A combinação econômica ótima de água e nitrogênio encontrada a partir da equação de regressão (Figura 28), foi de 1832,69 mm e 552,86 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, proporcionando 1637,40 kg ha<sup>-1</sup> ou 108,60 arroba.ha<sup>-1</sup> de amêndoas seca de cacau.

#### 4.2.2.2.2. Superfície de resposta

A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para identificar a lâmina de água e a dose de nitrogênio que proporcionou o máximo rendimento físico para tal foram utilizadas as derivadas parciais em relação aos fatores presentes na função de produção.

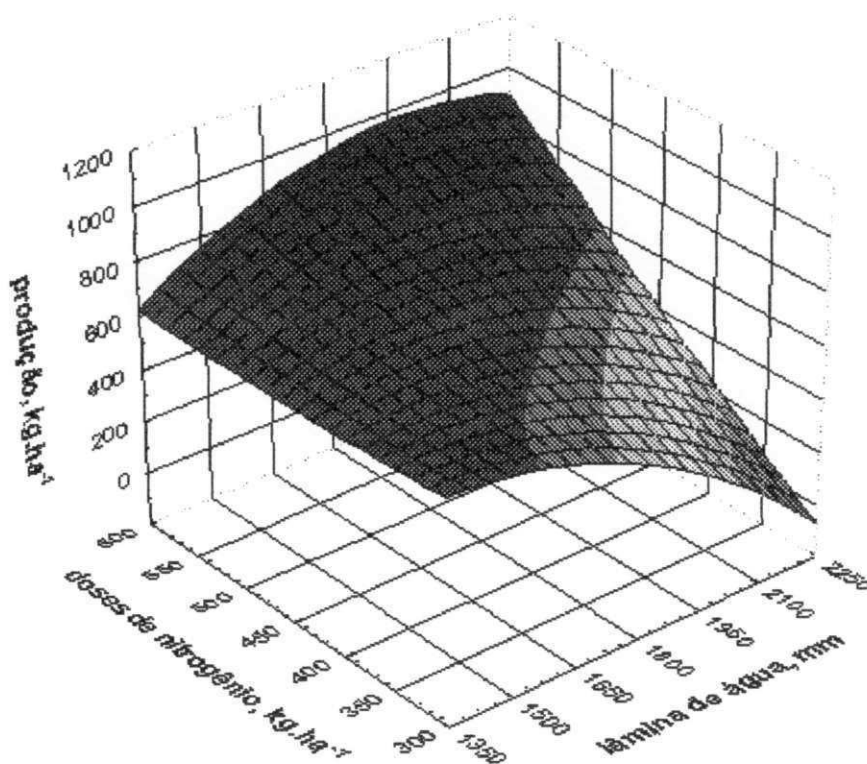
A superfície de resposta gerada a partir dos dados obtidos em campo segue uma característica linear em relação às doses de nitrogênio e quadrática em relação as lâminas de



água. O perfil de curvatura na superfície de resposta (Figura 28) identifica que ocorreu um ponto de máxima produção de cacau para comercialização que aumenta com o incremento do nível de nitrogênio aplicado e se mostra crescente até uma quantidade de água que a planta consegue absorver e a partir do qual toda lâmina excedente provoca uma queda dos níveis produtivos.

A superfície de resposta mostra uma tendência a um aumento linear em relação às doses de nitrogênio, ou seja, quanto mais nitrogênio acrescento ao solo na mesma proporção tenho maior produção e um decremento quadrático da produção em relação as lâminas de água aplicadas.

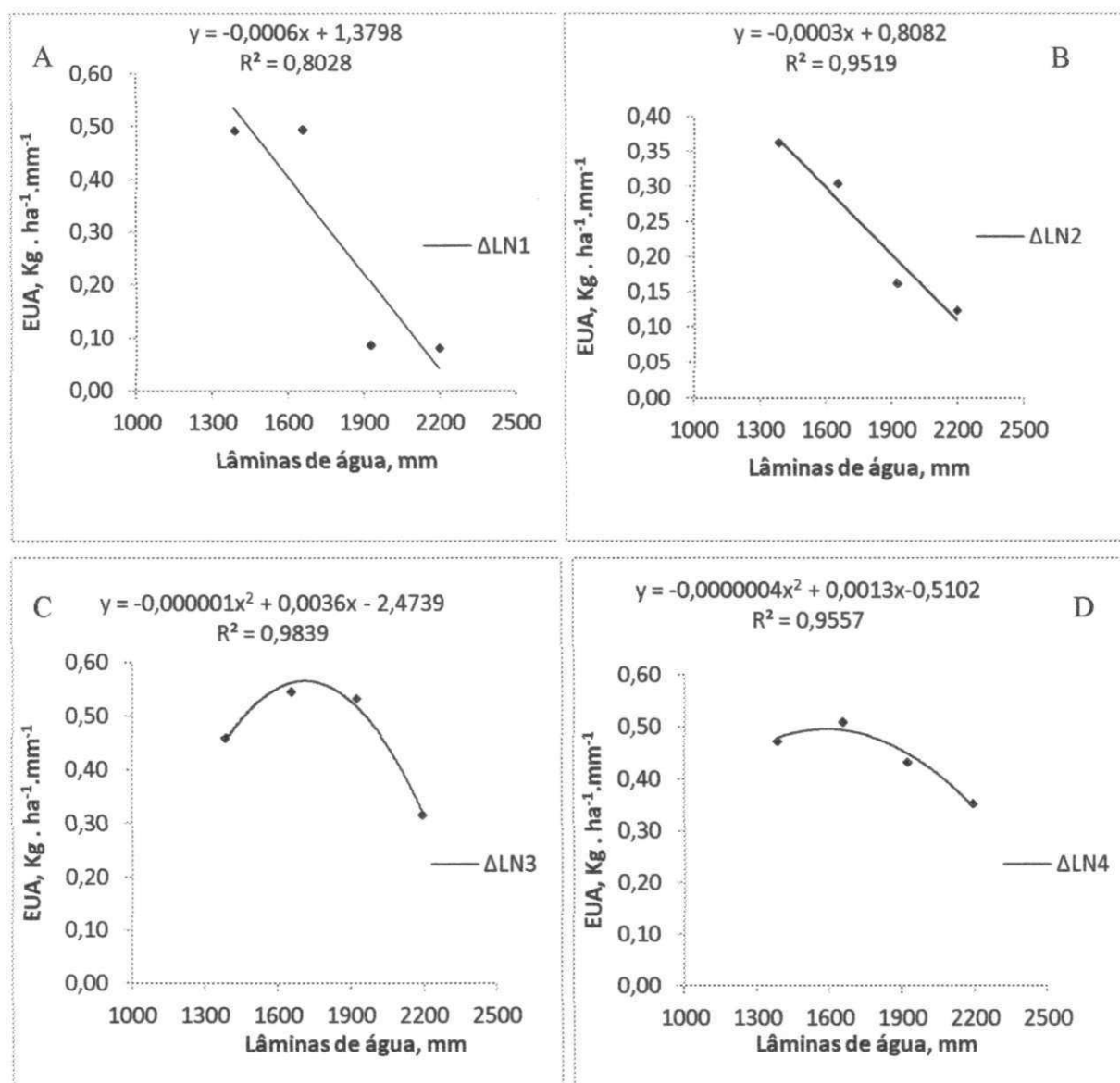
$$\hat{Y} = 20331 - 143,75N + 0,32N^2 - 0,00023L^3 + 1,2 - 0,00086L^2 + 0,0037LN.$$



**Figura 28.** Produção do cacau clonal CCN-51, em função de lâminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

#### 4.2.3. Eficiência do uso de água (EUA)

A eficiência do uso de água (EUA) decresceu com o aumento das lâminas de água a medida que a produtividade da cultura não aumentou com o incremento de Lâminas de água (Figura 29).



**Figura 29.** Eficiência do uso de água (EUA) em função das lâminas de água nos níveis de nitrogênio, A-N1,B-N2,C-N3 e D- N4. Jequié-BA, 2012.

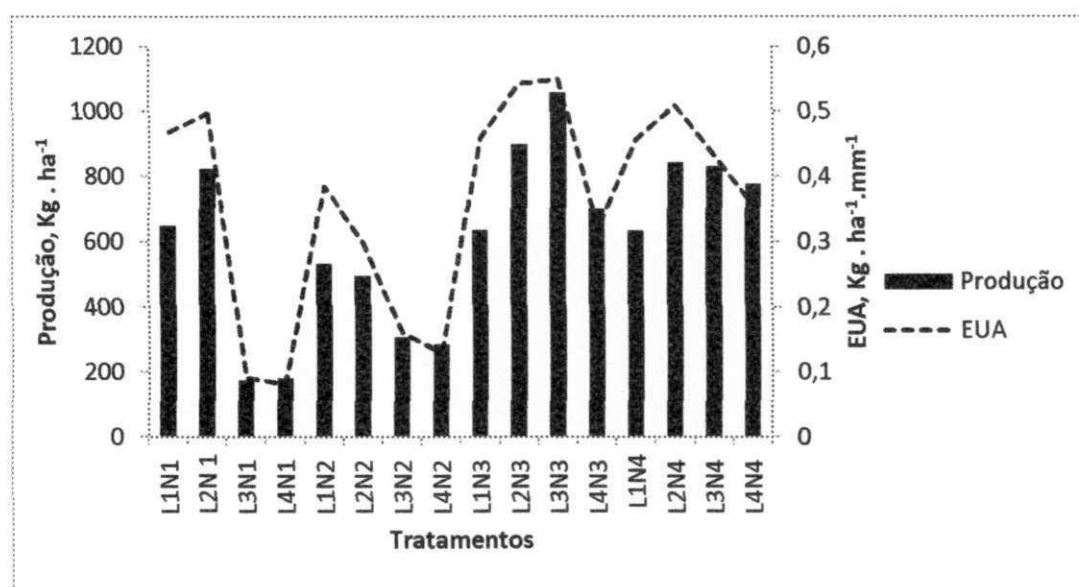
A menor lâmina de água utilizada no experimento de (1384,52 mm) mostrou ser mais eficiente tanto em produção física de amêndoas de cacau quanto economicamente, pois para uma redução de 36,89% de água em relação a maior lâmina (2193,91 mm), nos níveis N1 e N2 houve um aumento de 88,0 % e 62% na EUA (Figura 29A e Figura 29B).

O maior valor de EUA foi de 0,55 kg ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> para o tratamento com uma lâmina de água de 1922,52 mm e uma dose de nitrogênio de 493,10 kg ha<sup>-1</sup> (L3N3), sendo produzido um total de 1056,75 kg ha<sup>-1</sup> de amêndoas seca de cacau (Figura 30). Este resultado indica, na melhor condição obtida, que para termos 1 kg de amêndoas de cacau seria necessários 18.136 litros de água, respectivamente. A máxima eficiência ocorrida com as variações de água nos

níveis de nitrogênio N3 e N4, utilizado as equações de regressão, foram de  $0,77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  e de  $0,56 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para 1800 mm e 1625 mm (Figura 29C e Figura 29D), respectivamente

Coelho et al. (2005) concordam que a eficiência do uso da água pode ser aumentada reduzindo-se a lâmina aplicável de forma a não diminuir drasticamente a produtividade. Na maioria das vezes, o aumento da EUA pode ser obtido devido ao decréscimo da quantidade de água aplicada (Letey, 1993)

Outros pesquisadores encontraram resultados parecidos onde a produção foi aumentada com a diminuição de quantidades de água aplicadas.

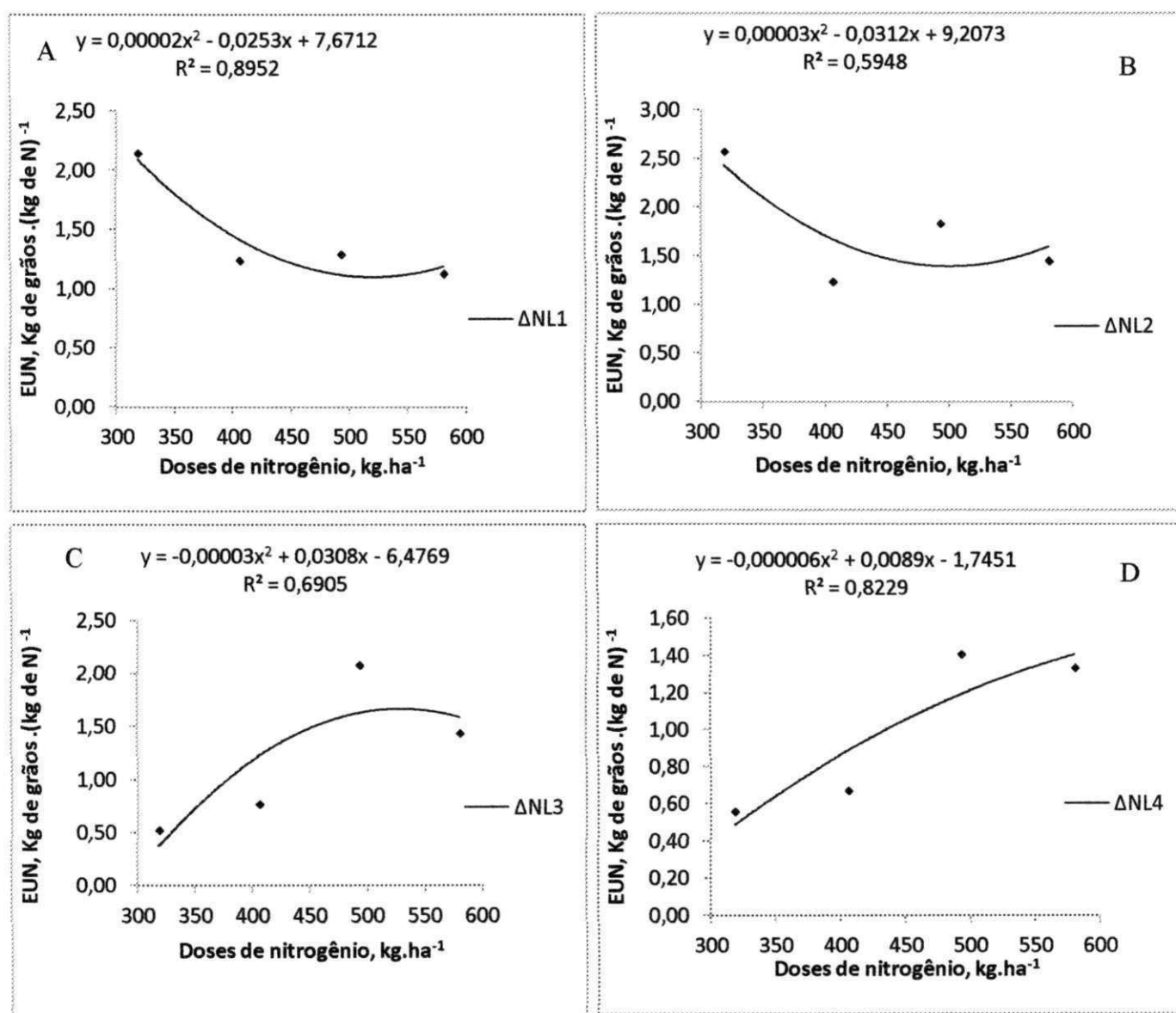


**Figura 30.** Eficiência do uso de água (EUA) e produção, nos tratamentos adotados no experimento. Jequié-BA, 2012.

#### 4.2.4. Eficiência do uso de nitrogênio (EUN)

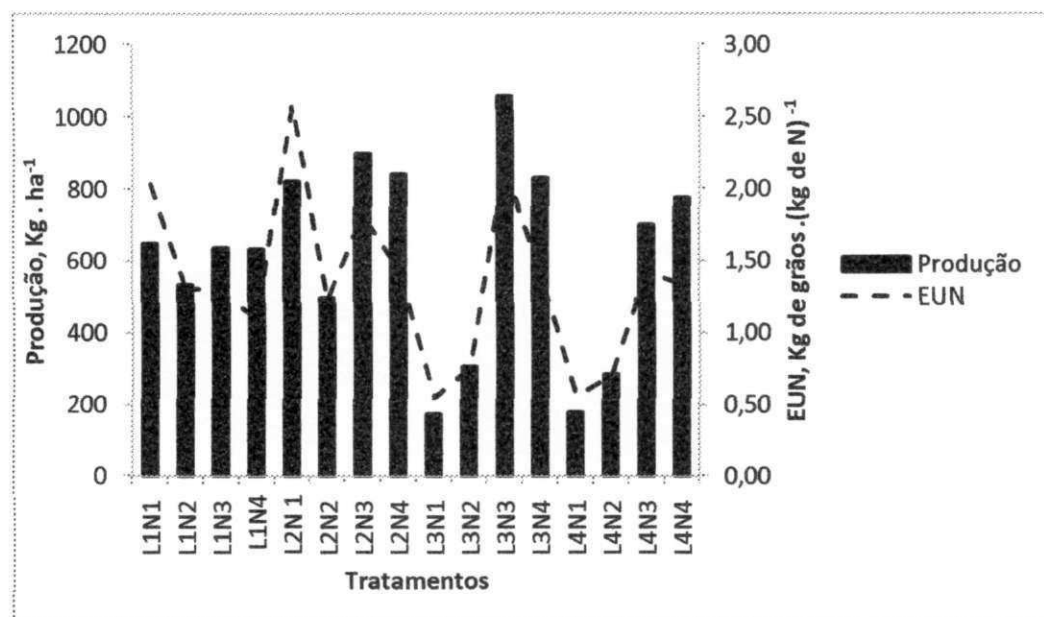
Verifica-se uma tendência a diminuir a EUN a medida que aumentamos a quantidade de nitrogênio, para a dose de  $318,30 \text{ kg ha}^{-1}$  um percentual 45,18% menor que a dose  $580,6 \text{ kg ha}^{-1}$  encontramos uma EUN 46,57% maior. . Pelos modelos de regressão (Figura 29A e Figura 29B) houve sempre uma tendência de diminuir a EUN com aplicação de doses maiores de nitrogênio em níveis menores de água. As Figuras 31 C e 31 D explicam a evolução da EUN através de modelos de regressão quadráticos, onde através destes modelos se verifica que o maior valor de EUA ocorreu para as dosagens de  $516,67 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $741,67 \text{ kg ha}^{-1}$  ambas apresentando a mesma eficiência com valor de  $1,55 \text{ kg de grãos (kg de N)}^{-1}$ .

A maior EUN encontrada com dados de campo foi de 2,58 kg de grãos (kg de N)<sup>-1</sup> para uma dose de 318,30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e uma lamina de água de 1653,22 mm, (L2N1), estes valores mostram que para cada kg de N aplicado houve um aumento de 2,58 kg de grãos na produção de amêndoas de cacau. Já para a menor EUN de 0,55 kg de grãos (kg de N)<sup>-1</sup> com a dose de 318,30 e lamina de água de 1922,52 mm houve um ganho de 0,55 kg na produção, ou seja um percentual de 78,68% a menos na produção de amêndoas de cacau (Figura 32).



**Figura 31.** Eficiência do uso de nitrogênio (EUN) em função das doses de nitrogênio nos níveis de água, A- L1, B- L2, C- L3 e D- L4. Jequié-BA, 2012.

A EUN tendeu a diminuir com o aumento da lâmina de água, mostrando que estas variáveis possuem uma relação direta com a utilização de nitrogênio, afetando a eficiência do uso deste insumo; isto se deve provavelmente a lixiviação destes nutrientes através de aplicação de maiores quantidades de água.



**Figura 32.** Eficiência do uso de nitrogênio (EUN) e produção, nos tratamentos adotados no experimento. Jequié-BA, 2012.

#### 4.6. Análise econômica simplificada

A Tabela 29 apresenta uma análise econômico simplificada para a combinação de lâminas de água e doses de nitrogênio, bem como as estimativas destes fatores que promovem o máximo rendimento físico e econômico.

Segundo demonstra a Tabela 29 o máximo rendimento físico e econômico estimado a partir da função de produção, ocorreu com a combinação de  $L_F = 1.567,30$  mm de água e  $N_F = 395,79$  kg ha<sup>-1</sup> de N, e  $L_E = 1.505,50$  mm de água e  $N_F = 394,00$  kg ha<sup>-1</sup> de N, com receitas de R\$ -2368,80 e -2330,65 R\$ respectivamente.

Estas quantidades apresentaram uma receita líquida negativa para todas as combinações possíveis apresentadas na Tabela 29; este fato se deve principalmente a esta análise ter sido realizada quando o cacau apresentava aproximadamente dez meses produzindo. Neste período, os custos de implantação do sistema de irrigação e da cultura no campo se sobressaio em detrimento aos ganhos provocados pela produção.

Pelos resultados obtidos na Tabela 23, verifica-se que a combinação que proporcionou uma menor perda de receita para este período produtivo foi a do tratamento L3N3 com produtividade 63% , maior que a combinação que promoveu o maior déficit da receita que foi L3N1.

**Tabela 29.** Produção e receita líquida para as diversas combinações de laminas de água e doses de nitrogênio. Jequié-BA, 2012.

Tratamentos	Água	Nitrogênio	Produção,kg.ha <sup>-1</sup>	Receita,R\$
L1N1	1384,52	318,30	683,04	-1970,93
L2N1	1653,22	318,30	819,28	-1452,16
L3N1	1922,52	318,30	166,90	-4932,08
L4N1	2193,91	318,30	178,07	-5049,14
L1N2	1384,52	405,80	503,02	-3097,13
L2N2	1653,22	405,80	503,59	-3266,21
L3N2	1922,52	405,80	312,79	-4405,92
L4N2	2193,91	405,80	272,67	-4783,02
L1N3	1384,52	493,10	637,18	-2629,95
L2N3	1653,22	493,10	902,82	-1455,13
L3N3	1922,52	493,10	1025,69	-1004,53
L4N3	2193,91	493,10	693,99	-2859,94
L1N4	1384,52	580,60	655,78	-2749,15
L2N4	1653,22	580,60	843,37	-1970,04
L3N4	1922,52	580,60	833,92	-2190,30
L4N4	2193,91	580,60	774,93	-2663,07
<b>FÍSICA</b>	<b>1926,23</b>	<b>560,7</b>	<b>1649,23</b>	<b>1989,50</b>
<b>ECONÔMICA</b>	<b>1832,69</b>	<b>552,86</b>	<b>1637,4</b>	<b>2008,518</b>

## 5. CONCLUSÕES

As mudas do clone CCN-51 apresentaram boa adaptação as condições existentes destacando-se a variável número de folhas.

Os níveis de água e as doses de nitrogênio utilizado neste estudo influenciaram o crescimento da planta na altura e no diâmetro do caule, enquanto que a interação dos fatores água e nitrogênio não influenciaram nestas características.

As lâminas de água, doses de nitrogênio e a interação entre elas influenciaram positivamente na produção de amêndoas secas e no número de frutos por planta do cacau clonal CCN-51.

O tratamento utilizado no campo com 1922,52 mm de água e 493,10 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio foi o que promoveu a maior produtividade no campo de amêndoas de cacau para comercialização com 1025,69 kg ha<sup>-1</sup>.

A combinação ótima física de lâmina de água e dose de nitrogênio foi de 1926,23 mm e 560,70 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio que proporcionaram uma produção de 1649,23 kg ha<sup>-1</sup> de amêndoas secas de cacau,

O tratamento com 1922,52 mm de água e 493,10 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio obteve a maior eficiência do uso de água correspondendo a 0,55 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e o tratamento de 1653,22 mm de água e 318 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio obteve o maior valor de eficiência do uso de nitrogênio com 2,58 kg de grãos (kg de N)<sup>-1</sup>.

Na fase inicial de produção a combinação ótima econômica de lamina de água e dose de nitrogênio foi de 1832,69 mm e 552,86 kg ha<sup>-1</sup> que proporcionaram uma receita líquida de R\$ 2008,518 para uma produção de 1637,4 kg ha<sup>-1</sup>.

## RECOMENDAÇÕES

- ✓ Evitar excessos de água por mau manejo da irrigação ou vazamento em tubulações e mangueiras gotejadoras na fase de crescimento do cacaueteiro.
- ✓ Colocar quebra ventos em volta dos plantios para evitar a desidratação das folhas do cacaueteiro.
- ✓ Implantar sombreamento inicial com milho para adaptação das mudas no campo.
- ✓ Evitar consorciar o cacaueteiro com culturas permanentes evitando a competição de nutrientes presentes no solo.
- ✓ Em climas semiáridos ou áridos evitar podas drásticas durante o período de produção para evitar a queima dos frutos.



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABDOELLAH, S.; NOTORADININGRAT, T. Effect of Al/(K+Ca+Mg) ratio on growth of cocoa seedling. **Pelita Perkebunan**, v.9, n.1, p.23-28. 1993.

ABDUL-KARIMU, A.; ADU-AMPOMAH, Y.; FRIMPONG, E. B. Field evaluation of agronomic characters of some selected cocoa hybrids in a marginal area of Gana. In: **INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE**, 14, 2003. Accra, Ghana, **Abstract...2003**, Seção 3, CD.

ADU-AMPOMAH, Y.; FRIMPONG, E. B.; ADOMAKO, B.; ABDUL-KARIMU, A. Investigation into the Use Of the Crinkle Leaf Mutant as a Low Vigour Rootstock for High Density Planting in Cocoa. **International Workshop on Cocoa Breeding for Improved Production Systems**. Accra, Ghana, 2003, p.145-149.

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

ALKANANI, T.; MAQCKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, v.55, p. 1761-1766, 1991.

ALMEIDA, R. L. S.; CHAVES, L. H. G. Crescimento de mudas de cacau irrigadas por microaspersores. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 284-293, 2010.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, p.425-448, 2007.

ALVES, R. C.; DEL PONTE, E. M. **Vassoura-de-bruxa**. Disponível em: <http://www6.ufrgs.br/agronomia/fitossan/fitopatologia/ficha.php?id=273>: Acesso em 23 de Fevereiro de 2010.

ALVIM, P. T. **Cacau: ontem e hoje**. Ilhéus: CEPLAC, 1972. 83p.

ARCE, M.P. MINISTERIO DE AGRICULTURA PROGRAMA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONIA PROAMAZONIA “**MANUAL DEL CULTIVO DEL CACAO**”. Peru, 2004.83p.

AUGUSTO, S. G. **Irrigação complementar nos diferentes estádios fenológicos do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.)**. Viçosa: UFV,1997, 120p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem).

BEGIATO, G. F; SPERS, E. E; CASTRO, L. T; NEVES, M. F. Análise do sistema agroindustrial e Atratividade dos Vales do São Francisco para a cacauicultura irrigada. **Custos e @gronegocio**, v. 5, n. 3, p. 55-87. 2009.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8.ed, Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; TREVELIN, P. **Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais**.Informações agronômicas, v.120, p.13-14.2007.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. v. 1, ed.1, p. 1-137, 2002.

BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20, 2008, Vitória-ES, **Anais...** Vitória-ES, 2008. CD-ROM.

BRAUDEAU, J. **El cacao**. Barcelona, Tradução de Cardona, A.M. H. 1.ed. Barcelona: Editorial Blume. 1970, 297 p.

BRITO, I.C.; SILVA, C.P. Medidas biométricas do fruto do cacauzeiro durante seu desenvolvimento. **Sitientibus**, v.3, n.2, p.59-66,1983.

BURRIDGE, J. C.; LOCKARD R. G.; ACQUAYE D. K. The Levels of Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium and Magnesium in the Leaves of **Cacao** (*Theobroma Cacao* L.) as affected by Shade, Fertilizer, Irrigation, and Season. **Botany Company**, 28<sup>a</sup> ed, p.401-418, 1964.

CANNELL, M.G.R. Dry matter partitioning in tree crops. IN: CANNELL, M.G.R., JACKSON, J.E. (Eds.), **Attributes of Trees as Crop Plants**. ITE/Wilson, UK, 1985. p. 160-193.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de fruteiras tropicais**. São Paulo. 1998. 111p.

CEPEC/CEPLAC. **Características gerais do cacau**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/cacau.htm> Acesso em: 10 de Setembro de 2009.

CHEPOTE, R.E.; SODRE, E.; REIS, E.L.; PACHECO, R.G.; MARROCOS, P.C.L.; SERÔDIO, M.H.C.L.; VALLE, R.R. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacau no sul da Bahia**. ed.2 Ilheus: CEPLAC/CEPEC. 2005.36p.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p.

CODEVASF. **Cadeia produtiva de cacau : oportunidade de investimento em cacauicultura no Vale do São Francisco e do Parnaíba**. Brasília, 2009. 33 p.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA (CEPLAC). **Cacauicultura. Informações de mercado**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/paginas/infomercado/>. Acesso em: 10 de outubro de 2011.

CRUZ, P. **Em tempo de avanço e diversificação, fruticultura baiana já colhe até maçã**. <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view&exibir=clipping&notid=9538>, 05 Jun. 2010.

- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M.A.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.
- CORAL, F.J.; CIONE, J.; IGUE, T. Estudos preliminares sobre o comportamento de progênies híbridas de cacaueteiro, nas condições ecológicas do Vale do Ribeira. **Bragantia**, v.27, p. 63-65,1968.
- DIAS, L.A.S.; RESENDE, M. D. V. Experimentação no melhoramento. In: DIAS, L.A.S. **Melhoramento genético do cacaueteiro**. Viçosa: FUNAPE-UFG, 2001. p.439-492.
- DIAS, L. A. S.; SOUZA, C.A.S.; AUGUSTO, S.G.; SIGUEIRA, P.; MULLER, M.W. Performance and temporal stability analyses of cacao cultivars in Linhares, Brasil. **Plantations, Recherche, Développement**, v. 5, n. 5, p. 343-355, 1998.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1997. 179 p.
- DUKE, J. A. The quest of tolerant germplasm. In: YOUNG, G. **Crop tolerance to subtropical land conditions**. Madison. American Society Agronomical Special Symposium, 1978, v.32, p.1-16.
- DUKE, J.A. **Theobroma caçãõ** L. Handbook of Energy Crops.1983
- EFRON,Y.; TADE, E.; EPAINA, P. A cocoa growth mutant with a dwarfing effect as rootstock. In: **International Workshop on Cocoa Breeding for Improved Production Systems**, 14, 2003, Accra, Ghana, 2003, p. 132-144.
- EMBRAPA. **Sistema de Produção de Citros para o Nordeste**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br> . Acesso em 10 de Junho de 2009.

FAO. Foundation Agricultural Organization. Roma: FAOSTAT Database Gateway. Disponível em: < <http://www.apps.fao.org> > Acesso em: **setembro de 2011**.

FRAZÃO, D. A. C.; COSTA, J. D.; CORAL, F. J.; AZEVEDO, J. A.; FIGUEREDO, F. J. C. Influência do peso da semente no desenvolvimento e vigor de mudas de cacau. **Revista Brasileira de Sementes**, v.6, n. 3, p. 31-40, 1984.

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

GAGNÉ, S. Cacao: The Essence of Chocolate. Disponível em: <http://www.stevegagne.com/more.php>. Acesso em: **28 de Julho de 2008**.

GRAMACHO, I. C. P.; MAGNO, A. E. S.; MANDARINO, E. P.; MATOS, A. **Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia**. Ilhéus, Ceplac. 1992. 124 p.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988.

HARDY, F. **Manual de cacau**. Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 1961. 439p.

HEXEM, R.W.; HEADY, E.O. **Water production function for irrigated agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1978. 215p.

LEITE, J. B. V. **Cacaueiro: Propagação por estacas caulinares e plantio no semi-árido do estado da Bahia**. 2006. 75 f. Tese (Doutorado) - UNESP, Jaboticabal, 2006.

LETEY, J. Relationship between salinity and efficient water use. **Irrigation Science**, v.14, p.75-84, 1993.

LOBÃO D. E.; SETENTA, W. C. Cacau - cabruca: histórico e caracterização de um sistema agroflorestal sustentável de comprovada eficiência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4, 2002, Ilhéus. **Anais...**, Ilhéus, 2002.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. Traduzido e adaptado do original: Soil fertility manual. Potash Phosphate Institute, 1978. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LUZ, E.D.M.N.; BEZERRA, J.L.; OLIVEIRA, M.L.; RESENDE, M.L.V. Doenças do cacauero. In ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. **Controle de doenças de plantas: Grandes culturas**. Viçosa:UFV,1997.cap.13,p.611-655.

MARROCOS, P. C. L.; SODRÉ, G. A. Sistema de produção de mudas de cacaueros. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4, 2004, Viçosa. **Resumos...** Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa: UFV, 2004. p. 283-311.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press,1995. 889 p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Estudos agronômicos do cacau - 2 ° relatório de andamento**. Elaboração do estudo de viabilidade sócio-técnico-econômica e ambiental, e EIA/RIMA para o perímetro irrigado de Cruz das Almas do projeto Sertão de Pernambuco, localizado no município de Casa Nova-BA. Bahia, 2006.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982.

MOOLEEDHAR V.; LAUCKNER, B. Effects of spacing on yield in improved clones of *Theobroma cacao* L. **Tropical Agriculture**, ed.67, Trinite-Et-Tobago, v.67, n.4, p. 376-378, 1990.

MORAIS, F.I., SILVA, L.F.; MARINHO, A.H.; PINHO, A.F.S. Efeitos da adubação foliar e de substratos no crescimento de plântulas de cacau. **Revista Theobroma**, v.9, p.163-171, 1979.

MULLER, M. W.; BIEHL, B. Mudanças na capacidade fotossintética de folhas de cacauero (*Theobroma cacao* L.) influenciados pela intensidade de luz durante o período de vida. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 11., 1993, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, **Abstract...** 1993, p. 634-643.

NAKAYAMA, L.H.I.; SOARES, M.K.M.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Contribuição ao estudo anatômico da folha e do caule do cacauero (*Theobroma Cacao* L.). **Scientia Agrícola**, v.53, p. 73-73, 1996.

NAMALIU, Y.; DANIEL, R. **Integrated pest and disease management for sustainable cocoa production**. Australia, 2008. 37p.

NANETTI, D. C.; SOUZA, R. J.; FAQUIN, V. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, na cultura do pimentão. **Revista Brasileira de Olericultura**, v.13, p. 843-845, 2000.

NETAFIM. **Cacau**. Disponível em: **Erro! A referência de hiperlink não é válida.** Acesso em 21 de julho de 2008.

OETTERER, M. Tecnologias de obtenção do cacau, produtos do cacau e do chocolate. In: OETTERER, M.; REGITANO D'ARCE, M. A.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciências e Tecnologia de Alimentos**. 1.ed. Barueri, SP: Manole, 2006, v. 1, p. 1-50.

OLIVEIRA, L.S. **Funções de resposta do milho doce ao uso de irrigação e nitrogênio**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 91p. (Tese de doutorado).

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S.P. **Dinâmica do crescimento vegetal (Princípios Básicos)**. Cruz das Almas. 2004. 20p.

PROAMAZONIA. MINISTÉRIO DE AGRICULTURA - Programa para el desarrollo de la Amazonia.. **Manual del Cultivo del cacao**. Ministério de Agricultura, Peru. 2004

PURDY, L.H.; SCHMIDT, R.A. Status of cacao witches' broom: Biology, Epidemiology, and Management. **Phytopathol**, ed.34, p.573-594, 1996.

REED, C.F. **Information summaries on 1000 economic plants**. Typescripts submitted to the United States Department of Agriculture (USDA). Washington, 1976.

SANTOS, L. S.; RIBEIRO, V. G. Avaliações de cacauzeiros clonados CCN-10, CCN-51, PS-1319 E PH-16: da produção de mudas à enxertia, no semi-árido baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20, 2008, Vitória-ES, **Anais...** Vitória-ES, 2008. CD-ROM.

SARTORI, P.H. **Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. Piracicaba 2010. 112p. (Tese de doutorado.)

SCHROEDER, C.A. **Observation on the growth of the cacao fruit**. In: 7ª Conferencia Interamericana de Cacao. Colombia, Bogota, p. 381-394, 1960.

SEAGRI (Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária). **Cultura Cacau**. . Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/cacau1.htm> Acesso em: 01 de Março de 2012.

SILVA NETO, P. J. (Coord.) **Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira**. Belém, PA. CEPLAC, 2001. 125 p.

SIRQUEIRA, P.R.; MULDER, W.T.J.; SOUZA, C.A.S. **Fertirrigação do cacauzeiro no estado do Espírito Santo**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br> . Acesso em: 23 de Março de 2011.

SIRQUEIRA, P. **A importância da irrigação para o cacau em Linhares**. Disponível em: <http://www.ceplac.br> . Acesso em 21 de julho de 2008.

SMITH, G. E. (Ed.). **Cultivo do cacauzeiro no Estado do Espírito Santo**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1990. 52 p.

SOUZA, A.G.C.; SILVA, S.E.L.; SOUSA, N.R. **Avaliação do desempenho do cacau-do-**



peru. EMBRAPA/CPAA, Manaus, p.1-2, 1996.

SOUZA, C. A. S.; AGUILAR, M. A. G.; SONEGHETI, S.; BOONER, E. P.; CAO, J. R.; PINTO, D. G. Produção de mudas clonais de cacau em sacolas de polietileno com diferentes substratos e formas de adubo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20, 2008, Vitória. **Anais...**, Vitória, 2008. CD-ROM.

SOUZA JÚNIOR, J. O.; CARMELLO, Q.A.C. Formas de adubação e doses de uréia para mudas clonais de cacau cultivadas em substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2367-2374, 2008.

SOUZA JUNIOR, J. O. **Fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade do cacau cultivado no Sul da Bahia, Brasil**. Tese de Mestrado, UFV. Viçosa, MG, 1997. 146 p.

TEAL, F.; VIGNERI, M. **Production changes in Ghana cocoa farming households under market reforms**. Ghana, 2004.28p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Cacao tissue culture protocol book**. Pennsylvania: State University, USA. 2003. 32p.

VERNON, A.J.; SUNDARAM, S. MURRAY, D.B.; JONES, E.; QUESNEL, V.C.; CHALMERS, W.S.; FORDHAM, R.; ITON, E.F. Current cocoa research in Fiji. **Proceedings**, International Cocoa Research Conference, 4, St. Augustine, 1972, p. 689-693.

WILHELM, W. W.; MCMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v.35, n.1, p.1-3, 1995.

ZOBEL, R.W.; KINRAIDE, T.B.; BALIGAR, V. Fine root diameters can change in response to changes in nutrient concentrations. **Plant and Soil**, v. 297, p. 243-254, 2007.

ZUIDEMA, P.A.; LEFFLAAR, P.A.; GERRITSMA, W.; MOUMER, L.; ANTEN, N.P.R. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*); model presentation, validation and application. **Agricultural Systems**, v.84, p.195-225, 2005.