



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO AGRÁRIA

Modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) clone Nhacundela em Diferentes variáveis e alinhamentos

Licenciatura em Produção Agrícola

Autora:

Nélia Clara Moisés Bungueia

Vilankulo, Julho de 2016

Nélia Clara Moisés Bungueia

Modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) clone Nhacundela em Diferentes variáveis e alinhamentos

Trabalho de Culminação de Curso apresentado ao Departamento de Produção Agrária da Escola Superior de Desenvolvimento Rural – Universidade Eduardo Mondlane para a obtenção do grau de Licenciatura em Produção Agrícola.

Supervisor:

Eng^o: Carlos A. Muianga, Msc

Co - Supervisor:

dr. Francisco Sumbana

UEM - ESUDER

Vilankulo

2016

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra, a verdade sobre a originalidade do trabalho, que os dados usados na elaboração do presente trabalho de investigação são reais e obtidos do trabalho de campo das análises por mim efectuadas, e consultas ao supervisor e bibliográficas devidamente citadas ao longo deste relatório.

Vilankulo, 11 de Julho de 2016

(Nélia Clara Moisés Bungueia)

Aprovação do Júri

Este trabalho foi aprovado no dia ___ de Julho de 2016 por nós, membros do júri examinador da Escola Superior de Desenvolvimento Rural da Universidade Eduardo Mondlane, com a nota de ___ **Valores.**

(Presidente do Júri)

(Arguente)

(Co - Supervisor)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho os meus pais Moisés Inácio Bungeia e Clemência Sara Nhachengo pela educação exemplar que eles conseguiram transmitir, aos meus irmãos Inácio Moisés Bungeia, Sara Moisés Bungeia, Moisés Bungeia Júnior que este trabalho sirva de exemplo, ao meu namorado Henriques João Machava pelo amor e o apoio incondicional que me proporcionou mesmo distante deles.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus todo-poderoso que tem iluminado o meu caminho e que continue iluminando e por ter-me guiado pelo bom caminho e conseguindo fazer e redigir o presente trabalho, mostrando-me, que vale a pena lutar por tudo.

Em seguida agradecer a todo o corpo docente da Escola Superior de Desenvolvimento Rural (ESUDER) por ter-me guiado no mundo académico e com grande particularidade ao Engenheiro Carlos Alberto Muianga o meu supervisor que através de suas opiniões e críticas foi possível fazer a presente tese. A todos funcionários do IIAM posto Agronómico de Nhacoongo, por conceder o espaço para colecta de dados e disponibilizar informações concernentes ao campo para enriquecer a pesquisa.

Agradecer a toda minha família em particular os meus pais Moisés Bungueia e Clemência Nhachengo, meus irmãos Inácio, Sara e júnior, meus avós Moisés Bungueia, Maria Alina wate, Sara Nhachengo e Lúcia Muchanga, aos meus tios Sara João Manhique, Malena Mangaze, yolanda Mbanze, Inácio Bungueia, Jaime Bungueia e todos primos, muito obrigada pelos ensinamentos, amor, puxão de orelha e por acreditarem que posso chegar longe.

Um agradecimento especial ao meu namorado Henriques João Machava pelo amor dedicado apesar da distância nunca desistiu de mim, pelas palavras de conforto sempre que estivesse cabisbaixa, pelo companheirismo, atenção que tem me dado.

Aos meus amigos: Aerotilde Marieta, Arlete Munguambe, Cesária Cossoma, Constâncio Nhamosse, Elicrência Tchau, Francisco Chirindza, Lucrécia Assunta, Maria Ossifo, Nils Pone, Romildo Filipe Siteo, Rosa Muchanga, muito obrigada pela amizade, carinho e o companheirismo mostraram que família não é feita apenas pelas pessoas de sangue.

Obrigada a todos colegas da Produção Agrícola 2012, especialmente aos elementos do grupo 1 pelos ensinamentos e por transformarmo-nos em uma família a destacar: Eduardo Vilanculo, Elicrência Tchau, Eusébio Almoço e a Ivone Uache.

Aos colegas do condomínio agradeço pela família que formamos, agradecer ainda a todos que directa ou indirectamente estiveram do meu lado neste grande percurso da minha vida.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação de Bayesiano
BP	Breush Pagan
DW	Durbin Watson
ESUDER	Escola Superior de Desenvolvimento Rural
EN-1	Estrada Nacional número 1
FAO	Food and Agriculture Organization (organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura).
H₀	Hipótese nula
H₁	Hipótese alternativa
IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
LCC	Liquido da castanha de caju
MNL	Modelos Não Lineares
N	Norte
PEDDI	Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Inharrime
p^H	Potencial Hidrogénionico
R²_{aj}	Coefficiente de determinação ajustado
S	sul
SW	Shapiro Wilk
%	Porcentagem
°C	grau celsius
ha	hectare

Km	Quilometro
m	Metro
mg	miligrama
mm	Milímetro
UEM	Universidade Eduardo Mondlane

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Tabelas

Tabela nº1: Estatística dos testes e valor p para os testes de Shapiro Wilk (SW), Breush Pagan (BP) e Durbin Watson (DW) ajustados aos dados do modelo Gompertz.	30
Tabela nº2: Estatística dos testes e valor p para os testes de Shapiro Wilk (SW), Breush Pagan (BP) e Durbin Watson (DW) ajustados aos dados do modelo Logístico.....	31
Tabela nº3: Estimativas do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico nos dados do comprimento de frutos de cajueiro e o respectivo valor P a um nível de significância de 95% no alinhamento norte e sul.....	32
Tabela nº4: Estimativas do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico nos dados da largura de frutos de cajueiro e o respectivo valor P a nível de significância de 95% no alinhamento norte e sul.....	35
Tabela nº5: Avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para os dados do crescimento do fruto do cajueiro em comprimento.....	38
Tabela nº6: Avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para os dados do crescimento do fruto do cajueiro em largura.....	39

Lista de Figuras

Figuras nº1: Flores do cajueiro: flor perfeita (hermafrodita) à esquerda e flor estaminada (masculina) a direita.	10
Figura nº2: Inflorescência sendo visitada pela abelha que participa na polinização.	10
Figura nº3: Etapas da floração e início da frutificação do cajueiro.....	11
Figura nº4: Estágios de maturação (1 à 7) do fruto e pseudofruto do cajueiro de clones alaranjados.....	12
Figura nº5: Estágios de maturação (1 à 7) do fruto e pseudofruto do cajueiro de clones avermelhados.....	13

Figura nº6: Etapas após a frutificação do cajueiro-anão-precoce desde o pequeno (à esquerda) até a maturação completa do fruto e do pedúnculo (à direita).....	14
Figura nº7: Marcação da panícula do cajueiro já fecundada, esta marcada com a corda.....	24
Figuras nº8: Medição dos frutos a partir da vista frontal (em comprimento), para a) e b).....	25
Figuras nº9: Medições dos frutos a partir da vista lateral (em largura), para a) e b).....	25

Lista de Gráficos

Gráfico nº1: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável comprimento alinhamento norte.....	34
Gráfico nº2: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável comprimento alinhamento sul.	34
Gráfico nº3: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável largura alinhamento norte.	37
Gráfico nº4: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável largura alinhamento sul.....	38

LISTA DE ANEXOS

Anexo nº I: Mapa de localização geográfica do distrito de Inharrime.I

GLOSSÁRIO

- Aquênio** é um tipo de fruto normalmente seco, com origem em um ou mais carpelos, indeiscente, monóspermico (tem apenas uma semente).
- Alogâmia** significa uma reprodução em que inclui-se dois gametas advindos de seres com sexo opostos.
- Antese** é o acto de abertura das flores, quando um dos seus órgãos sexuais (ou todos) amadurece e o perianto se abre, iniciando o ciclo reprodutivo da flor. Estritamente é o período de expansão da flor, também é utilizado para designar o período durante o qual a flor está aberta.
- Autopolinização** é a transferência do pólen da antera para o estigma da mesma flor (caso que só ocorre quando a planta é hermafrodita).
- Fecundação** é a união entre gameta masculino (espermatozóide) e gameta feminino (ovo ou óvulo), que resulta na formação da célula-ovo ou zigoto.
- Fruto** é uma estrutura presente em todas as angiospermas onde as sementes são protegidas enquanto amadurecem.
- Genótipo** é a constituição genética de uma célula, organismo ou indivíduo.
- Inflorêscencia** é a parte da planta onde se localizam as flores, normalmente consiste em um prolongamento semelhante ao caule, ou raque, provido de folhas modificadas.
- Heterocedasticidade** é um fenómeno estatístico que ocorre quando o modelo de hipótese matemático apresenta variâncias.
- Homocedasticidade** se dá pela observância do postulado, isto é, os dados regredidos encontram-se mais homoganeamente e menos dispersos (concentrados) em torno da recta de regressão do modelo.

- Pseudofruto** é um desenvolvimento de um tecido vegetal adjacente à flor que sustenta o fruto, de forma que este se assemelhe em cor e consistência a um fruto verdadeiro.
- Pedúnculo** é a região que antecede a flor ou o fruto.
- Ponto de inflexão** é um ponto sobre uma curva na qual a curvatura muda de sinal (de mais para menos e de menos para mais).

RESUMO

A descrição do crescimento do fruto por meio de acúmulo da matéria fresca ao longo do tempo é importante ferramenta informativa para auxílio no manejo adequado e detecção de factores que afectam o desenvolvimento do fruto. A pesquisa foi realizada no Posto Agronómico de Nhacoongo, com o objectivo de Modelar o crescimento do fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) clone Nhacundela por meio de modelos não lineares Gompertz e Logístico aos dados do crescimento em comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul ao longo do tempo. As medidas foram efectuadas com auxílio do paquímetro, sendo a primeira medição realizada 3 dias após a constatação da fecundação das flores que apresentavam a cor roxa. Para a análise dos dados usou-se o programa R, onde a análise dos resíduos foi feita na base dos testes de Shapiro Wilk, Breush Pagan e Durbin Watson para testar a normalidade, homogeneidade e independência respectivamente. A estimativa dos parâmetros foi feita pelo método dos mínimos quadrados ordinários com processo iterativo de Gauss Newton, permitindo interpretar biologicamente o comportamento do fruto do cajueiro onde as taxas de crescimento foram acentuadas no modelo Logístico e crescimento máximo no modelo Gompertz. A partir desta estimativa obteve-se gráficos que descrevem a curva de crescimento dos modelos Gompertz e Logístico nas variáveis comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul. Para comparar os modelos usou-se o coeficiente de determinação ajustado, critério de informação de Akaike e Bayesiano ajustado nos modelos (Gompertz e Logístico) que foram adequados ao descreverem o crescimento do fruto do cajueiro em termos do comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul, entretanto o modelo Logístico proporcionou a melhor qualidade de ajuste aos dados colhidos no campo experimental.

Palavras – chaves: *Cajueiro (Anacardium occidentale L.), Modelos não lineares, crescimento do fruto do cajueiro.*

ÍNDICE

Conteúdo	Páginas
CAPITULO I – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Problema de estudo.....	3
1.3 Justificativa.....	4
1.4 Objectivos.....	5
1.4.1 Geral	5
1.4.2 Específicos.....	5
1.5 Hipóteses	5
CAPITULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Cajueiro	6
2.1.1 Taxonomia.....	6
2.1.2 Origem e distribuição do cajueiro	6
2.1.3 Produção da castanha de caju em Moçambique	6
2.1.4 Características botânicas do cajueiro.....	7
2.1.5 Aspectos botânicos do cajueiro anão.....	8
2.1.6 Importância Socioeconómica e Nutricional	8
2.1.7 Inflorência.....	9
2.1.8 Fruto e o pseudofruto.....	11
2.1.9 Estágios de maturação do fruto e pseudofruto de cajueiro.....	12
2.1.10 Crescimento e Desenvolvimento do fruto e do pseudofruto	13

2.1.11 Condições edáfo – climáticas	14
2.1.11.1 Solos	14
2.1.11.2 Clima	14
2.2 Análise de crescimento	15
2.3 Modelos não lineares	17
2.3.1 Estimação dos parâmetros de modelos não lineares.....	18
2.3.2 Processos iterativos	19
2.4 Avaliadores de qualidade de ajuste	19
2.4.1 Coeficiente de determinação ajustado	19
2.4.2 Critério de Informação de Akaike	20
2.4.3 Critério de Informação de Bayesiano	20
2.5 Modelos de crescimento	21
2.5.1 O modelo Logístico	21
2.5.2 O modelo Gompertz	22
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	23
3.1 Descrição da Área de Estudo.....	23
3.1.1 Clima e Solos.....	23
3.2 Técnicas de colecta de dados.....	23
3.2.1 Colecta de dados	23
3.2.2 Amostra	24
3.2.3 Variáveis.....	25

3.3 Métodos de análise e interpretação dos dados	26
3.3.1 Modelos ajustados	26
3.3.2 Critérios para selecção do modelo.....	27
3.3.2.1 Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}).....	27
3.3.2.2 Critérios de informação	27
3.3.3 Análise dos resíduos	28
3.3.4 Interpretação dos dados	29
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Análise dos Resíduos com base nos testes dos pressupostos dos modelos não lineares ...	30
4.2 Modelos ajustados na estimativa dos parâmetros para os dados do crescimento em comprimento.....	32
4.3 Modelos ajustados na estimativa dos parâmetros para os dados do crescimento em largura.	35
4.4 Comparação da qualidade de ajuste dos modelos	38
4.4.1 Variável comprimento	38
4.4.2 Variável largura	39
4.5 Descrição da curva de crescimento em diferentes variáveis e alinhamentos	40
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41
5.1 Conclusões.....	41
5.2 Recomendações	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

CAPITULO I – INTRODUÇÃO

1.1.Generalidades

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta da família *Anacardiaceae*, originária das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Trata-se de uma frutífera tropical na qual a comercialização dos produtos envolve intensa actividade económica com expressiva movimentação de recursos. Além da amêndoa, o cajueiro fornece outros produtos aceitos pelo mercado, destacando-se o líquido da casca de castanha, o suco, a polpa, os doces, dentre outros derivados (MENDONÇA & MEDEIROS, 2011).

A produção mundial de castanha de caju oscila bastante de um ano para o outro. Os dados mais recentes disponíveis mostram que entre 2009 e 2010 ela subiu de 3.8 a 7.0 milhões de toneladas, mas caiu em 2011 para 4.2 milhões de toneladas em uma área plantada de 4.milhões de hectares (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO 2013).

O caju é formado por um pedúnculo, ou pseudofruto, que se forma junto a castanha, o verdadeiro fruto que constitui um importante contributo para o sustento das famílias rurais de Moçambique. Cerca de 95% da produção actual de caju é feita pelos pequenos produtores, sendo poucas as propriedades agrícolas comerciais. (TULLO, 2008).

De acordo com OLIVEIRA *et al.*, (2003), contém vitamina, apresentando elevada importância alimentar além do aspecto económico na geração de divisas. O conhecimento de como ocorre o crescimento do fruto do cajueiro é de grande importância, podendo contribuir na detecção de possíveis problemas fitossanitários no desenvolvimento do fruto. Permitindo, o aperfeiçoamento de metodologias que possibilitem um estudo de forma prática e eficiente do crescimento dos frutos, gerando deste modo informações sobre o crescimento do fruto do cajueiro, úteis no processo de tomada de decisão, contribuindo para o aumento da produção e da produtividade do cajueiro.

Dentre os vários tipos de modelos aplicáveis para esse fim, destacam-se os modelos de regressão não lineares em que pelo menos uma das derivadas parciais dependem de algum parâmetro do modelo e não existe transformação capaz de torná-lo linear, os quais podem

contribuir ou mesmo, facilitar a interpretação dos processos envolvidos (DRAPER& SMITH, 1998).

Segundo Santos *et al.*, (2009) na produção de frutos com interesse económico tal como caju, é importante conhecer as diferentes fases de crescimento. É deste modo que se pretende modelar o crescimento do fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L) clone Nhacundela por meio dos modelos não lineares Gompertz e Logístico descrevendo a curva em torno do comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul após a fecundação, estimando parâmetros com interpretação biológica e verificando a qualidade de ajuste dos modelos Gompertz e Logístico.

1.2. Problema de estudo

No início dos anos 1970 Moçambique era o maior produtor mundial de castanha com cerca de 200.000 toneladas anuais comercializadas, cerca de 40% da quota de mercado e após a independência nacional, iniciou-se um ciclo de declínio constante da produção (envelhecimento dos cajueiros, pragas e doenças, guerra, população deslocada, etc.), que teve o seu ponto mais baixo nos anos 1980, com produções variando entre 30 e 40.000 toneladas anuais (MOLE, 2000).

Com o processo de liberalização em 1994, teve início um processo de recuperação gradual dos níveis de produção, cujo pico verificou-se na campanha 1995/96 (excepcionalmente boa), com cerca de 66.500 toneladas comercializadas. Actualmente a produção comercializada situa-se em pouco mais de 60.000 toneladas (FAO, 2013).

O actual nível baixo de produção da castanha de caju constitui um dos maiores problemas, devido a falta de conhecimento por parte dos agricultores acerca do desenvolvimento e crescimento do fruto do cajueiro, as suas fases e quando atingem o ponto máximo do crescimento assim como a maturação fisiológica. E ainda, observa-se que estudos de crescimento do fruto do cajueiro em termos de comprimento e largura nos diferentes alinhamentos, com recurso a modelos estatísticos não são comuns em literaturas, tornando difícil para os produtores em casos de ocorrência de pragas, doenças entre outros fenómenos, tomar decisões, pois, não possuem informações que lhes possam auxiliar durante a sua produção.

1.3. Justificativa

Moçambique é actualmente a nível mundial um pequeno competidor por não possuir informações e tecnologias adequadas para a produção. Pelo facto de ter sido um dos maiores produtores, há necessidade de alterar o actual cenário vivido no país realizando estudos de crescimento do fruto e a posterior divulgação podendo ajudar os agricultores ou produtores no incremento da produção e produtividade desta cultura.

A descrição do crescimento de frutos por meio de modelos não lineares apresenta uma grande capacidade de síntese das informações presentes no conjunto de dados resumindo-as em apenas alguns parâmetros com interpretações práticas.

Isto é, os modelos de crescimento por exemplo o do Gompertz e Logístico ajustados ao crescimento de frutos permitem quantificar o seu desenvolvimento, estimar o crescimento máximo do fruto, períodos com taxas de crescimento acentuado e auxiliam na determinação do ponto óptimo de colheita que geralmente é determinado de forma subjectiva, tornando-se deste modo importante a modelação do crescimento do fruto desta cultura de modo a auxiliar o pesquisador e o agricultor na tomada de decisão sobre o manejo da cultura.

1.4. Objectivos

1.4.1. Geral

- ✓ Modelar o crescimento do fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L) clone Nhacundela por meio dos modelos não lineares Gompertz e Logístico em diferentes variáveis e alinhamentos de crescimento.

1.4.2. Específicos

- ✓ Descrever a curva de crescimento do fruto do cajueiro, clone Nhacundela em diferentes variáveis (comprimento e largura) e alinhamentos (norte e sul);
- ✓ Descrever o crescimento do fruto do cajueiro em termos do comprimento (mm) e largura (mm) após observada a fecundação;
- ✓ Comparar os modelos para verificar qual dos dois melhor ajusta-se aos dados de crescimento do fruto do cajueiro.

1.5. Hipóteses

Hipótese nula (H_0) – Os modelos (Gompertz e Logístico) não são adequados para a descrição dos dados de crescimento em comprimento e largura do fruto do clone Nhacundela.

Hipótese Alternativa (H_1) – Os modelos (Gompertz e Logístico) são adequadas para a descrição dos dados de crescimento em comprimento e largura do fruto do clone Nhacundela.

CAPITULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cajueiro

2.1.1. Taxonomia

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) pertence ao género *Anacardium* da família *Anacardiaceae*, que contém 65 géneros, com aproximadamente 440 espécies sendo a única espécie do género cultivada comercialmente. Diversas outras espécies foram descritas, sendo possível, no entanto, a existência de espécies ainda desconhecidas, como também uma superposição entre as conhecidas, necessitando, portanto, de mais estudos na área de sistemática para melhor classificação taxonómica do género (BARROS *et al.*, 1993).

Além do cajueiro, outras anacardiáceas de importância económica são conhecidas, destacando-se a manga (*Mangifera indica* L.), o pistache (*Pistaciavera* L.), o umbu (*Spondias tuberosa*), o cajá (*Spondias mombin* L.), a siriguela (*Spondias purpurea* L.) e o cajá-manga (*Spondias cytherea* Sonn.), mas nenhuma destas espécies apresenta tamanho destaque na actividade frutícola como o cajueiro (BARROS, 2002).

2.1.2. Origem e distribuição do cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma árvore nativa do Brasil, mas que foi levada pelos colonizadores portugueses para várias de suas colônias na África e Ásia. A partir dessas localidades, a espécie espalhou-se por vários países tropicais ao redor do mundo, e hoje é economicamente importante tanto para os agricultores que o cultivam, quanto para a economia de seus países (FONTENELE, 1982).

2.1.3. Produção da castanha de caju em Moçambique

Moçambique já esteve na lista dos cinco maiores produtores mundiais de castanha de caju, ocupando a décima colocação entre os maiores produtores, atrás do Vietname, Nigéria, Índia, Costa do Marfim, Indonésia, Filipinas, Brasil, Guiné – Bissau, Benim. Juntos com Moçambique, esses países são responsáveis por mais de 80% da produção mundial de castanha de caju (FAO 2013).

A baixa produção dos cajueiros está relacionada ao plantio por sementes, inadequado, manejo do solo e da planta, baixa fertilidade dos solos da maioria das áreas produtoras e condições climáticas adversas. Mas também existem factores intrínsecos que reduzem a produção como polinização deficiente, alta percentagem de pólen inviável, esterilidade do ovário, baixa incidência de flores hermafroditas acentuada queda de frutos nos estágios iniciais de desenvolvimento (ARAÚJO & SILVA, 1995).

A produtividade média dos pomares dos cajueiros tem decrescido, não alcançando, actualmente 250 quilogramas de castanha por hectare, e em anos de maior incidência de pragas e doenças não atinge mais que 120 quilogramas por hectare. Em Moçambique, o rendimento ou produtividade é muito baixo estando estimado entre 60 a 100 quilogramas por hectare (LOPES, *et al.*, 1993).

2.1.4 Características botânicas do cajueiro

O cajueiro divide-se em dois grupos de plantas, classificadas quanto ao porte: o comum e o anão. O tipo comum, também conhecido como gigante, é o mais difundido, apresentando porte elevado, altura entre 8 e 15 m e envergadura (medida da expansão da copa) que pode atingir geralmente até 20 m (CRISÓSTOMO *et al.*, 2001).

O tipo anão caracteriza-se pelo porte baixo, altura inferior a 4 m, copa homogénea, diâmetro do caule e envergadura de copa inferiores ao do tipo comum, precocidade etária, iniciando a produção entre 6 e 18 meses (BARROS *et al.*, 1998).

O cajueiro anão apresenta algumas vantagens sobre o cajueiro comum, sobretudo na colheita dos frutos e pseudofrutos, pois as plantas de porte inferior facilitam a realização de tratos culturais durante as etapas de produção, sendo recomendada sua utilização na formação de pomares comerciais (GIRÃO PARENTE, 1991).

Apesar de classificado como *A. occidentale* V. *nanum*, o cajueiro-anão-precoce, também conhecido por cajueiro-precoce e cajueiro-de-seis-meses, parece ser um ecótipo ou forma botânica do cajueiro-comum.

2.1.5. Aspectos botânicos do cajueiro anão

O cajueiro-anão é uma planta perene e de porte baixo, atingindo uma altura média de 5,4 m em plantio por semente. Em pomares estabelecidos com mudas enxertadas, e sendo empregada toda tecnologia disponível, é possível manter uma altura em torno de 3,0 m.

As folhas são simples, inteiras, alternas, de aspecto subcoriáceo, glabras, ovadas, obtusas, onduladas, pecioladas (curto), roxo avermelhadas quando novas, verde-amareladas quando maduras, caindo após atingir a maturação completa (BARROS, 1988).

As folhas do cajueiro medem de 10 a 20 cm de comprimento por 6 - 12 cm de largura (BARROS *et al.*, 1999).

O caju divide-se em duas partes: a castanha ou fruto e o pseudofruto ou pedúnculo desenvolvido. A castanha do caju é um aquênio reniforme, constituída pelo epicarpo, mesocarpo, endocarpo e a amêndoa. Seu comprimento e largura são variáveis, de cor castanho-acinzentada, a casca coriácea lisa, com mesocarpo alveolado, cheio de um líquido escuro, quase preto, cáustico, inflamável, denominado líquido da casca da castanha (LCC) (MENEZES, 1992).

2.1.6. Importância Socioeconómica e Nutricional

A produção e a comercialização de caju geram renda para mais de um milhão de famílias rurais, sendo que a comercialização de castanha de caju constitui importante actividade económica para pequenos, médios e grandes comerciantes. O processamento de castanha assegura emprego para milhares de trabalhadores no país, em particular nas zonas rurais do Norte e Sul de Moçambique, onde o cultivo do fruto melhor se adaptou aos solos arenosos e clima litorâneo das províncias de Nampula e Cabo Delgado, Gaza e Inhambane respectivamente (FREI, 2013).

O caju é rico em vitamina C e ferro e ajuda a proteger as células do sistema imunológico contra os danos dos radicais livres. A casca do caju é usada no tratamento de afta e infecções na garganta.

A amêndoa da castanha de caju constitui-se num dos principais produtos de utilização do cajueiro. É rica em proteínas, lípidos, carboidratos, fósforo e ferro, além de zinco,

magnésio, fibras e gorduras insaturadas, que ajuda a diminuir o nível de colesterol no sangue. Da amêndoa também pode ser extraído um óleo que pode utilizado como substituto do azeite (GAZZOA *et al.*, 2006).

Dentre os principais produtos, o LCC é utilizado na fabricação de tintas, vernizes, esmaltes especiais – com as mais variadas finalidades – inseticidas, fungicidas, pigmentos, plastificantes, isolantes, antioxidantes, adesivos ou aglutinantes para placas de partículas de madeira e aglomerados de cortiça, pastilhas de freio e discos de fricção (LIMA, 1988).

Já o pseudofruto é o prolongamento desenvolvido do pedúnculo, rico em açúcares, cálcio, fósforo, ferro, vitamina C, e taninos, podendo ser utilizado para o consumo *in natura*, na fabricação de doces, caju ameixa, fruta cristalizada, geléias, sucos, cajuína, aguardente, bebidas fermentadas além de uma variedade de pratos e quitutes (ALMEIDA & ARAÚJO, 1992).

2.1.7. Inflorência

As flores são pequenas, curto-pediceladas, pálidas, verdes esbranquiçadas, avermelhadas ou purpurinas (após a fertilização), dispostas em panículas terminais, pedunculadas, ramificadas e bracteadas na parte inferior. Os dois tipos de flores, masculinas (estaminadas) e hermafroditas com estas em maior número, porém, podendo ocorrer ambas numa mesma inflorescência, variam em quantidade e proporções entre plantas e até mesmo entre panículas de uma mesma planta, com o número de flores por panícula variando normalmente de 200 a 1.600 e a percentagem de flores hermafroditas de 0,5 a 25% do número total de flores (Imagem ilustrada na figura 1), (BRAGA, 1976).

O período de florescimento é variável de acordo com o local e o genótipo da planta, sendo relatado de cinco a sete meses para o tipo comum (Julho/Agosto a Dezembro/Janeiro) e de seis a oito meses (Junho/Julho a Janeiro/Fevereiro) no tipo anão precoce, podendo em alguns genótipos e ambientes específicos florescer durante todo o ano (BARROS, 1988).

O sistema reprodutivo da espécie é predominantemente alogâmico, ou seja, a fecundação é preferencialmente cruzada. No entanto, a presença e a abertura simultânea dos dois tipos de flores na mesma planta e na mesma panícula podem favorecer a autopolinização e conseqüentemente a endogamia, cuja taxa é ainda desconhecida, tendo os insectos como

importantes agentes polinizadores, sendo a abelha *Apis mellifera* a espécie mais importante (Imagem ilustrada na figura 2). Não foi registado nenhum sistema de auto-incompatibilidade (BARROS, 1988).

Flores do cajueiro: flor perfeita (hermafrodita) com o pistilo maior do que o estame mais desenvolvido; e flor estaminada (masculina) com o estame proeminente e sem a presença do pistil.



Figuras nº1: Flores do cajueiro: flor perfeita (hermafrodita) à esquerda e flor estaminada (masculina) a direita.

Fonte: Augusto Lopes Serrano, (2002).

Inflorescência do cajueiro sendo visitada pela abelha *Apis mellifera*, insecto que participa da polinização como está ilustrado na figura abaixo.



Figura nº2: Inflorescência sendo visitada pela abelha que participa na polinização.

Fonte: Augusto Lopes Serrano, (2002).

Numa mesma panícula, é possível observar: botão floral (flor fechada); flor recém-aberta, com pétalas de coloração branca; flor madura, com pétalas de coloração arroxeadas; flor perfeita (hermafrodita) fecundada, apresentando pedicelo arroxeados e início do

surgimento do fruto; e fruto em início de desenvolvimento; quando maduro, torna-se a castanha-de-caju, como ilustra a figura abaixo.



Figura nº3: Etapas da floração e início da frutificação do cajueiro.

Fonte: Augusto Lopes Serrano, (2002).

2.1.8. Fruto e o pseudofruto

O fruto, a castanha, é um aquênio reniforme que consiste de epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa. O peso é variável, encontrando-se castanhas de 3g a 12g, sendo um dos principais objectivos do melhoramento o aumento deste limite superior.

O epicarpo é liso, coriáceo, cinzento ou verde acinzentado; o mesocarpo é espesso, alveolado, cheio de um líquido chamado LCC (líquido da casca da castanha); a amêndoa, parte comestível da castanha tem formato de rim, é composta por dois cotilédones brancos, carnosos, oleosos e revestida por uma película pergaminácea (SOUSA, *et al.*, 2007).

O pedúnculo floral é hipertrofiado, carnosos, suculento e bastante variável em tamanho, peso, forma e cor. É comumente denominado de caju, embora também seja dada esta denominação ao conjunto fruto e pseudofruto (castanha e pedúnculo).

Sua coloração é variável de acordo com os genótipos, sendo amarelo ou vermelho-alaranjado quando maduro (Moura *et al.*, 2001).

2.1.9. Estágios de maturação do fruto e pseudofruto de cajueiro

Segundo ALVES *et al.*, (1999), os clones alaranjados apresentam 7 estágios de maturação que são:

- ✓ Pedúnculo Verde/castanha verde (estágio 1);
- ✓ Pedúnculo verde/castanha madura e seca (estágio 2);
- ✓ Pedúnculo verde-claro/castanha madura e seca (estágio 3);
- ✓ Pedúnculo com início de coloração amarela/castanha madura e seca (estágio 4);
- ✓ Pedúnculo amarelo com início de cor laranja/castanha madura e seca (estágio 5);
- ✓ Pedúnculo laranja claro/castanha madura e seca (estágio 6);
- ✓ Pedúnculo laranja escuro/ castanha madura e seca (estágio 7), como ilustra a figura abaixo.



Figura nº4: Estágios de maturação (1 à 7) do fruto e pseudofruto do cajueiro de clones alaranjados.

Fonte: MOURA *et al.*, (2011)

Segundo ALVES *et al.*, (1999), os clones vermelhos também apresentam 7 estágios de maturação que são:

- ✓ Pedúnculo Verde/castanha verde (estágio 1);
- ✓ Pedúnculo verde/castanha madura e seca (estágio 2);
- ✓ Pedúnculo verde-claro/castanha madura e seca (estágio 3);

- ✓ Pedúnculo com início de coloração laranja avermelhado/castanha madura e seca (estágio 4);
- ✓ Pedúnculo laranja avermelhado com início de cor vermelha/castanha madura e seca estágio 5;
- ✓ Pedúnculo vermelho claro/castanha madura e seca (estágio 6);
- ✓ Pedúnculo vermelho escuro/ castanha madura e seca (estágio 7) como ilustra a figura abaixo.



Figura n°5: Estágios de maturação (1 à 7) do fruto e pseudofruto do cajueiro de clones avermelhados.

Fonte: MOURA *et al.*, (2011)

2.1.10. Crescimento e Desenvolvimento do fruto e do pseudofruto

Nas primeiras semanas após a antese, a castanha de caju tem um crescimento rápido e exponencial, enquanto o pseudofruto aumenta seu tamanho lentamente, permanecendo desta maneira durante algumas semanas.

Após este período, o fruto começa a reduzir seu tamanho e então há uma inversão, em que o pseudofruto aumenta suas medidas rapidamente e a castanha começa a secar, reduzindo seu tamanho, como está representado na figura abaixo, (ALVES *et al.*, 1998).

Do surgimento do fruto (vingamento) até a completa maturação decorre um período médio de 52 dias. Quanto à vida útil esperada, dados experimentais obtidos de plantas seleccionadas adultas (33 a 35 anos) mostraram produções variando de 10,7kg a 29,7kg de castanha/safra, ou seja, ainda em plena actividade reprodutiva, o que permite concluir que pelo menos até 35 anos de idade o cajueiro-anão-precoce encontra-se em produção económica (OLIVEIRA, 2002).



Figura nº6: Etapas após a frutificação do cajueiro-anão-precoce desde o pequeno (à esquerda) até a maturação completa do fruto e do pedúnculo (à direita).

Fonte: Augusto Lopes Serrano, (2002)

2.1.11. Condições edáfo – climáticas

2.1.11.1. Solos

Tradicionalmente esta cultura tem sido cultivada em solos arenosos, seguindo, em extremo, a tradição de que esta planta tem preferência por estes tipos de solos.

O cultivo do cajueiro é praticado em solos leves e pobres, não pelo facto da planta preferir este tipo de solo, mas sim pelo facto de: nestes solos, serem muito poucas as culturas com possibilidades de serem exploradas economicamente. Este solo para ser considerado bom para o cultivo de cajueiro deve ser profundo, ou seja, o substrato rochoso ou outro impedimento qualquer situa - se abaixo de 200 cm. Solos com impedimento a uma profundidade de até 150 cm não são recomendados ou têm indicação de uso restrito. Assim, o cajueiro, como qualquer cultura, desenvolve - se melhor em solos de boa fertilidade, profundos, textura média, onde raízes possam penetrar livremente, com pH compreendido entre 5.0 e 6.5, livres de alumínio, bem drenados, mas com boa retenção de humidade (LOPES *et al.*, 1993).

2.1.11.2. Clima

O clima constitui o factor mais importante no estabelecimento e desenvolvimento de qualquer cultura. É o factor determinante da distribuição dos vegetais na natureza e das possibilidades de sucesso de uma exploração económica em qualquer região. O cajueiro, apresenta hábitos vegetativos característicos das plantas do clima tropical. Embora seja

encontrada medrando em regiões subtropicais, a cultura excede onde há condições climáticas que possibilitem um bom desenvolvimento, associado as condições edáficas desejáveis, e quando recebem os tratos culturais adequados (FROTA *et al.*, 1985).

As principais regiões produtoras de caju, exigem para seu desenvolvimento regime de altas temperaturas, sendo bastante sensível ao frio e as geadas. A temperatura média ideal para seu desenvolvimento e frutificação normal é de 27° C. Suporta, no entanto, temperaturas médias mais elevadas (33° a 35° C), sendo porém sensível a períodos prolongados sob temperaturas abaixo de 22° C, uma vez que as plantas jovens são fortemente prejudicadas pelo frio. As adultas apesar de suportarem melhor as temperaturas baixas, por curto período, têm a produção afectada quando ocorrem no período de floração ou frutificação, (BARROS *et al.*, 1984).

2.2. Análise de crescimento

O termo análise de crescimento, no contexto vegetal, refere-se a um conjunto útil de métodos quantitativos que descrevem e interpretam a performance de todo o sistema vegetal, seja ele cultivado em condições naturais, semi-naturais ou controladas. O crescimento, ainda nesse contexto, representa um aumento irreversível de algum atributo físico do vegetal, especialmente do material protoplasmático (HUNT, 1978). A partir de dados de crescimento, as causas desse crescimento podem ser estimadas e a análise de crescimento serve a esse propósito, isto é, avaliar o desenvolvimento vegetal e inferir sobre a contribuição de diferentes processos fisiológicos no desenvolvimento vegetal (BENINCASA, 2003).

A análise de crescimento é uma ferramenta para melhor conhecimento da planta como entidade biológica e que permite manear, racionalmente, as espécies cultivadas para expressão do seu potencial de produção. Em comunidades vegetais, a análise de crescimento é um dos primeiros passos na análise de produção primária, caracterizando-se como o elo entre o simples registo de rendimento das culturas e a avaliação deste por meio de métodos fisiológicos, podendo ser utilizada para conhecer a adaptação ecológica das plantas a novos ambientes, a competição entre espécies distintas, os efeitos de sistemas de manejo e a capacidade produtiva de diferentes génotipos (KVET *et al.*, 1971).

Como referência na análise de produção das espécies vegetais, a análise de crescimento requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados, o

que caracteriza uma grande vantagem em relação a outros tipos de análise. Essas informações podem ser tanto a quantidade de material contido na planta e em suas partes (caule, folhas, sementes, raízes e frutos), quanto o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar) obtidos em intervalos de tempo regulares durante o desenvolvimento fenológico da planta (PEREIRA & MACHADO, 1987).

Assim, a análise de crescimento descreve as condições morfofisiológicas das plantas em diferentes intervalos de tempo entre duas amostragens sucessivas, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade, avaliada por meio de índices fisiológicos e bioquímicos. É um método a ser utilizado na investigação dos fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como a adaptabilidade das espécies em ecossistemas diversos, efeitos de competição, diferenças genótípicas da capacidade produtiva e influência das práticas agronômicas sobre o crescimento (MAGALHÃES, 1986).

Esse tipo de análise fundamenta-se no facto de que, em média, 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo de seu crescimento, resultam da actividade fotossintética e o restante da absorção de nutrientes do solo (BENINCASA, 2003).

De modo geral, em uma curva hipotética do crescimento vegetal existe um período em que o crescimento é lento, seguido de uma fase de rápido aumento do tamanho, e após atingir um tamanho definitivo, a planta inicia uma fase de senescência, que se reflecte na paralisação de produção de matéria orgânica, levando finalmente a um decréscimo nessa produção (MAGALHÃES, 1986).

Basicamente, as informações utilizadas para medir o crescimento vegetal são a área foliar ou o acúmulo de matéria seca da planta, entretanto, a determinação da massa de matéria seca ou de suas partes (caule, folhas, fruto e outros) é mais apropriada para análise de crescimento (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Para realizar uma análise de crescimento de maneira eficiente, vários tipos de modelos estatísticos podem ser usados, de acordo com suas características, com o intuito de facilitar a interpretação dos processos envolvidos no sistema de produção vegetal.

2.3. Modelos não lineares

Modelos não lineares (MNL) usualmente são sustentados por alguma informação sobre a relação entre Y e x. Tal informação está vinculada à diferentes graus de conhecimento como:

- 1) Uma análise de um diagrama de dispersão de y contra x;
- 2) Restrições de forma da função (ser monótona, ser sigmóide);
- 3) A solução de uma equação diferencial sustentada por algum princípio/teoria;
- 4) Ou a interpretação dos seus parâmetros. Seja qual for o grau de conhecimento, a escolha de um modelo não linear raramente é empírica.

Um número crescente de pesquisadores compartilha o sentimento de que as relações entre variáveis biológicas são melhores descritas por funções não lineares. Processos como crescimento, decaimento, nascimento, mortalidade, abundância, competição e produção raramente são relacionados linearmente às variáveis explicativas (SCHABENBERGER; &PIERCE, 2002).

Nesse sentido, pode se dizer que os MNL melhor descrevem processos mecânicos e são úteis por acomodarem as restrições referentes aos tais processos. Por exemplo, em estudos de produção adubação sabe-se que os incrementos regulares de adubo (x) não geram incrementos regulares, mas incrementos decrescentes na produção (Y) e que a produção vai estabilizar após certo nível, pois passa ser limitada por outro factor, mesmo que a adubação seja aumentada indefinidamente. Essa é a lei do mínimo. Mesmo não avaliando a produção sob doses extremas de adubo, pode-se conhecer qual seria o seu valor limite ao considerar um MNL apropriado.

De maneira resumida, os MNL têm as seguintes vantagens sobre os modelos lineares (ML):

- ✓ Sua escolha tem sustentação baseada em teoria ou princípios mecânicos (físicos, químicos ou biológicos) ou qualquer outra informação prévia;

- ✓ Certos parâmetros são quantidade de interesse para os pesquisadores providos de interpretação;
- ✓ Podem ser feitas predições fora do domínio observado de x ;
- ✓ São parcimoniosos pois tipicamente possuem menos parâmetros;
- ✓ Partem do conhecimento do pesquisador sobre o fenómeno alvo;

Em contrapartida, as desvantagens são:

- ✓ Requerem procedimentos iterativos de estimação baseados no fornecimento de valores iniciais para os parâmetros;
- ✓ Métodos de inferência são aproximados;
- ✓ Exigem conhecimento do pesquisador sobre o fenómeno alvo.

A fórmula clássica de um modelo de regressão não linear é:

$$Y_i = f(X_i, \beta) + \varepsilon_i$$

Em que $i = 1, 2, 3, \dots, n$; Y_i é o vector com variável resposta (variável dependente); X_i é o vector de uma ou variáveis independentes; β é o vector de parâmetros; $f(\cdot)$ é a função (ou relação) que acredita-se existir entre as variáveis e ε_i é o vector associado ao modelo.

A principal característica dos modelos de regressão não lineares é que $f(X_i, \beta)$ é deduzido a partir de suposições teóricas por meio de equações diferenciais. Desta forma, os parâmetros resultantes (β) apresentam interpretação prática directa (CORDEIRO *et al.*, 2009).

2.3.1. Estimação dos parâmetros de modelos não lineares

Utilizado na estimação dos parâmetros em modelos não lineares, (GALLANT, 1987), o método dos mínimos quadrados consiste em encontrar o melhor ajustamento para um conjunto de dados tentando minimizar a soma de quadrados dos resíduos entre a curva ajustada e os valores observados. O método apresenta algumas variações para estrutura da matriz de co-variâncias, estruturas estas que diferem dependendo do conhecimento do fenómeno em estudo. A escolha de uma estrutura adequada pode tornar o modelo mais realista em relação aos dados como também melhorar a eficiência das estimativas.

Savian (2005), apresentou a caracterização da regressão em função do vector de erros da seguinte maneira:

- a) Modelos ordinários - aqueles cuja estrutura dos erros não viola nenhuma das pressuposições.
- b) Modelos ponderados - são aqueles cuja estrutura dos erros viola a pressuposição de homogeneidade de variâncias.
- c) Modelos generalizados - são aqueles cuja estrutura dos erros viola a pressuposição de independência dos erros e/ou de homogeneidade de variâncias.

2.3.2. Processos iterativos

Segundo BATES & WATTS, (1988), vários métodos iterativos são propostos para obtenção das estimativas de mínimos quadrados dos parâmetros de um modelo de regressão não linear. Os mais utilizados são o método de Gauss-Newton ou método da linearização, o método de Newton, o método Steepest-Descent ou método gradiente e o método de Marquardt, esses métodos diferem na forma como $\theta - \theta^o$ é calculado para propiciar as actualizações no vector de parâmetros.

2.4. Avaliadores de qualidade de ajuste

Obtidas as estimativas para os parâmetros dos modelos, torna-se necessária a escolha de critérios para seleccionar os melhores ajustes.

2.4.1. Coeficiente de determinação ajustado

De acordo com Drapper & Smith (1998) e Ratkowski (1983), o coeficiente de determinação, embora seja largamente utilizado para a escolha do melhor modelo, não faz ponderações sobre o número de componentes utilizados para o modelo matemático estimado. Portanto, na comparação dos modelos com base no coeficiente de determinação, utiliza-se o coeficiente de determinação ajustado, que faz uma ponderação pelo número de parâmetros e é dado por (TERRA, MUNIZ, SAVIAN, 2010).

$$R_a^2 = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - i)}{n - p} \right]$$

Onde:

R^2 – é o coeficiente de determinação;

n – é o número de medições;

p – é o número de parâmetros e;

i – está relacionado com o ajuste do intercepto da curva, sendo igual a 1 se houver intercepto e igual a 0, se não houver intercepto no modelo.

É importante ressaltar que o R_a^2 não tem a mesma interpretação do coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto da variação dos dados foi explicado pelo modelo. O R_a^2 perde esta interpretação sendo utilizado apenas para a selecção de modelos, de forma que o maior valor de R_a^2 indica um melhor ajuste.

2.4.2. Critério de Informação de Akaike

O critério de Informação de Akaike (AIC) é baseado na teoria de decisão e penaliza os modelos quanto ao seu número de parâmetros, evitando assim, modelos com excesso de parâmetros. Este critério de selecção é descrito em Akaike (1974) e pode ser definido como:

$$AIC = -2\ln(\text{like}) + 2p$$

Onde:

p – é o número de parâmetros do modelo e

$\ln(\text{like})$ – é o valor do logaritmo de base natural da função de verossimilhança, considerando as estimativas dos parâmetros, sendo que quanto menor o valor de AIC, melhor o ajuste.

2.4.3. Critério de Informação de Bayesiano

O Critério de Informação de Bayesiano é definido como a estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o verdadeiro modelo dentre os avaliadores. Quanto menor o

valor do critério de informação, melhor será o modelo. Este critério é descrito em Bayesiano (SCHWARZ, 1978) pela seguinte fórmula:

$$BIC = -2\log L(\hat{\theta}) + k\log(n)$$

2.5. Modelos de crescimento

Curvas de crescimento (sigmoidais) possuem uma larga aplicação em áreas como biologia, agronomia, economia, entres outras. Exemplos típicos ocorrem em estudos de crescimento humano, animal e vegetal. Essas curvas começam em algum ponto fixo e aumentam a sua taxa de crescimento monotónico até um ponto de inflexão, após este ponto esta taxa de crescimento começa a diminuir até a curva se aproximar de um valor final, chamado de assíntota (RATKOWSKY, 1983).

Geralmente estudam-se as curvas de crescimento por meio de funções não lineares em que apresentam algumas peculiaridades quanto ao procedimento de ajuste (DRAPER & SMITH, 1998). Os modelos são constituídos a partir de uma base teórica em que os parâmetros fornecem um maior conhecimento sobre o fenómeno estudado, o que gera um bom ajuste com menos parâmetros.

A escolha do modelo que melhor descreve a curva de crescimento usualmente é baseada na qualidade de seu ajuste aos dados, na interpretação biológica dos parâmetros. Vários tipos de modelos estatísticos podem ser usados, de acordo com suas habilidades, para facilitar a interpretação dos processos envolvidos no sistema de produção vegetal. Os modelos empíricos usados frequentemente para estimar o crescimento vegetal incluem a função Logística e de Gompertz (SEBER & WILD, 1989; RATKOWSKY, 1983).

2.5.1. O modelo Logístico

O modelo Logístico como em Seber & Wild (1989) é dado pela equação:

$$Y = \frac{A}{1 + \exp[(B - Kx_i)]}$$

Onde:

A – Corresponde ao valor assintótico, indicando o valor de estabilização da variável dependente em relação ao tempo;

K – Corresponde ao parâmetro de localização;

x_i – Medida relativa a taxa de crescimento da curva;

A curva logística é simétrica em relação ao ponto de inflexão $x = \beta$ quando $y = \frac{A}{2}$.

Neste ponto, a taxa de crescimento atinge seu valor máximo, ou seja, $W_{max} = \gamma \frac{\alpha}{4}$.

Quando os resultados inferenciais obtidos não são muito precisos, outras parametrizações podem ser consideradas de maneira que se ajustem melhor aos dados, como apresentado por Ratkowsky (1983).

2.5.2. O modelo Gompertz

O modelo Gompertz (SEBER & WILD, 1989), definido pela equação:

$$y = A \exp[-\exp(B - Kx_i)]$$

Onde:

A – Corresponde ao valor assintótico, indicando o valor de estabilização da variável dependente em relação ao tempo;

K – Corresponde ao parâmetro de localização;

x_i – Medida relativa à taxa de crescimento da curva;

É frequentemente usado em situações em que o crescimento não é simétrico em relação ao ponto de inflexão que ocorre em $B = Kx_i$ quando $y = \frac{A}{e}$, sendo $W_{max} = x_i \frac{A}{e}$.

Além do modelo Gompertz e Logístico, de acordo com MISCHAN & PINHO (2014), vários outros modelos de crescimento podem ser encontrados na literatura, onde destaca-se Brody, Von Bertalanffy, Richards e Webuill.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

Pretende-se neste presente capítulo expor todos procedimentos metodológicos usados para a realização deste trabalho. Desde descrição do local de estudo ou de estágio, definição da amostra, Técnicas de Colecta de Dados e Métodos de análise e interpretação dos dados.

3.1. Descrição da Área de Estudo

Segundo o Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Inharrime (PEDDI 2012 – 2015), a pequena povoação de Nhacoongo, localiza-se a 60 km a sul da capital provincial de Inhambane e 23 km da vila sede distrital de Inharrime, ao longo da Estrada Nacional nº1 (EN-1). Onde localiza-se o campo experimental do IIAM o posto Agronómico ou o centro de investigação de Nhacoongo, situado entre as coordenadas geográficas entre 24°18' de latitude Sul e 35°11' de longitude Este, a uma altitude de 30 m (vide a figura no anexo I).

3.1.1 Clima e Solos

O clima do distrito é dominado por zonas do tipo tropical seco, no interior, e húmido, à medida que se caminha para a costa, com duas estações: a quente ou chuvosa que vai de Outubro a Março e a fresca ou seca de Abril a Setembro (PEDDI, 2012 – 2015).

A zona litoral, com solos permeáveis e favoráveis para a agricultura e pecuária, apresenta temperaturas médias entre os 18° e os 33°C. A precipitação média anual na época das chuvas (Outubro a Março) é de 1500 mm, com maior incidência nos meses de Fevereiro e Março, em que chegam a ocorrer inundações (PEDDI, 2012 – 2015).

A zona interior do distrito apresenta solos franco-arenosos e areno-argilosos e uma precipitação média anual de 1000 a 1200mm, com temperaturas elevadas, que provocam deficiências de água (PEDDI, 2012 – 2015).

3.2. Técnicas de colecta de dados

3.2.1. Colecta de dados

Com este método, primeiramente observou-se o campo experimental e delimitou-se a área mas adequada para a execução da colecta de dados.

Os dados provêm da colecta feita no campo experimental do posto agronómico de Nhacoongo no distrito de Inharrime, no período de 05 de Novembro 2014 a 20 de Dezembro 2014 nos cajueiros do tipo anão precoce clone baptizada de Nhacundela.

O pomar foi instalado a seis anos e contém nove clones incluindo o clone Nhacundela, ocupando uma área de 10 ha, com 724 plantas dispostas em linhas e colunas e está delineado em quatro blocos de 228 m de comprimento e largura de 120m.

Durante a colecta de dados, acompanhou-se o crescimento e desenvolvimento do fruto do cajueiro, sendo que no primeiro dia começou-se pela inspecção das plantas que apresentavam a inflorescência e marcação das panículas que demonstravam a fecundação (com recurso a corda este método designado método de *maning job*, como ilustra a figura 7).



Figura nº7: Marcação da panícula do cajueiro já fecundada, esta marcada com a corda.

3.2.2 Amostra

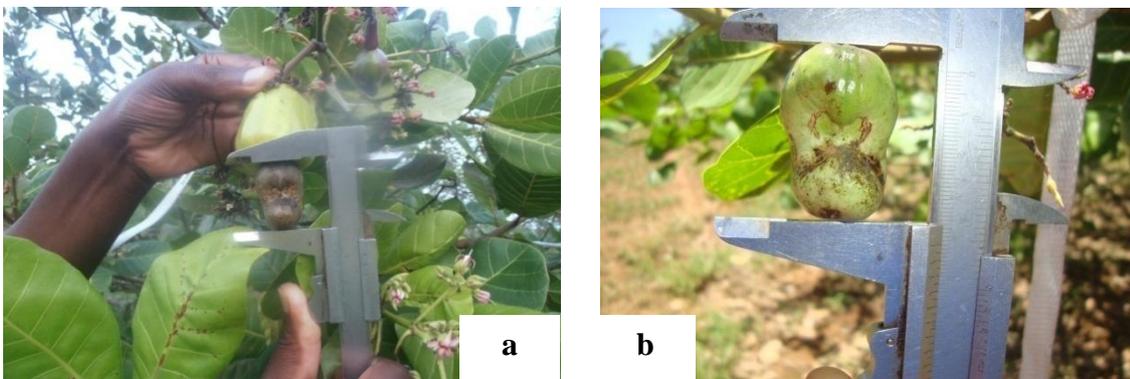
Recorreu-se a uma amostragem não probabilística, onde foram seleccionadas 12 plantas do cajueiro clone Nhacundela cuja sua inflorescência apresentava boa sanidade vegetal, de modo a permitir que o fruto completasse todos os estágios de crescimento. As panículas seleccionadas são as que apresentavam flores murchas com uma cor arroxeadada que evidenciasse a ocorrência da fecundação.

As plantas seleccionadas estavam distribuídas em dois blocos os quais possuíam quatro quadrantes. Para obter uma amostra representativa, inicialmente marcou-se 93 flores

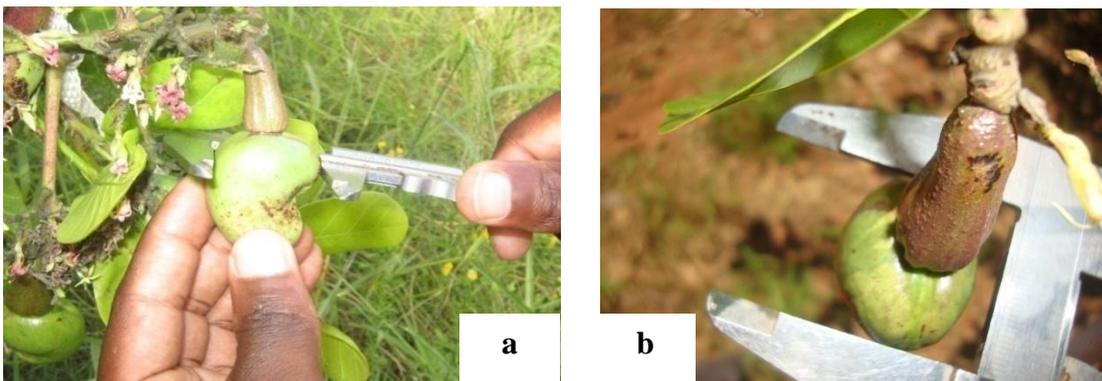
fecundadas, chegando ao fim com 33 frutos, isso devido a quedas súbitas dos frutos na medida em que cresciam. No total foram efectuadas 7 medições nas variáveis comprimento e largura e nos alinhamentos norte e sul, sendo a primeira efectuada 3 dias depois da constatação da fecundação das panículas e as restante 6 medições num intervalo de 5 dias.

3.2.3. Variáveis

As variáveis dependentes de avaliação foram: comprimento e largura para a castanha de caju, as mesmas foram medidas a partir da vista frontal (comprimento) e lateral (largura) do fruto com recurso a paquímetro e divididos em dois alinhamentos (norte e sul) como indicou a bússola para obter os dados, como ilustram as figuras 8 e 9 abaixo.



Figuras n°8: Medição dos frutos a partir da vista frontal (em comprimento), para a) e b).



Figuras n°9: Medições dos frutos a partir da vista lateral (em largura), para a) e b).

Variáveis independentes – são aquelas que se introduzem intencionalmente para verificar-se a relação entre suas variações e o comportamento de outras variáveis, ou seja, correspondem em função do qual se deseja conseguir realizar ou obter resultados (JUNG, 2003).

A variável independente em estudo é tempo (unidade são dias). Era acompanhado o desenvolvimento do fruto, a primeira medição foi 3 dias após constatação da fecundação da flor e as restantes num intervalo de 5 em 5 dias até atingir a maturação fisiológica.

3.3. Métodos de análise e interpretação dos dados

3.3.1. Modelos ajustados

Foram ajustados os modelos de crescimento não linear Logístico e Gompertz de acordo com a parametrização apresentada por Seber & Wild (1989), sendo descritos pelas seguintes expressões:

i. Modelo Logístico com erros independentes

$$Y_i = \frac{A}{1 + \exp(B - Kx_i)} + \varepsilon_i$$

ii. Modelo Gompertz com erros independentes

$$Y_t = A \exp[-\exp(B - Kx_i)] + \varepsilon_i$$

Onde:

Y_i - Expresso o valor da variável dependente (comprimento e largura) observada na i -ésima idade do fruto;

A - é a assíntota do modelo, ou seja, valor de estabilização da variável dependente em relação ao tempo;

B - o parâmetro de locação, sem interpretação biológica;

K - determina a taxa de expressão do crescimento;

x_i - a idade do fruto, em dias após a floração;

ε_i - é o erro experimental com média zero e variância σ^2 .

3.3.2 Critérios para selecção do modelo

De acordo com MOTULUSKY & CHRISTOPOULOS, (2003), a selecção do modelo mais adequado para comparar e descrever o crescimento do fruto é realizada com base na precisão dos ajustes obedecendo aos seguintes critérios:

3.3.2.1 Coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2)

$$R_{aj}^2 = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - i)}{n - p} \right]$$

Onde:

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT}$$

SQR = soma de quadrado do resíduo;

SQT = soma de quadrado total;

n = número de observações utilizadas para ajustar a curva;

p = número dos parâmetros;

i = 1 se tiver intercepto e 0 se não tiver intercepto.

Tem-se que quanto maior for o valor de R_{aj}^2 , melhor será o modelo.

3.3.2.2 Critérios de informação

O critério de Informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC) (SCHWARZ, 1978) são outras formas estatísticas que servem como medidas de comparação da qualidade de ajuste dos modelos.

A estimativa do AIC é dada pela seguinte fórmula:

$$AIC = -2\log(\hat{\theta}) + 2k$$

O valor do critério BIC para um determinado modelo é:

$$BIC = -2\log L(\hat{\theta}) + k\log(n)$$

Onde:

$L(\hat{\theta})$ - é o máximo da função;

k – o número de parâmetros no modelo;

n – é o número de observações usadas na estimação do modelo em estudo.

Tanto o AIC e o BIC são usados para comparar modelos não lineares e o melhor modelo, considerando o ajuste, será aquele que apresentar menor valor.

3.3.3 Análise dos resíduos

O teste estatístico de Shapiro -Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) é um dos mais utilizados para a verificação do pressuposto em que rejeita a hipótese de normalidade quando o valor de p é inferior ou igual a 0,05.

Um gráfico dos resíduos contra os valores estimados pode ser utilizado para examinar se as variâncias dos erros são constantes, observando se a dispersão dos resíduos ocorre aleatoriamente em torno da média zero.

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

Em que:

x_i são valor amostrais dos resíduos ordenados;

\bar{X} é média dos resíduos;

b é o valor calculado com base nas médias das variâncias e co-variâncias.

O teste estatístico frequentemente usado para heterocedasticidade é chamado de teste de Breusch- Pagan (BREUSCH & PAGAN, 1979), em que a hipótese nula é que os resíduos são homocedásticos, logo com valor de p inferior ou igual a 0,05 a hipótese nula é rejeitada.

$$u_i = \frac{\varepsilon_i^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$$

Resíduos relacionados com o tempo são chamados autocorrelacionados e para verificar a existência de correlação entre os resíduos, pode-se plotar os resíduos contra o tempo ou os

resíduos contra qualquer outra variável de interesse. Quando os erros são independentes, espera-se que os mesmos flutuem aleatoriamente em torno das médias zero.

O teste de Durbin-Watson (Durbin & Watson, 1950) testa a independência ou a existência de autocorrelação de primeira ordem e é calculado por:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (u_t - u_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n (u_t)^2}$$

Onde:

u_t - é o resíduo no tempo t ;

u_{t-1} - é o resíduo no tempo $t-1$.

Tem-se que a um valor de p inferior ou igual a 0,05 rejeita-se a hipótese de dependência nos resíduos.

3.3.4. Interpretação dos dados

Após a colecta de dados, fez-se a análise dos dados dos resíduos, a estimação dos parâmetros e a verificação da qualidade do ajuste por meio dos pacotes `nlm`, `lmtest`, `nlstools` e `qpcr` disponíveis no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) versão 3.12.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Feitos os ajustes de modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento em comprimento e largura do fruto do caju, considerando distribuição normal, variâncias homogêneas e resíduos independentes, foram extraídos os resíduos de cada modelo e aplicados os seguintes testes estatísticos: Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan e Durbin-Watson com vista a verificar as pressuposições, onde os resultados são apresentados nas tabelas 1 e 2.

4.1 Análise dos Resíduos com base nos testes dos pressupostos dos modelos não lineares

Tabela nº1: Estatística dos testes e valor p para os testes de Shapiro Wilk (SW), Breusch Pagan (BP) e Durbin Watson (DW) ajustados aos dados do modelo Gompertz.

Alinhamento	Variável	SW	Valor-p	BP	Valor-p	DW	Valor-p
Norte	Comprimento	0,9727	0,9169	2,9053	0,2340	3,2370	0,3240
	Largura	0,8924	0,2875	5,6992	0,0579	2,0731	0,2160
Sul	Comprimento	0,9014	0,3396	2,7766	0,2495	3,2059	0,3740
	Largura	0,8985	0,3221	5,7388	0,0567	2,0761	0,2440

A partir da tabela – 1, para o teste de normalidade, observou-se que o valor de p do teste de Shapiro Wilk foi maior que 0,05 para as variáveis estudadas nos alinhamentos norte e sul do modelo ajustado, tendo-se concluído que os resíduos do modelo seguem uma distribuição normal.

No teste de homogeneidade dos resíduos, o valor p do teste de Breusch Pagan é superior a 0.05, podendo afirmar se que os resíduos possuem uma variância constante, ou seja, as variâncias dos resíduos são homogêneas para as variáveis estudadas nos alinhamentos norte e sul.

No teste de independência ou de Durbin Watson a nível de significância de 5%, observou –se que são independentes ($P > 0.05$), ou seja, a autocorrelação é da primeira ordem em todos alinhamentos e todas variáveis. Resultados similares foram encontrados por Mendes *et al.*, (2008), Terra *et al.*, (2010) e Fernandes *et al.*, (2014), no ajuste de modelos não lineares, considerando estrutura autoregressiva de primeira ordem para o vector residual que também obtiveram estimativas dos parâmetros mais precisos.

Tabela nº2: Estatística dos testes e valor p para os testes de Shapiro Wilk (SW), Breush Pagan (BP) e Durbin Watson (DW) ajustados aos dados do modelo Logístico.

Alinhamento	Variável	SW	Valor-p	BP	Valor-p	DW	Valo-p
Norte	Comprimento	0,9709	0,9047	3,8600	0,1451	2,6469	0,8400
	Largura	0,9419	0,6561	2,7121	0,2577	2,8524	0,8760
Sul	Comprimento	0,9001	0,3314	1,0778	0,5834	1,6896	0,026
	Largura	0,9262	0,5191	4,7649	0,0923	2,0710	0,2620

Tendo como base os resultados obtidos na tabela – 2, observou-se que os resíduos do modelo seguem uma distribuição normal, o que é confirmado pelo estudo SHAPIRO & WILK, (1965).

No teste de homogeneidade dos resíduos, o valor p do teste de Breush Pagan é superior a 0.05, constatando-se que os resíduos possuem uma variância constante a um nível de significância de 5%, ou seja, as variâncias dos resíduos são homogêneas para as variáveis estudadas nos alinhamentos norte e sul, isto é sustentado pelo BREUSCH & PAGAN (1979) no seu estudo.

No teste de independência ou de Durbin Watson a nível de significância de 5%, verifica-se que são independentes ($P > 0,05$) no alinhamento norte das variáveis comprimento e largura e no alinhamento sul variável largura, ou seja, os resíduos não estão autocorrelacionados, ao passo que o alinhamento sul da variável comprimento os resíduos estão autocorrelacionados pois o valor de ($P < 0,05$). Desta forma pode-se afirmar que neste alinhamento há uma dependência nos resíduos. Assim sendo, para o crescimento do fruto no alinhamento sul da variável comprimento, deve – se ajustar um modelo generalizado (esse modelo assume os resíduos que estão correlacionado ou seja são dependentes).

4.2 Modelos ajustados na estimativa dos parâmetros para os dados do crescimento em comprimento.

Foram ajustados os modelos Gompertz e Logístico aos dados para descreverem o crescimento do fruto do cajueiro nos alinhamentos norte e sul da variável comprimento para obter resultados com interpretação biológica.

Tabela nº3: Estimativas do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico nos dados do comprimento de frutos de cajueiro e o respectivo valor P a um nível de significância de 95% no alinhamento norte e sul.

Alinhamento	Parâmetros	LI	Estimativa	LS	Erro padrão	Valor-p P > (t)
Modelo Gompertz						
Norte	A	32,099	34,911	38,859	29,946	7,4e-06***
	B	0,7580	1,0741	1,4626	8,663	0,001021**
	K	0,0723	0,099	0,1321	9,314	0,00074***
Sul	A	32,415	37,685	40,165	14,284	0,00014***
	B	0,6199	1,0192	1,6112	5,969	0,00396***
	K	0,0437	0,0805	0,1246	5,450	0,00551***
Modelo Logístico						
Norte	A	31,26	33,725	36,82	35,412	3,8e-06***
	B	1,58	2,1255	2,83	9,583	0,00066***
	K	0,11	0,1474	0,20	9,557	0,00067***
Sul	A	32,629	35,370	39,09	30,861	6,5e-06***
	B	1,6616	2,1683	2,821	10,774	0,00042***
	K	0,0965	0,1304	0,171	9,697	0,00063***

LI = limite inferior, LS = limite superior

Nos modelos Gompertz e logístico, os parâmetros A, B e K foram significativos pelo teste t a um nível de significância de 5% nos alinhamentos norte e sul da variável comprimento, como pode-se observar nos resultados da tabela 3.

As taxas de crescimento do fruto do cajueiro em comprimento como está indicado no parâmetro K são maiores no modelo Logístico comparativamente ao modelo Gompertz em ambos alinhamentos, isto deve-se a rapidez ao atingir a estabilidade, e resultados similares foram encontrados por FERNANDES *et al.* (2014) no estudo de curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos, onde as taxas de crescimento atingiram maior estabilidade com rapidez no modelo Logístico.

O modelo Gompertz teve maior comprimento máximo do fruto em relação ao modelo Logístico como está representado pelo parâmetro A, em ambos alinhamentos os mesmos são alcançados 35 dias após observada a fecundação. Este período está de acordo com FILGUEIRAS *et al.* (1999), num estudo de crescimento de fruto de cajueiro em que o comprimento máximo foi observado entre 30 a 36 dias após a fecundação. Concordando com Pratt & Mendonza (1980), em estudos de crescimento do fruto do cajueiro, onde o crescimento máximo foi alcançado em torno dos 30 dias, após a antese.

Tendo como base a fórmula do ponto de inflexão para o modelo Gompertz $\frac{A}{e}$ ao longo do tempo $\frac{B}{K}$, sustentados aos resultados obtidos na tabela 3, o ponto de inflexão para o modelo Gompertz ocorre quando o fruto alcança, 12,84mm do crescimento, no tempo 11 dias após observada a fecundação para o alinhamento norte e 13,86mm do crescimento, no tempo 13 dias após observada a fecundação para o alinhamento sul.

De acordo com o comentário do GAZOLLA *et al.* (2011) que diz o ponto de inflexão do modelo logístico alcança 50% do seu valor final, ou seja, $\frac{A}{2}$ no tempo $\frac{B}{K}$, e isto não fugiu a regra pois na base dos resultados o ponto de inflexão do modelo ocorre quando atinge a metade ou seja aos 16,86 mm no tempo de 14 dias após observada a fecundação para o alinhamento norte e no crescimento de 17,69mm no tempo de 17 dias para o alinhamento sul.

Quando comparados os dois modelos, observa-se que o modelo Gompertz, possui menores valores comparativamente ao modelo Logístico devido as características do modelo

Gompertz em que a curva atinge o ponto de inflexão antes de se alcançar o crescimento máximo ao passo que o Logístico é simétrico no ponto de inflexão, isto é, o período em que a taxa de crescimento do fruto é decrescente e crescente durante o desenvolvimento do fruto é equivalente.

Nos gráficos 1 e 2, estão representados as curvas resultantes do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico.

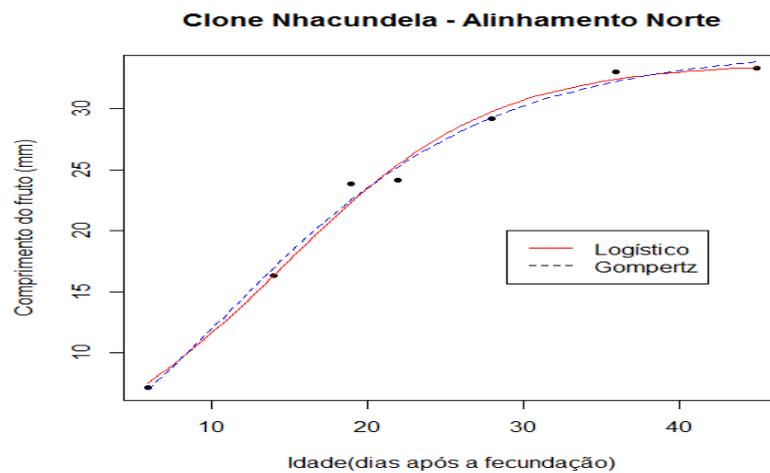


Gráfico nº1: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável comprimento alinhamento norte.

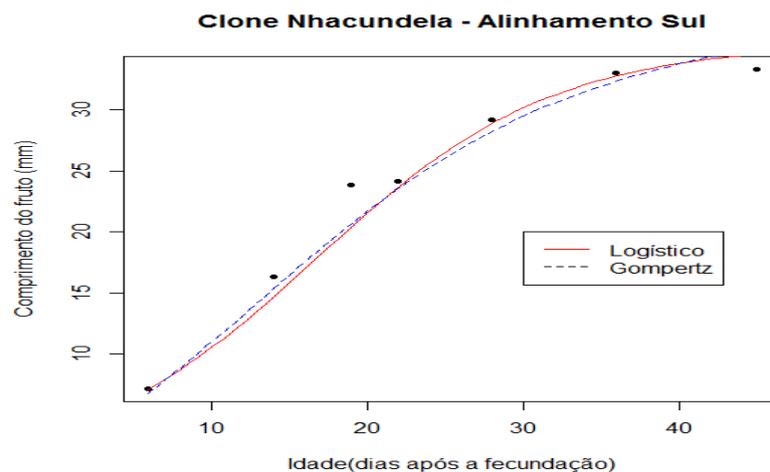


Gráfico nº2: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável comprimento alinhamento sul.

4.3. Modelos ajustados na estimativa dos parâmetros para os dados do crescimento em largura.

Foram ajustados os modelos Gompertz e Logístico aos dados para descreverem o crescimento do fruto do cajueiro nos alinhamentos norte e sul da variável largura para obter resultados com interpretação biológica.

Tabela nº4: Estimativas do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico nos dados da largura de frutos de cajueiro e o respectivo valor P a nível de significância de 95% no alinhamento norte e sul.

Alinhamento	Parâmetros	LI	Estimativa	LS	Erro padrão	Valor-p P > (t)
Modelo Gompertz						
Norte	A	29,579	29,157	31,118	46,11	1,32e-06***
	B	0,9048	1,1106	1,3465	14,10	0,00147***
	K	0,0808	0,0979	0,1169	14,86	0,000119**
Sul	A	28,099	30,106	32,859	9,932	0,000577***
	B	0,9980	1,2486	1,5326	3,210	0,032579*
	K	0,0965	0,1004	0,1221	3,278	0,03054*
Modelo Logístico						
Norte	A	31,26	33,725	36,82	35,412	1,80e-06***
	B	1,58	2,1255	2,83	9,583	2,91e-05***
	K	0,11	0,1474	0,20	9,557	3,12e-05***
Sul	A	25,961	28,603	30,86	16,998	7,02e-05***
	B	2,0418	2,7182	3,058	4,594	0,0101*
	K	0,1214	0,1693	0,193	4,512	0,0107*

LI = limite inferior, LS = limite superior

Nos modelos Gompertz e logístico, os parâmetros B e K foram significativos pelo teste t a um de nível significância de 1% nos alinhamentos sul e os restantes foram significativos pelo teste t a um nível de significância de 5% , como pode-se observar nos resultados da tabela 4.

As taxas de crescimento do fruto do cajueiro em largura como está indicado no parâmetro K são maiores no modelo Logístico comparativamente ao modelo Gompertz em ambos alinhamentos, isto deve-se a rapidez ao atingir a estabilidade, e resultados similares foram encontrados por FERNANDES *et al.* (2014) no estudo de curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos, onde as taxas de crescimento atingiram maior estabilidade com rapidez no modelo Logístico.

O modelo Gompertz teve maior largura máxima do fruto no alinhamento sul em relação ao modelo Logístico e modelo logístico possui maior largura máxima no alinhamento norte, como está representado pelo parâmetro A, os mesmos alcançados 35 dias após observada a fecundação. Resultados similares foram encontrados por Almeida *et al.* (1987), em estudos de crescimento de castanha e do pedúnculo do caju, a partir de fecundação da flor até a colheita do fruto em que a largura máxima foi observado entre (28 a 35) dias após observada a fecundação, sustentado ainda por YAHIA, (2001) que afirma que após a antese o processo de crescimento da castanha é rápido, atingindo o tamanho máximo em torno de 30 dias.

Tendo como base a fórmula do ponto de inflexão para o modelo Gompertz $\frac{A}{e}$ ao longo do tempo $\frac{B}{K}$, sustentados aos resultados obtidos na tabela 4, o ponto de inflexão para o modelo Gompertz ocorre quando o fruto alcança, 10,73mm do crescimento, no tempo 11 dias após observada a fecundação para o alinhamento norte e 11,08mm do crescimento, no tempo 12dias após observada a fecundação para o alinhamento sul.

De acordo com o comentário do GAZOLLA *et al.* (2011) que diz o ponto de inflexão do modelo logístico alcança 50% do seu valor final, ou seja, $\frac{A}{2}$ no tempo $\frac{B}{K}$, o ponto de inflexão do modelo ocorre quando atinge a metade ou seja aos 14,0 mm no tempo de 15 dias após observada a fecundação para o alinhamento norte e no crescimento de 14,0mm no tempo de 16 dias para o alinhamento sul.

De acordo com os resultados obtidos no cálculo do ponto de inflexão dos modelos Gompertz e Logístico, o modelo Gompertz obtêm o seu ponto de inflexão antes do fruto alcançar a metade do seu crescimento, tendo 10,73mm em 11 dias, 11,08mm em 12 dias após observada a fecundação para o alinhamento norte e sul respectivamente e o modelo Logístico ocorre quando atinge a metade do crescimento máximo, isto é, 14,0 mm no tempo de 15 dias e 14,0mm no tempo de 16 dias após observada a fecundação para os alinhamentos norte e sul respectivamente.

Quando comparados os resultados dos dois modelos nos dois alinhamentos, observa-se que no modelo Gompertz, a uma diferença de quase 1mm e 1dia em relação ao alcance do ponto de inflexão e isto pode estar condicionado a actuação dos factores climatéricos (a radiação que é bastante importante). Ao passo que no modelo Logístico possui mesmo valor do crescimento e só difere em 1 dia no tempo, isto porque o modelo é simétrico no ponto de inflexão.

No gráfico 3 e 4, estão representadas as curvas resultantes do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para o alinhamento norte e sul.

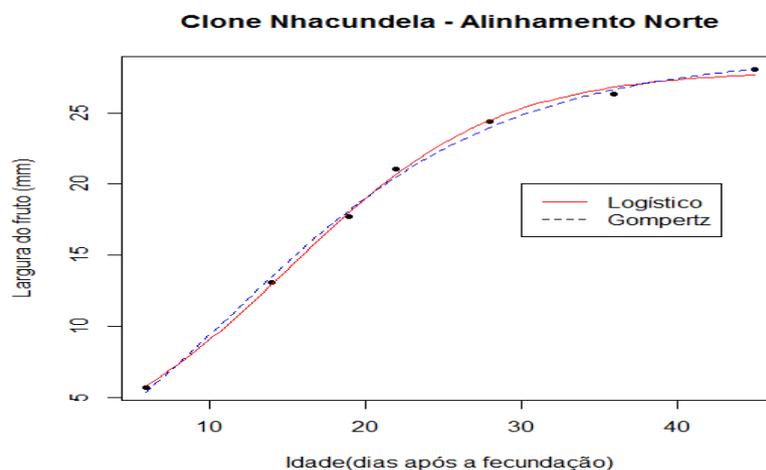


Gráfico nº3: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável largura alinhamento norte.

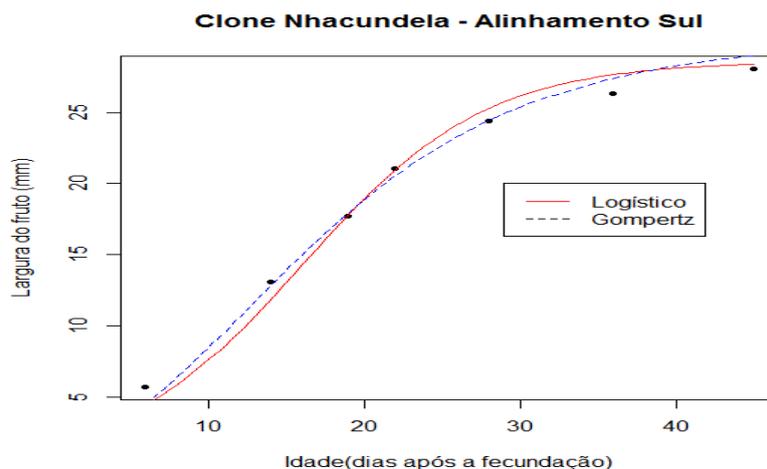


Gráfico nº4: Ajuste dos modelos não lineares (Gompertz e Logístico) na descrição do crescimento do fruto do cajueiro ao longo do tempo na variável largura alinhamento sul.

4.4. Comparação da qualidade de ajuste dos modelos

4.4.1. Variável comprimento

Para comparar a qualidade de ajuste dos modelos Gompertz e Logístico foram ajustados os dados do fruto do cajueiro em comprimento e largura, usados os critérios de informação de Akaike, critérios de informação bayesiana, coeficiente de determinação ajustado como está representado nas tabelas 5 e 6.

Tabela nº5: Avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para os dados do crescimento do fruto do cajueiro em comprimento.

Alinhamento	Avaliadores	Gompertz	Logístico
Norte	AIC	24,16506	24,9145
	BIC	23,9487	24,69814
	Radj ²	0,9885189	0,9868039
Sul	AIC	30,39161	24,64328
	BIC	30,17525	24,42692
	Radj ²	0,9752743	0,9891904

De acordo com os avaliadores de qualidade do ajuste do modelo, tanto o Gompertz assim como Logístico foram adequados para descrever o crescimento em comprimento do fruto do cajueiro (tabela 5). Quanto ao alinhamento norte, não houve uma diferença significativa em termos dos avaliadores de qualidade de ajuste no modelo Gompertz assim como no modelo Logístico.

Quanto ao alinhamento sul, o modelo Logístico mostrou-se mais eficiente que o modelo Gompertz, pois apresenta valores inferiores no critério de informação de Akaike e critério de informação de bayesiano. Para o coeficiente de determinação ajustado, o modelo logístico foi melhor por apresenta valor superior que o modelo Gompertz, e com isso dá-se relevância em termos de superioridade o modelo logístico, pois resultados semelhantes foram encontrados por FERNANDES (2012) no estudo de curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos de plantio utilizando modelos não lineares em que o modelo Logístico foi melhor nesses avaliadores de qualidade de ajuste.

4.4.2. Variável largura

Para comparar a qualidade de ajuste dos modelos Gompertz e Logístico foram ajustados os dados do fruto do cajueiro em largura, usados os critérios de informação de Akaike, critérios de informação bayesiana, coeficiente de determinação ajustado.

Tabela nº6: Avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos Gompertz e Logístico para os dados do crescimento do fruto do cajueiro em largura.

Alinhamento	Avaliadores	Gompertz	Logístico
Norte	AIC	14,99802	11,48463
	BIC	14,78166	11,26827
	Radj ²	0,9956869	0,9973251
Sul	AIC	36,91546	33,77126
	BIC	36,6991	33,5549
	Radj ²	0,9239912	0,95333594

Segundo os avaliadores de qualidade do ajuste dos modelos representados na tabela 6, tanto o modelo Gompertz e Logístico foram adequados para descreverem o crescimento do fruto do cajueiro, o modelo Logístico apresentou menores valores comparativamente ao

modelo Gompertz, no que concerne aos avaliadores (AIC) e (BIC) e em todos alinhamentos, com isso torna o modelo logístico melhor que o Gompertz por apresentar resultados que estão dentro dos parâmetros indicados.

Para o caso do coeficiente de determinação ajustado, o modelo Logístico foi melhor que o Gompertz, por apresentar maior valor em todos alinhamentos (norte e sul). Sendo assim, recomenda-se o uso do modelo logístico, pois em termos comparativos apresenta resultados que estão dentro dos parâmetros. Resultados semelhantes foram encontrados por FERNANDES (2012), no estudo de curva de crescimento do fruto do cafeeiro em diferentes alinhamentos de plantio utilizando modelos não lineares, em que o modelo Logístico foi melhor nesses avaliadores de qualidade de ajuste.

Desta forma rejeita-se a hipótese nula, e aceita – se a hipótese alternativa que diz os modelos (Gompertz e Logístico) são adequados para a descrição dos dados de crescimento em comprimento e largura do fruto do clone Nhacundela.

4.5. Descrição da curva de crescimento em diferentes variáveis e alinhamentos

Segundo SÁGIO (2009), geralmente a curva de crescimento em modelos não lineares tendem a ser exponencial ou sigmoidais (formato de um **S**). E, os resultados obtidos nos gráficos (1,2,3 e 4) não fugiram a regra, pois, todos gráficos tendem ao formato S, tendo o primeiro estágio de crescimento lento e quase imperceptível em todos gráficos com valores variando entre (5 a 15) mm a partir dos 3 dias após a fecundação até aos 12 dias em todos os alinhamentos norte e sul para todas variáveis comprimento e largura.

Na fase seguinte, observou-se que o crescimento é rápido, atingindo o crescimento máximo do fruto (a essa fase atinge-se o maturação fisiológica do fruto) e graficamente essa fase é atingida 14 dias após observada a fecundação do fruto, com valores variando entre (15 a 35) mm e (15 a 30) mm para os dados das variáveis comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul respectivamente. Por fim, segue a fase em que o crescimento mantém, ou seja, a fase da estagnação do crescimento e uma rápida expansão da massa do fruto reduzindo o seu tamanho.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Após a senda da pesquisa, tendo com base os resultados obtidos da análise dos dados agrícola do crescimento do fruto do cajueiro harmonizados aos modelos de crescimento estatísticos, conclui-se que:

Com base nos dados da estimativa do ajuste do crescimento do fruto do cajueiro, aos modelos Gompertz e Logístico, o acúmulo da matéria fresca contido nos frutos obteve-se (34,9; 33,7) mm e (37,7; 35,4) mm para os alinhamentos (norte e sul) respectivamente da variável comprimento e (29,1; 27,9) mm e (30,1; 28,6) mm para os alinhamentos (norte e sul) respectivamente da variável largura. Com estes resultados, pode se concluir que, o alinhamento sul na variável comprimento é o mais adequado para intensificar a produção, pois, contém maiores valores de crescimento máximo.

Na taxa de crescimento do fruto do cajueiro, o modelo logístico apresentou maiores valores nas variáveis comprimento (0,14N; 0,13S) e largura (0,14N; 0,16S), comparativamente ao modelo Gompertz (0,09N; 0,08S) e (0,09N; 0,1S) para variáveis comprimento e largura respectivamente. Quando os valores da taxa de crescimento são maiores favorecem no acúmulo da matéria fresca e na rapidez para a estabilização dos frutos.

A partir da representação gráfica, verificou-se que as curvas de crescimento dos gráficos em diferentes variáveis e alinhamentos tendem a ser sigmoidais, onde os gráficos da variável comprimento nos alinhamentos (norte e sul) apresentam maiores valores de acúmulo da matéria fresca e isso contribuiu para o crescimento rápido dos frutos do cajueiro e atingindo assim a fase da maturação fisiológica com maior rapidez.

Os modelos Gompertz e Logístico, apresentam uma boa qualidade de ajuste nas variáveis comprimento e largura nos alinhamentos norte e sul respectivamente. Mas o modelo logístico ajusta-se melhor aos dados do crescimento do fruto do cajueiro no alinhamento sul variável comprimento e alinhamento norte e sul variável largura.

5.2 Recomendações

- ✓ Recomenda-se o uso do modelo logístico para estudos de crescimento do fruto do cajueiro, pois apresenta melhores resultados no que concerne a qualidade de ajuste;
- ✓ Aos agricultores ou produtores, recomenda-se a uma capacitação para obterem conhecimento relacionados com o crescimento do fruto do cajueiro para intensificar a sua produção e produtividade;
- ✓ Aos estudantes, recomenda-se a realização de pesquisas desta natureza não só em cajueiro mas sim em outras fruteiras de interesse comercial, assim como em hortícolas usando modelos não lineares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAIKE, H. A. (1994), A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, Boston, v. 19, n6, p. 716-723.
- ALMEIDA, J. I. L. *et al.*, (1987), Estudo sobre o crescimento do fruto e pseudo-fruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) do tipo anão precoce. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 9, n. 3, p. 21-30.
- ALVES, R. E. *et al.*, (1998) “Colheita e conservação pós-colheita do pedúnculo e da castanha de caju”. In: SILVA, V. V. (Ed.). 500 Perguntas e 500 Respostas -Caju. Fortaleza: EMBRAPA Agro-indústria Tropical.
- ARAÚJO, J. P. P. & SILVA, V. V. (1995), Cajucultura: Modernas técnicas de produção. Fortaleza – CE,.
- BARROS, L.M. *et al.*, (1993) Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro-anão-precoce. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, (EMBRAPA - CNPAT. Circular Técnica, 1.
- BARROS, L. M. *et al.*, (1984) A cultura do Cajueiro Anão. Fortaleza: EPACE. 1984.
- BARROS, L. M. (1988) “Melhoramento”. In: LIMA, V.P. M. S. (Ed.). A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil. Fortaleza: ETENE.
- BARROS, L. M. *et al.*, (1998) Cajueiro anão precoce. Biotecnologia, v.2, n.6, p.18-21.
- BARROS, L. M. *et al.*, (1999) “Hibridação em caju”. In: BORÉM, A. (Ed.). Hibridação artificial de plantas. Viçosa: UFV.
- BARROS, L. M. (2002) Caju, produção: aspectos técnicos. Brasília: EMBRAPA, 148p.
- BARROS, M. P. *et al.*, (2010) Unidades foto-térmicas e temperatura-base inferior de frutos de mangueira alfa, na Baixada Cuiabana. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal.

BATES, D. M. & WATTS, D. G. (1980), Relative curvature measures of non linearity: with discussion. Journal of the Royal Statistical Society, Serie B, London, v.42, n. 1, p 1-25.

BATES, D. M. & WATTS, D. G. (1988) Non linear Regression Analysis and its Applications. New York: John Wiley,. 365p.

BENINCASA, M. M. P. (2003) Análise de crescimento de plantas (noções básicas). 2. ed. Jaboticabal, Funep, p. 41.

BLOMHOFF, R. *et al.*, (2006) Health benefits of nuts: potential role of antioxidants. British Journal of Nutrition, v. 96, n. S2, p. 52 – 60.

BREUSCH, T. & PAGAN, A. (1979). Teste para heterocedasticidade e coeficiente de variação aleatória econométrica. Sociedade econométrica. Rio de Janeiro. Vol.47.

BRUNA, E. D. (2007), Curvas de crescimento de pêssego em regiões subtropicais. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.29, n. 3, p. 685-689.

DURBIN, J. & WATSON, G. (1950). Teste de correlação serial em mínimos quadrados de regressão I. Biométrica. London. Vol.37.

FERNANDES, T.J. *et al.*, (2014) Seleccção de modelos não-lineares para a descrição de curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. Coffee Science, Lavras, v.9, n.2, p.207-215.

FERNANDES, J. T. (2012) Curva de Crescimento do Fruto do Cafeeiro em Diferentes Alinhamentos de Plantio Utilizando Modelos Não Lineares. LAVRAS – Mina Geral.

FAO – Food and Agriculture Organization. (2013) “the Units Nations. Statistical Production. Crops Primary”. Rome. In: FAOSTAT. FAO statistical data bases: Cantidad de producción.

FREI, V .V. M., (2013). A Produção de Caju e a Dinâmico Socioeconómica no Distrito de Angoche, Nampula – Moçambique.

FREITAS, A. R. (2005) Curvas de crescimento na produção Animal. Revista Brasileira de Zootécnica, Viçosa, MG, v.34, n. 3, p. 786-795.

FROTA, P. C. E.; PAREDE, J. T. A e MELO, F. I.O. Influência de factores climáticos nas fenofases do cajueiro. In: Encontro Nacional da Agro-indústria do Caju, 1 e Semana Cearense do Cajú, 2. Anais... Fortaleza, 1985. (No Prelo).

GALLANT, A.R. (1987). Nonlinear Statistical Models. New York.:Jonh Wiley. P.1-146.

GAZOLA, S. *et al.*, (2011) Proposta de Modelagem não linear do desempenho germinativo de sementes de milho híbrido. Ciência Rural, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 551-556.

GIRÃO P, J. I. (1991) Recomendações técnicas para o cultivo do cajueiro anão precoce. Fortaleza: EPACE, n.1,. . (Comunicado Técnico, 1).

HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. (1998) Análise de regressão: uma introdução à econometria. São Paulo: HUCITEC, 379p.

HUNT, R. (1978). Plant growth analysis. Studies In: Biology n° 96, Londres: Edward Arnold (Publishers) LTD.

JUNG, Prof. C. F. M. (2003), Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica, 3ª Edição Revisada e Ampliada.

KRANZ, W. M. (1989). “População de plantas.” In: Fundação Instituto Agronômico do Paraná. (Circular, 63).

KVET, J. J. *et al.*, (1971) Methods of growth analysis. In: Sestak, Z., Catsky, J., Jarvis, P. G. (Ed). Plant photosynthetic production: Manual of methods. The Hague: W. Junk.

LOPES, G. V. *et al.* (1993), Agrotécnia do caju, Maputo.

MAGALHÃES, A. C. N. (1986) “Análise quantitativa do crescimento” In: FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal. EDUSP. P 331 – 350.

MENDES, P.N. *et al.*, (2008) Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas de raça Hereford. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.7, p.1984-1990.

MENDONÇA, W. & MEDEIROS, L.F. (2011) Cultura do cajueiro, do coqueiro e do mamoeiro. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido.

MENEZES, J. B.(1992). Armazenamento refrigerado de pedúnculos do caju (*Anacardium occidentale* L.) sob atmosfera ambiental e modificada. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Departamento de Ciência de Alimentos, ESAL, Lavras – SP.

MISCHAN, M. M. & PINHO, S. Z. (2014). Modelos não Lineares: Funções Assintóticas de Crescimento. Cultura Acadêmica.

MOLE P.N.; WEBER, M. T (1999), O Debate sobre o caju em Moçambique: Que Vias Alternativas? Resultados de Investigações do Projecto de Segurança Alimentar (PSA) em Moçambique, Ministério da Agricultura e Pesca, Direcção de Economia – MAP.

MOURA, C. F. H. *et al.*, (2001) Características físicas de pedúnculos de cajueiro para comercialização *in natura*. Revista Brasileira de Fruticultura.

OLIVEIRA, V. H. (2002) Influência da irrigação na produção de pedúnculo e de castanha em clones de cajueiro- -anão-precoce. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.717-720.

PEDDI – Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Inharrime (2011-2015) Potencialidades Agrícolas.

PEREIRA, J. M. *et al.*, (2005) Non linear models to predict nitrogen mineralization in na oxisol.*Scientia Agricola*, Santa Maria, v.62, p.395-400.

PEREIRA, A. R. & MACHADO, E. C. (1987) Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. Campinas, IAC.

RATKOWSKY, D.A. (1983). Nonlinear Regression Modeling. New York, Marcel Dekker, INC., p. 61 - 73.

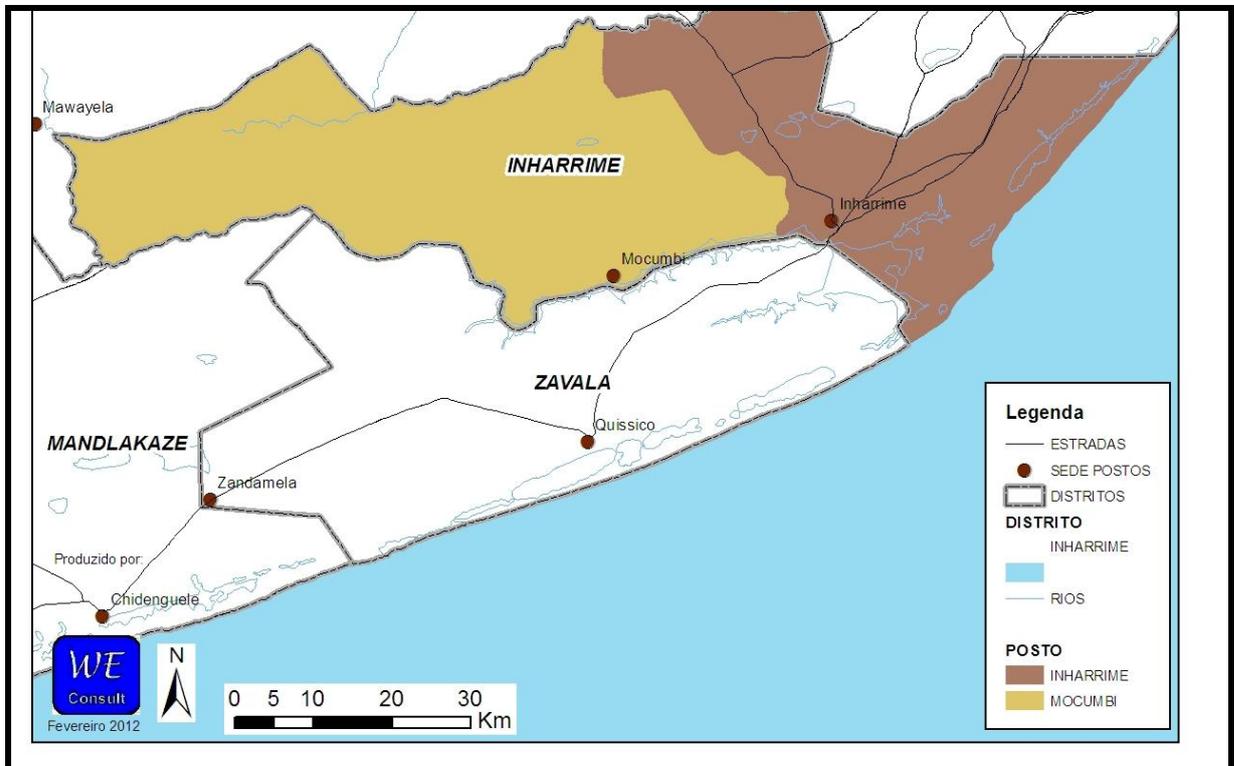
SÁGIO, S. A. (2009) Características fisiológicas e bioquímicas de cultivares na fase de maturação precoce e tardia. Universidade Federal de Lavras

- SEBER, G. A. F. & WILD, C. J. (1989) Non linear regression. New York: John Wiley, 792p.
- SHAPIRO, S. S. & WILK, M.B. (1965). Analysis of variance test for normality. Biometrika, Cambridge. Vol. 52.
- SERRANO, L. A. L & OLIVEIRA V. H. (2002) Aspectos botânicos fenologia e manejo da cultura do cajueiro. Brasil.
- SAVIAN, T. V. (2005) Estimação dos parâmetros no modelo para degradabilidade in situ de Mertens e Loften. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 55p.
- SOUSA, L. B. *et al.*, (2007) Aspectos de biologia floral de cajueiros anão precoce e comum. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 882-885.
- SOUZA, G. da S. (1998) Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-SEA. 489p.
- TERRA, M.P.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T.V. (2010) Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira anã (Phoenix roebelenii O'BRIEN). Magistra, Cruz das Almas, v.22, n.1, p.1-7.
- TAIZ, I. & ZEIGER, E. (2004) "Crescimento e Desenvolvimento". In: TAIZ, I. & ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal, 3. ed, Porto Alegre: Artmed.
- TULLO, A. H. A. (2008) nutty chemical. Chemical and Engineering News, v. 86, p. 26-27.
- YAHIA, E.M. (2001) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Cambridge: Woodhead, v. 2, 500 p.

ANEXOS

ANEXO

Anexo n^oI: Mapa de localização geográfica do distrito de Inharrime.



Fonte: PEDDI, (2012 – 2015)