



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

GERARDO MAJELA LIMA MENESES

ANÁLISE E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA
CULTURA DA MAMONA PARA PRODUÇÃO DE
BIODIESEL EM FUNÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO
NO ESTADO DO CEARÁ

FORTALEZA – CEARÁ
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

GERARDO MAJELA LIMA MENESES

ANÁLISE E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA
CULTURA DA MAMONA PARA PRODUÇÃO DE
BIODIESEL EM FUNÇÃO DO PERÍODO
CHUVOSO NO ESTADO DO CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas, da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Física.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos
Co-orientador: Prof. Alexandre Araújo Costa, Ph.D

FORTALEZA - CEARÁ
2007

Meneses, Gerardo Majela Lima

ANÁLISE E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA MAMONA PARA PRODUÇÃO DE BODIESEL EM FUNÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO NO ESTADO DO CEARÁ.

88 f.:il.

Dissertação (Pós – Graduação em Física) – Curso de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, 2005.

1. Palavras-chave: Estimativa de safra, Cultivo da mamona, Agrometeorologia.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ - UECE
MESTRADO EM CIÊNCIAS FÍSICAS APLICADAS

Título do Trabalho: ANÁLISE E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA
CULTURA DA MAMONA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM FUNÇÃO
DO PERÍODO CHUVOSO NO ESTADO DO CEARÁ

Autor: Gerardo Majela Lima Menezes

Defesa em: 26/10/2007

Conceito obtido: _____

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa (Co-orientador)
Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME

Prof. Dra. Jaidete Monteiro de Souza
Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME

Prof. Dr. João José Hiluy Filho
Universidade Federal do Ceará – UFC

A Delma pela compreensão e
carinho.
A minha mãe, filha e irmã.
A meus amigos e professores pelo
companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Professor Antônio Carlos Santana dos Santos, pela orientação e apoio.

Agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa, pelo muito que me ensinou.

Agradeço a Prof. Dra. Jaidete Monteiro, Prof. Dr. João Bosco, Prof. Dr. Lutero, Prof. Dr. Fernando Ramalho, aos colegas da FUNCEME Dr. Sérgio Sombra, Wagner, Brabo e David e a todos os companheiros do mestrado Juliana, Otacílio, Djalma, Elissandro, Érik, Luis, Henrique e Paulo, que muito me auxiliaram nas atividades.

Agradeço a UECE e a FUNCEME pelo apoio institucional.

Agradeço também a toda e qualquer pessoa que por ventura tenha contribuído de alguma forma com este trabalho.

“Se eu soubesse que o mundo acabaria amanhã, ainda hoje plantaria uma árvore.”

Martin Luther King

RESUMO

O presente trabalho propõe um modelo estatístico para estimar a produtividade (kg/ha) da mamona no estado do Ceará, em função das precipitações ocorridas ao longo de seu ciclo vegetativo e reprodutivo. Foram selecionados sete municípios localizados na região denominada "Sertão Central"; essa escolha justifica-se pelo fato desta região ser mais tradicional no plantio da mamona no Estado do Ceará. Foram calculados coeficientes de correlação entre a produtividade e diversos parâmetros relativos à precipitação (chuva total, chuva no início e no final do ciclo da mamona, duração da estação chuvosa). Para minimizar o efeito de fatores locais, como manejo e tipo de solo, as variáveis de precipitação e a produtividade foram normalizadas. Em seguida, para eliminar a redundância ocorrida nas variáveis originais, foi utilizada a técnica de análise de componentes principais (ACP), que permitiu a redução do número de variáveis independentes de seis para duas. Com a realização de uma regressão múltipla da produtividade com essas duas novas variáveis, obteve-se um modelo que permitiu a estimativa de safra para a região estudada. A partir da comparação entre a produtividade real e a produtividade estimada foi observado que o modelo conseguiu acompanhar as variações na produtividade ao longo dos anos estudados em todos os municípios.

ABSTRACT

The present work proposes a statistical model to estimate the productivity (kg/ha) of the castor oil plant in the state of Ceará, as a function of the precipitation events occurred along its vegetative and reproductive cycle. Seven locations in the region known as "Sertão Central" were chosen; this choice based on the fact that such region is the most traditional in the culture of castor oil plant in the state of Ceará. We calculated the correlation coefficients between productivity and several parameters related to the precipitation (total rainfall, rainfall in the beginning and in the end of the plant cycle, duration of the rainy season etc.). To minimize the effects of local factors such as soil type and handling, the variables of precipitation and the productivity were normalized. Then, in order to eliminate redundancy in the original variables, the principal component analysis (PCA) technique was used, which allowed a reduction in the number of independent variables from six to two. Performing a multiple regression for the productivity based on those two new variables, one obtained a model that permitted the production estimation for the studied region. Based on the comparison between observed and estimated productivity one noted that the model was able to follow the productivity variations along the investigated period in all locations.

LISTA DE SIGLAS

B2 - Mistura de 98% de Diesel mineral com 2% de Biodiesel

B5 - Mistura de 95% de Diesel mineral com 5% de Biodiesel

B10 - Mistura de 90% de Diesel mineral com 10% de Biodiesel

B20 - Mistura de 80% de Diesel mineral com 20% de Biodiesel

CCMs - Complexos Convectivos de Mesoescala

D - Duração da estação chuvosa em número de dias

DH - deficiência hídrica

EBDA - Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET - Evapotranspiração

ETm – evapotranspiração máxima

ETp - Evapotranspiração potencial

ETr - Evapotranspiração real

FF - Frente Fria

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ky - Coeficientes de sensibilidade de uma cultura

LI - Linha de Instabilidade

NEB - Nordeste Brasileiro

P - Produtividade da Mamona

Pc - Precipitações acumuladas nos 100 primeiros dias do início da estação
chuvosa

PCA - Principal Component Analysis

Pf - Precipitações acumuladas do 101º dia até o término da estação chuvosa

Ps - Precipitações acumuladas nos 60 primeiros dias do início da estação chuvosa

Psc - Precipitações acumuladas entre o 61º dia e o 160º dias do início da estação chuvosa

Pt - Precipitações acumuladas em toda a estação chuvosa

ROL - Radiação de Onda Longa

TMAX - Temperatura máxima

TMIN - Temperatura mínima

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

VCAS - Vórtice Ciclônico de Ar Superior

Ya - Rendimento de uma cultura em uma condição qualquer de suprimento de água

Ym - Rendimento de uma cultura sem deficiência hídrica

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE SIGLAS	10
SUMÁRIO	12
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS DA DISSERTAÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NO ESTADO DO CEARÁ	18
2.2 VERANICOS	22
2.3 MAMONA	23
2.3.1 FISIOLOGIA DA MAMONEIRA	23
2.3.2 CULTIVAR DA MAMONEIRA PLANTADA NO NORDESTE	26
2.3.3 QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MAMONEIRA	30
2.4 BIODIESEL	32
2.4.1 MATÉRIA PRIMA USADA NA FABRICAÇÃO DO BIODIESEL	32
2.4.2 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS	34
2.4.3 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL	35
2.4.4 BIODIESEL NO MUNDO	38
2.4.5 BIODIESEL NO BRASIL	39
2.4 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	39
2.4.1 TESTE t	39
2.4.2 MODELO DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES E MULTIVARIADO	40
2.4.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	41
2.5 MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS	52
3.1 MUNICÍPIOS ESTUDADOS	52
3.2 ORIGEM DOS DADOS	53
3.3 PREDITORES	55
3.4 METODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS	56
4 RESULTADOS	59
4.1 ANÁLISE DOS PREDITORES	59
4.2 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE BOA VIAGEM	68
4.3 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE MONSENHOR TABOSA	70
4.4 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE TAMBORIL	73
4.5 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CANINDÉ	75
4.6 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CATUNDA	77
4.7 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE ITATIRA	79

4.8 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CRATEÚS.....	81
5 CONCLUSÃO	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXO A.....	89
ANEXO B.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso dos combustíveis fósseis vem causando preocupação mundial com o meio ambiente, não se vislumbrando para um futuro próximo uma redução de seu consumo, assim a alternativa mais viável é a substituição parcial de produtos fósseis por produtos renováveis, incluindo a substituição do óleo diesel e da gasolina, por biodiesel e álcool respectivamente.

Entretanto uma desvantagem do uso de biocombustíveis é sua dependência de uma quadra chuvosa adequada às suas necessidades hídricas, sendo que o déficit hídrico é um fator limitante na produção de qualquer produto agrícola, inclusive a mamona. Uma quebra de safra pode comprometer a demanda desses combustíveis no mercado consumidor. A previsão da produtividade agrícola da mamona pode influenciar na tomada de decisões governamentais, no aperfeiçoamento e gerenciamento de estoques ou na substituição temporária de uma fonte agrícola por outra, visando à formação de estoque para o controle estratégico de abastecimento e preço. A estimativa de uma safra sem a necessidade da coleta de dados em todas as localidades produtoras, bastando para tal estimativa apenas o conhecimento previo da área plantada e o acompanhamento das precipitações ao longo da estação chuvosa na localidade especificada, torna-se bastante útil e econômico.

O Brasil oferece como poucos no mundo, vantajosas condições para a exploração da biomassa com fins energéticos. No caso do Biodiesel, existem oleaginosas de superior qualidade que são matérias-primas para a sua obtenção, entre elas a mamona, o dendê, a soja, o babaçu e girassol, entre outras espécies que fazem parte da agricultura nacional. A vantagem da mamona sobre as demais é a sua não utilização como alimento humano. O semi-árido nordestino já usa há muitos anos a mamona para a produção de óleo, devido a sua adaptação ao clima e ao solo da região, o que a torna viável para a utilização na produção de biodiesel (PARENTE 2003).

Normalmente a fração do petróleo destinada à produção de diesel é de 30%. Como as necessidades do Brasil ficam em torno de 40%, ocorre um excesso de produção de gasolina que é exportada e um déficit de óleo diesel, suprido por importações. O Brasil poderia eliminar esse desequilíbrio se produzir o B20. A relevância da cultura da mamona para o Estado do Ceará é econômica, social e ambiental. Como o mercado agrícola funciona segundo a lei da oferta e procura, é de extrema importância e utilidade o uso de um sistema eficiente de estimativa de safras.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é criação de um modelo de previsão da produtividade da mamona que seja simples e econômico, oferecendo aos gestores da política agrícola brasileira e aos agricultores a possibilidade de estimar a safra de sua localidade ou de uma região mais ampla.

Especificamente, pretende-se identificar as variáveis que mais contribuem para a produtividade da mamona no Estado do Ceará e utilizá-las em um modelo de previsão de safra cuja equação matemática se aplique a qualquer município da região estudada.

Pretende-se ainda testar o modelo através da comparação entre a produtividade real e a produtividade estimada em cada município isoladamente e para todos os anos em que se disponha de dados da produtividade da mamona.

1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica com os estudos mais relevantes sobre os principais sistemas meteorológicos causadores e inibidores de chuva no Estado do Ceará, assim como a fisiologia da mamoneira, a cultivar plantada e a quantificação da produção, o Biodiesel, os métodos estatísticos utilizados e os modelos agrometeorológicos.

No capítulo 3 são identificados os municípios que formam a região de estudo em um mapa do Estado do Ceará, a origem dos dados utilizados e a descrição dos preditores utilizados como variáveis independentes são descritos também os métodos estatísticos utilizados na criação do modelo.

No Capítulo 4 é realizada a análise dos preditores e um comparativo entre a produtividade real e a estimada para cada município separadamente onde é realizada uma discussão e uma análise do desempenho do modelo.

O capítulo 5 foi destinado às conclusões e em seguida as referencias bibliográficas e os anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NO ESTADO DO CEARÁ

A estação chuvosa na região nordeste do Brasil (NEB) e mais especificamente no Estado do Ceará limita-se aos primeiros meses do ano, subdividido em pré-estação e a estação chuvosa propriamente dita (SOUZA *et al*, 1998). A pré-estação é entre dezembro e a primeira quinzena de fevereiro, enquanto a estação chuvosa concentra-se nos meses de fevereiro, março, abril e maio, onde existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que interferem diretamente nas condições de tempo sobre a região: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas às Frentes Frias, as Ondas de Leste, os Ciclones na média e alta troposfera conhecidos como Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS), as Brisas terrestres e marítimas e o mecanismo de escala planetária denominada Oscilação 30-60 dias, cuja atuação em conjunto ou isoladamente determina o regime de chuvas sobre o Estado do Ceará (ALVES, J. M. B. *et al*, 2006). No segundo semestre do ano as raras chuvas impossibilitam a agricultura de sequeiro que se limita apenas ao período chuvoso.

As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio com uma massa de ar quente. A massa de ar frio, por ser mais densa, penetra por baixo da quente, menos densa, fazendo com que o ar quente e úmido suba, formando nuvens e, conseqüentemente, as chuvas. Esse é um dos mais importantes sistemas que influenciam indiretamente na formação de chuvas no Nordeste do Brasil, estando associado à penetração de Frentes Frias até as latitudes tropicais entre os meses de novembro e janeiro, que

ao chegarem ao norte da Bahia, desestabilizando a atmosfera do norte do (NEB), favorecendo a convecção sobre os estados mais ao norte, principalmente na região do Cariri, figura 2.1, ao sul do Ceará, (KOUSKY, 1979; OLIVEIRA, 1989, ALVES e KAYANO, 1991).

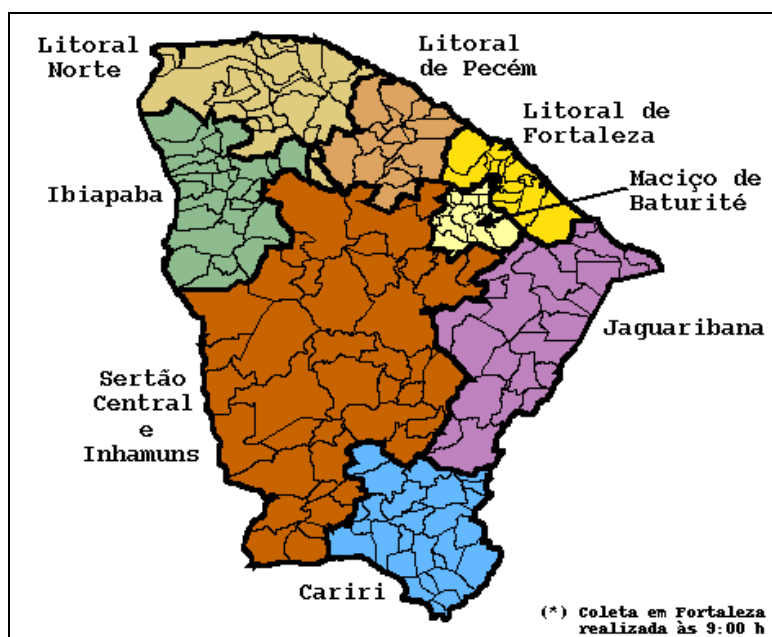


Figura 2.1 - Regiões Pluviometricamente Homogêneas (XAVIER, 2001)

A ZCIT - zona de convergência intertropical é uma região de confluência dos alísios vindos do hemisfério sul com os alísios vindos do hemisfério norte, formando uma faixa de nuvens que circula a faixa equatorial do globo terrestre. A convergência de massa é representada por uma grande cobertura de nuvens convectivas com uma oscilação norte-sul no período de um ano, alcançando sua posição mais ao norte (12° N) durante o verão do Hemisfério Norte, e a sua posição

mais ao sul (4°S) durante o mês março e abril (HASTENRATH e HELLER, 1977 e CITEAU *et al*, 1988a e 1988b).

A ZCIT apresenta pequenas oscilações em período de dias a semanas, sendo mais atuante sobre os oceanos onde sua intensidade e posição são bastante influenciadas pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM), constituindo um dos sistemas meteorológicos mais determinantes para condições de tempo e de clima no setor norte do Nordeste do Brasil (UVO, 1989).

O VCAS - Vórtice Ciclônico de Ar Superior é um conjunto de nuvens com a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário no hemisfério sul. No seu centro ocorre subsidência (movimentos de ar de cima para baixo) inibindo a formação de nuvens. Já na periferia do VCAS ocorre à formação de nuvens causadoras de chuva (ALVES, 2001).

Os VCAS formam-se no Oceano Atlântico entre os meses de outubro a março, normalmente com uma trajetória de leste para oeste e sua atuação mais efetiva ocorre entre os meses de janeiro e fevereiro. Mudam de posição sem uma região preferencial para atuar, embora possam modificar as condições de tempo em todo o NEB por vários dias (KOUSKY e GAN, 1981; ALVES, 2001).

As LI - Linhas de Instabilidade são bandas de nuvens causadoras de chuva, comumente do tipo Cúmulus, organizadas em forma de linha. O desenvolvimento desse tipo de nuvens se dá basicamente devido a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical, principalmente no

período da tarde e início da noite, quando a convecção é máxima e provocando chuvas no litoral norte do Nordeste. Durante os meses de fevereiro e março a proximidade da ZCIT contribui significativamente para o surgimento das linhas de instabilidade.

OS CCM's - Complexos Convectivos de Mesoescala são aglomerados de nuvens que provocam chuvas fortes, isoladas e de curta duração, se formando devido às condições locais favoráveis, como, temperatura, relevo e pressão.

Ondas de leste são ondas de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios. Deslocam-se de oeste para leste, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Nos meses de junho, julho e agosto no Estado do Ceará ocorrem chuvas influenciadas por esse sistema atmosférico.

A Oscilação 30 - 60 dias é caracterizada por uma onda atmosférica que se desloca de oeste para leste contornando o globo terrestre num período entre 30 a 60 dias, com duas fases: a fase positiva (valores negativos de ROL) apresenta-se favorável à formação de nuvens e chuvas mais frequentes e a fase negativa (valores positivos de ROL) é desfavorável à formação de nuvens e chuvas quando de sua passagem sobre a região nordeste.

2.2 VERANICOS

No semi-árido nordestino é muito importante para a agricultura os dias sem chuva durante a estação chuvosa, pois um único período longo sem chuvas pode comprometer toda a safra de uma cultura. Neste trabalho foi considerado como um dia seco aquele no qual a precipitação observada foi inferior a 6 mm (Sertão Central, figura 2.1). Um dia chuvoso foi considerado quando a precipitação foi maior ou igual a 6 mm para áreas consideradas de Sertão.

A data de início potencial, para a precipitação foi considerada o dia após o primeiro dia do mês mais seco do ano, com precipitação maior que 25 mm (Sertão Central) acumulados em um ou dois dias, porém sujeito a um período maior ou igual há 10 dias seco.

Para a data de início efetivo da estação chuvosa seguiu-se a mesma definição para o dia potencial, porém condicionado a não ocorrência de 10 ou mais dias secos nos próximos 20 dias nas estações do Sertão. Para as demais regiões do Estado do Ceará (setor norte, áreas serranas e do Cariri, figura 2.1) considerou-se como um dia seco aquele cujo valor da precipitação observado foi inferior a 3 mm. Um dia chuvoso foi considerado quando a precipitação foi maior ou igual a 3 mm (setor norte, áreas serranas e do Cariri).

A data de início potencial, para a precipitação, foi considerada o dia após o primeiro dia do mês mais seco do ano, com precipitação maior ou igual a 15 mm (setor norte, serranas e do Cariri) acumulados em um ou dois dias, porém sujeito a um período maior ou igual a 10 dias secos.

Para a data de início efetivo da estação chuvosa seguiu-se a mesma definição para o dia potencial, porém condicionado à não ocorrência de 10 ou mais dias secos nos próximos 25 dias (setor norte, serranas e do Cariri) e 20 dias nas estações do Sertão.

O final da estação foi determinado pela data em que ocorreu uma seqüência maior ou igual a 10 dias secos após a data do início efetivo das chuvas. O final da estação foi determinado pela data em que ocorreu uma seqüência de dias secos maiores ou igual a 10 após a data do início efetivo das chuvas (ALVES, J. M. B. *et al*, 1996),

2.3 MAMONA

2.3.1 FISILOGIA DA MAMONEIRA

A *Rícinus communis L.* é conhecida como mamoneira ou carrapateira, da classe Dicotiledônea família Euforbiaceas, a mesma da mandioca, da seringueira e do pinhão manso. É de origem indefinida. A Índia é o maior produtor mundial, seguido pela China e o Brasil em terceiro lugar.

A mamoneira é planta heliófila de clima tropical e subtropical, de ampla capacidade de adaptação (MAZZANI, 1983 e AMORIM NETO *et al.* 2001). Precisa de chuvas regulares principalmente no início da fase vegetativa e de período seco na maturação dos frutos (TÁVORA, 1982, SEARA, 1989 e BAHIA,1995) (*apud* AMORIM NETO *et al.*, 2001). Mesmo com elevada capacidade de adaptação não suporta geada, ventos fortes freqüentes e nebulosidade. Segundo WEISS (1983) e MAZZANI (1983) a mamona foi introduzida no Brasil pelos portugueses. De acordo com MOSHKIN, (1986) esta espécie apresenta amadurecimento não uniforme, onde cada cacho tem uma idade de amadurecimento diferente, sendo cada um independente do outro. O surgimento de novos cachos somente é paralisado no período seco (MOSHKIN, 1986).

Para SILVA (1981) esta oleaginosa é muito exigente em calor e sensível ao excesso de umidade no solo, o que também é confirmado por MAZZANI (1983) e WEISS (1983). A tolerancia da mamona à seca, deve-se principalmente ao seu forte e penetrante sistema radicular do tipo pivotante com raízes ocas. Em algumas cultivares chega a alcançar seis metros de profundidade, tendo capacidade de explorar as camadas mais profundas do solo, que comumente não são atingidas por outras culturas anuais, como milho e feijão, favorecendo o aumento da aeração, a capacidade de retenção e a distribuição da água no solo (BELTRÃO, *et AL*, 2002) afirmam ser o cultivo ideal para as condições de clima e de solos do Nordeste do Brasil, cultivo de sequeiro, sem irrigação, dependente das chuvas.

Tanto a ausência como o excesso de chuvas no período da floração podem reduzir a produtividade da planta, sendo mais tolerante a ausência que

excesso. O Nordeste apresenta regiões ideais para seu cultivo onde a maioria dos Estados dispõe de clima com temperatura e pluviosidade ideais para a cultura.

A ocorrência de chuvas fortes pode provocar a queda dos frutos, ocasionando perdas. Na fase que vai desde a floração até a maturação dos frutos, muita umidade relativa e temperaturas mais amenas podem favorecer o desenvolvimento de doenças, principalmente do mofo cinzento.

Para BAHIA, (1995) e TÁVORA (1982) (*apud* AMORIM NETO *et al*, 2001) chuvas entre 600 e 800 mm permitem produtividade superiores a 1500 kg/ha, sendo viável economicamente em áreas onde a precipitação pluvial mínima esteja entre 400 e 500 mm, enquanto chuvas superiores a 1.500mm são consideradas excessivas para essa planta, podendo provocar diversos problemas como crescimento excessivo e doenças.

A mamoneira tem crescimento inicial lento, com o processo de germinação ocorrendo entre oito a vinte dias dependendo do vigor das sementes e das condições do ambiente onde as sementes foram colocadas para germinar, sendo que a temperatura limitante para este processo é de 14°C para o mínimo e 36°C para o máximo, sendo de 31°C a temperatura ideal. A umidade limite para ignição do processo de germinação é de 32% de água com relação ao peso da semente (MOSHKIN e PERESTOVA, 1986).

A temperatura ideal para o desenvolvimento a mamoneira é de aproximadamente 28° C, permitindo uma variação da temperatura entre 20° a 35° C.

Temperaturas superiores a 40° C provocam reversão sexual das flores femininas em masculinas, interrupção na formação das flores e redução do teor de óleo nas sementes (BELTRÃO e SILVA, 1999).

O teor de óleo das sementes é influenciado diretamente pela quantidade de calor recebido pela planta em seu ciclo vegetativo. Não havendo calor e luminosidade suficiente à planta reduzirá a qualidade do óleo nas sementes.

Na fase da maturação dos frutos a falta de umidade no solo, ocasionará redução no peso das sementes e no teor de óleo. Quando cultivada em solos mais profundos, os cultivares que apresentam maior desenvolvimento da raiz principal tendem a ter melhor desempenho no período de seca.

Na época da floração e frutificação, quando submetidas a temperaturas próximas de 10° C, as plantas não produzem mais sementes, devido à perda de viabilidade do pólen, problema que não ocorre no Ceará.

Quando cultivada em baixas altitudes, a mamoneira tende a perder energia pela respiração noturna e sofrer redução na produtividade.

2.3.2 CULTIVAR DA MAMONEIRA PLANTADA NO NORDESTE

Para produzir satisfatoriamente, toda e qualquer planta cultivada necessita de vários fatores de produção e insumos, dependendo de seu genótipo e do ambiente (clima e solo), que interagem entre si definindo a reação fenotípica de

uma determinada cultivar. Cada espécie e suas cultivares têm seu ótimo ecológico para que a produtividade seja boa e se aproxime do seu potencial de produção, além da qualidade do produto que hoje assume papel importante na definição dos preços nos mercados internos e internacionais. A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma espécie politépica que engloba seis subespécies e 25 variedades botânicas (POPOVA e MOSHKIN, 1986), que diferem entre si por diversos fatores genéticos, sendo que as cultivares comerciais estão colocadas na sua maioria na subespécie *R. communis communis*, tendo híbridos entre elas, alguns de importância comercial.

As cultivares da mamona desenvolvida pela EMBRAPA Algodão e pela EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola) que mais se adaptam as condições de sequeiro (agricultura familiar) e de irrigação no semi-árido nordestino são as BRS 149 - Nordestina e BRS 188 – Paraguaçu (Tabela 2.1). A BRS 149 - Nordestina foi selecionada da variedade Baianita e a BRS 188 – Paraguaçu da variedade sangue de boi.

A produtividade das duas em condições de sequeiro é semelhante, 1.500 kg/ha, sendo o potencial produtivo, em condições de irrigação, de 4.000 kg/ha. A mamona deve ser plantada no início do período chuvoso. O florescimento do primeiro cacho ocorrerá 50 dias após o plantio e sua maturação no centésimo dia após o plantio, esta é a primeira das três etapas que constitui toda colheita da mamona. Os frutos destas variedades são semi-deiscentes (com abertura parcial dos frutos), colhidos parceladamente. A massa de 100 sementes é igual à aproximadamente 70g com teor médio de 48% de óleo. A altura das plantas varia entre 1,90m na variedade Nordestina e 1,60m na variedade Paraguaçu.

Par se evitar perdas nas variedades semi-deiscente a colheita é feita quando dois terços dos frutos do cacho estiverem secos, aproximadamente 90 dias após o plantio.

Para realizar colheita manual, geralmente em cultivares de pequeno e médio porte, que são semi-deiscentes e produzem vários cachos, a colheita da mamona deve ser feita quando 2/3 dos frutos do cacho estiverem secos. Isso torna necessária a realização de várias colheitas, aumentando a necessidade de mão-de-obra. Caso o clima não esteja muito quente e seco, condição que favorece a abertura dos frutos e queda das sementes pode-se adiar um pouco a mão-de-obra, se as sementes não estão caindo.

A produção da mamona no nordeste é feita basicamente por pequenos produtores com mão de obra familiar e baixo nível tecnológico, e que a utilizam como segunda cultura, em sistemas de plantios consorciados, principalmente com o feijão (FREIRE *et al*, 2001). Nesse sistema de cultivo consorciado recomenda-se espaçamento de 3m x 1m com 3 fileiras centrais de feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.)Walp., subespécie *unguiculata*], também conhecido como feijão macassar ou caupi. O consorcio também pode ser feito com milho ou sorgo.

Atualmente busca-se cultivares de mamona de porte médio e anão, por facilitar a colheita, tanto manual como a mecânica. Como para a maioria das cultivares cerca de 30% da produção total está no primeiro cacho, plantas que possuam o primeiro cacho baixo terão preferência para os agricultores na colheita.

As cultivares BRS 149 - Nordestina e BRS 188 – Paraguaçu formam o primeiro cacho em torno de 50 cm, o que facilitaria a sua colheita. A cultivar BRS 149 - Nordestina em média mostrou-se mais produtiva que os demais genótipos testados. (FREIRE *et al*, 2001)

Tabela 2.1. Características das cultivares BRS 149 - Nordestina e BRS 188 - Paraguaçu.

Características	Nordestina	Paraguaçu
Origem	Seleção individual com teste de progênes, na variedade local Baianita	Seleção massal na variedade local Sangue de Boi
Ano de lançamento	1998	1999
Ciclo médio	250 dias	250 dias
Produtividade*	1.500 kg/ha	1.500 kg/ha
Potencial produtivo	4.000 kg/ha	4.000 kg/ha
Florescimento do 1º cacho	50 dap	54 dap
Maturação do 1º, 2º e 3º cacho	100 - 200 - 250 dap	100 - 200 - 250 dap
Formato do cacho	Cônico	Amorfo
Deiscência dos frutos	Semi-deiscentes	Semi-deiscentes
Cor da semente	Preta	Preta
Peso de 100 sementes	68 g	71g
Forma de colheita	Manual parcelada	Manual parcelada
Altura da planta	190 cm	160 cm
Cor do caule	Verde com cera	Acajú com cera
Teor de óleo**	48,90 %	47,72%
Dap = dias após o plantio		
* Nas condições semi-áridas do Nordeste em anos normais de precipitação pluvial		
**Dados médios de experimentos.		

Fonte: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/cultivares.html>.

2.3.3 QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MAMONEIRA

A variedade Nordestina é a mais plantada no Ceará tendo produção escalonada, sendo o início da formação do primeiro cacho aos 50 dias após a emergência. Seu amadurecimento ocorre por volta de 100 dias após a emergência, a última colheita ocorre por volta 230 dias após a emergência, a maior exigência de água ocorre nos primeiros 70 dias. Em média cada cacho produz 105 sementes, nos primeiros cachos à produção pode chegar a aproximadamente 72g de sementes por cacho que multiplicado pelo número de plantas (3.333) temos uma produção aproximada de 240 kg/ha de sementes somente com o cacho primário. O teor aproximado de óleo nas duas variedades é de 48%.

Segundo a EMBRAPA de modo geral, para as cultivares BRS 149 - Nordestina e BRS 188 – Paraguaçu o melhor espaçamento é 3 m x 1 m com uma planta por cova, tanto para sistema isolado ou consorciado, de sequeiro ou irrigado, resultando em uma densidade de 3.333 plantas/ha.

Segundo BELTRÃO *et al* (2005) em simulação que foi realizada com a cultivar BRS 149 Nordestina, em regime de sequeiro, sistema de plantio isolado (3.333 plantas/há), sem consorcio, obteve-se uma produção de 1.223 kg/ha, onde cada cacho produziu 30 frutos, sendo que cada fruto contém três sementes (tricoca) com uma massa de 100 sementes igual a 68g. Para uma produção de 1223 kg foi necessário 5 cachos em média por planta.

O plantio pode ser feito em sistema de cultivo Isolado 2m x 1m em solos de baixa fertilidade obtendo-se uma densidade de 5000 plantas/ha, que repetindo as

condições anteriores teríamos uma produção final de 1800 kg/ha resultando em um aumento de aproximadamente 47 % na produtividade.

Para as cultivares de porte baixo é possível o colocar uma planta por metro quadrado, o que resultaria em 10.000 plantas/ha, onde se repetindo a condição anterior à produção final seria de 3.600 kg/ha, nessa situação se a planta produzisse apenas um cacho, teríamos uma produção de 720 kg/ha em apenas 100 dias, o que é maior que a média mundial 650 kg/ha de baga (SANTOS *et al.*, 2001). Pode-se chegar a um espaçamento de 1m x 0,5m com uma planta por cova, que resulta em uma densidade de 20.000 plantas/ha, que mais uma vez repetindo-se a situação anterior, teríamos 1.440 kg/ha somente com o cacho primário, aproximadamente 100 dias da emergência. Essa situação seria ideal para uma colheita mecanizada, contudo se esse sistema de plantio produzir cinco cachos por planta teria uma produção de 7.200 kg/ha.

A mamoneira tem potencial para produzir mais de 10.000 kg de bagas/ha e já chegou a produzir mais de 8500 kg/ha de bagas com cultivares de porte baixo, em regime de irrigação com fertilização e controle total de plantas daninhas, sem pragas e sem a incidência de doenças (RIBEIRO FILHO, 1966).

Da baga colhida 75% é de semente e 25% de casca. Da semente extrai-se 49% de óleo e 51% de torta, ou seja, com 100 kg de mamona obtêm-se 75 kg de semente e 25 kg de casca, 37 kg de óleo e outros 38 kg de torta.

Apartir do óleo, após adição do álcool (rota etílica) e utilização de catalisador, cerca de 90% é transformado em biodiesel e a produção de 10% de resíduo do processo de transesterificação que é a glicerina. A casca e torta de mamona juntos correspondem a 63 % da massa da baga, no fim do processo 33,3 kg é de biodiesel e 3,7 kg de glicerina (ALMEIDA *et al*, 2006).

2.4 BIODIESEL

2.4.1 MATÉRIA PRIMA USADA NA FABRICAÇÃO DO BIODIESEL

Em 1895, cerca de 25 anos após a descoberta do petróleo, Rudolf Diesel concedeu o motor de ignição por compressão, que mais tarde foi denominado, em sua homenagem, de motor Diesel (PARENTE, 2003) . Durante a Exposição Mundial de Paris em 1900, um motor diesel foi apresentado ao público funcionando com óleo de amendoim. No dia 30 de outubro de 1980, Expedito José de Sá Parente, anunciou no Centro de Convenções de Fortaleza a descoberta do PRODIESEL. Segundo PARENTE, (2003) diversas matérias primas foram empregadas na produção do diesel vegetal, onde se incluem os óleos de soja, babaçu, amendoim, algodão, colza, girassol, dendê, maracujá, mamona e 200 litros de óleo de peixe proveniente da Bélgica que produziram um BIODIESEL semelhante ao diesel de origem vegetal.

Por possuírem estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais fixos, os óleos e gorduras de animais também podem ser transformados em BIODIESEL, como exemplo tem-se o sebo bovino, os óleos de peixes, óleo de mocotó e banha de porco, Atualmente, também são usados os óleos e gorduras residuais de frituras.

Os óleos essenciais não podem ser utilizados como matéria prima para a produção de BIODIESEL por serem voláteis, contudo alguns desses óleos podem ser utilizados *in natura* misturados ao óleo diesel ou ao próprio BIODIESEL. Como exemplo de óleos essenciais tem-se o óleo de pinho, o óleo da casca de laranja, o óleo de andiroba, o óleo de marmeleiro e o óleo da casca da castanha de caju (LCC – Líquido da Casca da Castanha de Caju).

O óleo de mamona é o único glicerídeo que a natureza concebeu solúvel em álcool, possuidor de elevada viscosidade, e com maior conteúdo de oxigênio do que os demais óleos, sendo um dos melhores para a fabricação do BIODIESEL (PENIDO FILHO e VILLANO, 1984).

Dentre as oleaginosas usadas em grande escala para a produção de BIODIESEL o dendê e a aquela que apresenta a maior produtividade (Tabela 2.2), atingindo 5000 kg de óleo por hectare, sendo muito usada na Malásia e na Indonésia. Contudo se fazem necessário grandes investimentos, pois esta só começa a produzir a partir do quinto ano.

Na Europa o óleo de colza é utilizado para a fabricação de BIODIESEL, com uma produtividade de 400 kg de óleo por hectare, sendo a produção de farelo e de proteína seu objetivo principal. A produtividade da mamona só é menor que a do dendê, com a vantagem de seu primeiro cacho ser colhido em apenas 100 dias com as atuais cultivares plantadas no Brasil. Segundo a EMBRAPA será lançada em 2008 uma cultivar que poderá ter seu primeiro cacho colhido em 50 dias.

Tabela 2.2 – Espécies oleaginosas mais comuns que podem ser usadas no Brasil para produção de BIODIESEL e suas respectivas produtividades.

Espécies oleaginosas	Produtividade em kg/ha	
	Grãos ou Cocos	Óleo
Dendê	20.000	5.000
Mamona	1.000	470
Amendoim	1.500	450
Soja	1.200	210
Babaçu	3.000	120

Fonte: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/cultivares.html>.

O principal mercado dos óleos vegetais e gordura vegetal é o farmacêutico, seguido do mercado químico, alimentício e energético. A principal diferença do óleo de mamona para os demais é a não existência de um mercado alimentício para o mesmo, isso significa que o BIODIESEL fabricado com óleo da mamona não sofrerá pressão do mercado consumidor de alimento humano.

2.4.2 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS

O BIODIESEL é uma mistura de éteres metílicos ou etílicos de ácido graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol respectivamente (PARENTE, 2003).

Trata-se de uma energia limpa, não poluente, que pode ser usada pura ou misturada como substituto do Diesel do petróleo em qualquer proporção. Mundialmente, adotou-se uma nomenclatura bastante simples para identificar a concentração de BIODIESEL em uma mistura com óleo diesel mineral. No BIODIESEL BXX, o XX é a percentagem em volume do BIODIESEL acrescentado a mistura. Como exemplo tem-se o B2, B5, B20 e B100 que são respectivamente combustíveis com uma fração de 2%, 5%, 20% e 100% de BIODIESEL.

2.4.3 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Por sua semelhança com o óleo diesel mineral, o BIODIESEL pode ser usado sem nenhuma adaptação ou regulagem no sistema de injeção de motores diesel, com a vantagem de ser um combustível renovável, biodegradável e ecologicamente correto. Além dessas vantagens há a compatibilidade na estrutura de transporte, armazenamento e distribuição.

O diesel e o BIODIESEL possuem características físicas e químicas semelhantes, independentemente se a matéria é originária de óleos vegetais, gorduras de animais ou óleos e gorduras residuais. Tal semelhança permanece se a rota de transesterificação for etílica ou metílica. A exceção fica por conta do BIODIESEL oriundo da mamona, cujo óleo é um pouco mais viscoso que o obtido das demais matérias prima, preservando as demais semelhanças, o que pode parecer uma desvantagem, mas se torna uma qualidade quando se pretende obter uma maior lubricidade do diesel mineral (PARENTE, 2003).

O processo de produção de BIODIESEL, partindo de uma matéria graxa qualquer, envolve as etapas mostradas no fluxograma (figura 2.2).

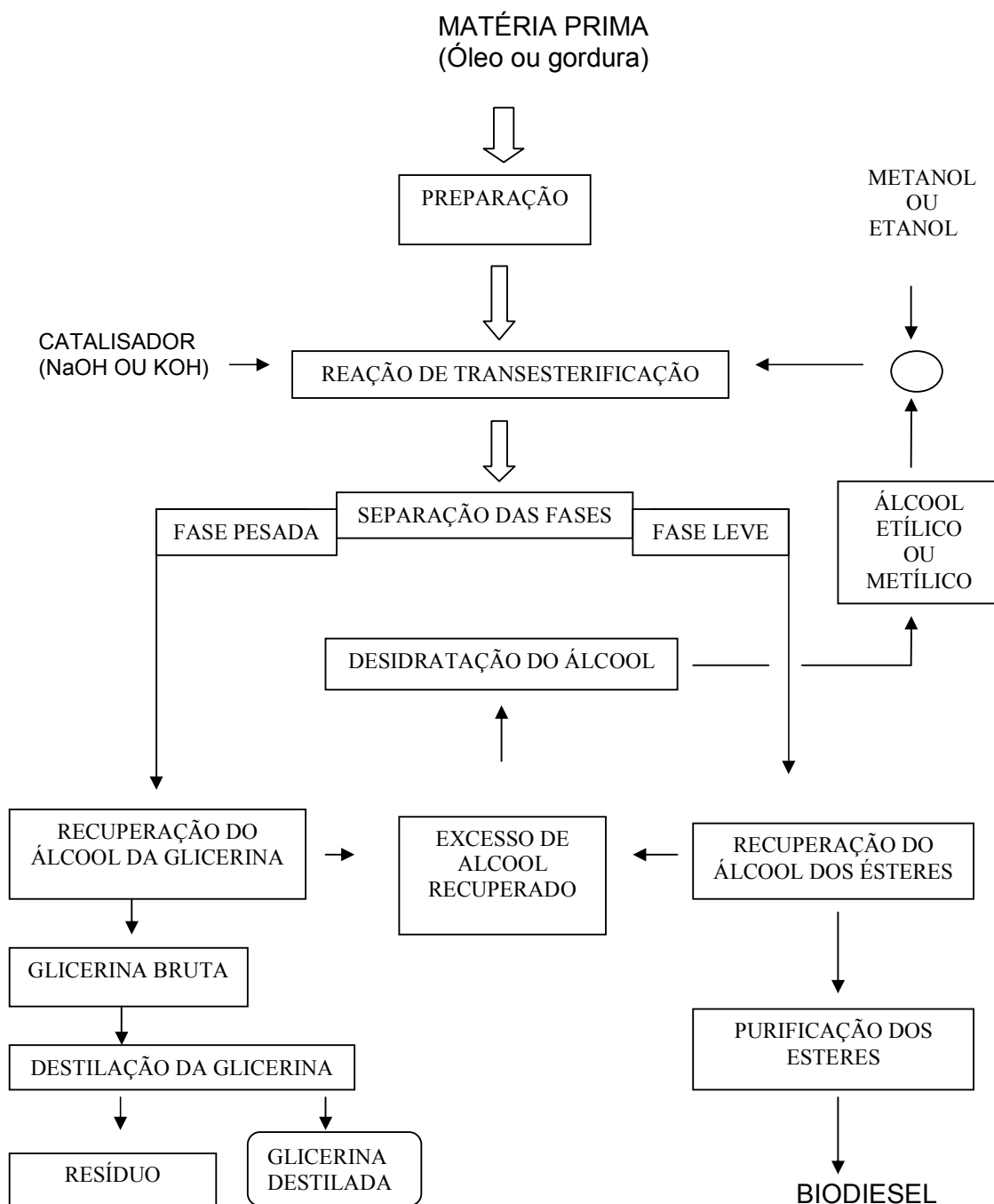


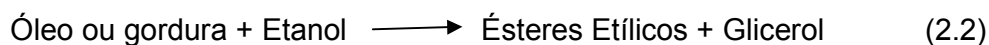
Figura 2.2 - Fluxograma da fabricação de BIODIESEL

Fonte: "Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado" (PARENTE, 2003)

O processo mais comum na fabricação de BIODIESEL é a transesterificação que consiste na conversão de um óleo ou gordura, em ésteres metílicos de ácidos graxos ou ésteres etílicos de ácidos graxos. Este processo produz 10% de resíduo de Glicerina. A equação 2.1 representa a reação de transesterificação realizada pela rota metílica, quando se utiliza o metanol como agente de transesterificação.



Já a reação de transesterificação realizada pela rota etílica, quando se utiliza o etanol como agente de transesterificação é representada na equação 2.2.



Tanto a rota metílica, quanto à etílica, além dos ésteres etílicos ou metílicos obtém como resíduo o glicerol (glicerina). As duas reações acontecem na presença de um catalisador, o Hidróxido de Sódio (NaOH) ou Hidróxido de Potássio (KOH). Do ponto de vista técnico e econômico a rota metílica é mais vantajosa, enquanto no ponto de vista operacional a vantagem é da etílica, principalmente devido ao fato de o etanol ser facilmente encontrado no Brasil.

Outro processo de obtenção de BIODIESEL é o Craqueamento Térmico que consiste na quebra das moléculas a altas temperaturas e na remoção dos compostos oxigenados através de um catalisador.

A principal crítica com relação a transesterificação é o resíduo de 10% de glicerina do volume produzido, resíduo este inexistente no craqueamento. Se toda a produção de B2 necessária para abastecer o mercado brasileiro for produzida com o óleo de mamona o resíduo de glicerina seria de 72 milhões de litros.

2.4.4 BIODIESEL NO MUNDO

O BIODIESEL foi lançado no Brasil pelo professor Expedito Parente em 30 de outubro de 1980 com o nome de PRODIESEL. A partir de 1990 seu processo industrialização foi iniciado na Europa, com já com o nome de BIODIESEL. A prática da redução do teor de enxofre do óleo Diesel mineral nas refinarias de petróleo tem sido adotada nos países europeus. Com a redução da lubricidade do óleo Diesel mineral dessulfurado, a correção tem sido feita adicionando-se BIODIESEL ao Diesel mineral.

A Alemanha montou um programa de produção de BIODIESEL a base de colza utilizando à mesma tecnologia e logística desenvolvida no Estado do Ceará. O BIODIESEL é distribuído de forma pura (B100), isento de qualquer mistura ou aditivação, em uma enorme rede de abastecimento. A proporção da mistura é feita pelo próprio usuário. Na França o produto final já é apresentado misturado na proporção de 5% (B5), enquanto a frota de ônibus urbanos franceses usa o B30, (PARENTE, 2003). Esses são apenas dois exemplos do interesse cada vez maior na utilização dos combustíveis vegetais.

2.4.5 BIODIESEL NO BRASIL

Depois de 22 anos de letargia, o Brasil iniciou seu programa do BIODIESEL, instituído pelo governo federal, cuja proposta é adicionar 2% de BIODIESEL consumido no país, podendo essa percentagem aumentar com o tempo. O B2 por si só gera uma demanda muito grande, com o agravante de que essa demanda deve ser abastecida com 40% com BIODIESEL oriundo do óleo da mamona. O óleo extraído das sementes da mamona possui dezenas de aplicações, por exemplo: aditivos de combustíveis, fabricação de cosméticos, lubrificantes, plásticos, prótese humana, além de ser excelente lubrificante para motores de alta rotação. Mesmo com todas essas aplicações observou-se uma produção mínima na safra de 97/98, ocorrendo uma retomada a partir de então. No entanto o Brasil perdeu a condição de primeiro produtor mundial para países como a Índia e a China. Para suprir as necessidades do B2, somente com a mamona, a área plantada deveria passar de 160 mil hectares para 410 mil hectares (BELTRÃO, 2003).

2.4 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

2.4.1 TESTE t

O teste estatístico t que é usado para calcular a diferença entre médias de dois grupos. Na realização do teste t parte-se da suposição de que as duas amostras em estudo, a produtividade da mamona e precipitações em períodos determinados períodos do ciclo de vida da mamona, possuem a mesma distribuição base.

Contudo no modelo normal, deseja-se verificar a existência de alguma diferença significativa entre os dois grupos em análise. A Hipótese Estatística formulada para cada variável consiste de: Hipótese nula - H_0 ; quando não há diferença significativa entre as médias dos grupos estudados, Hipótese alternativa - H_1 ; quando há diferença entre as médias dos grupos. Ao testar cada hipótese para a variável objeto de análise estabelece-se o nível de significância do teste. Esse nível de significância fornece a probabilidade máxima com a qual se pode correr o risco de cometer um erro ao rejeitar uma hipótese nula quando na realidade ela é verdadeira. Na prática os valores usuais são de 0,05 (5%) e 0,01 (1%), que se associam 95% e 99% de confiança de tomar-se uma decisão acertada. No presente estudo, adotou-se um grau de confiança de 95%.

2.4.2 MODELO DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES E MULTIVARIADO

Modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável Y com outra X . Quando a função " f " relaciona duas variáveis é do tipo $f(X)=a+bX$ o modelo é de regressão. A variável X é a variável independente da equação enquanto $Y=f(X)$ é a variável dependente das variações de X . O modelo de regressão é chamado de simples quando a relação causal envolve apenas duas variáveis.

O modelo de regressão é multivariado quando o comportamento de Y é explicado por mais de uma variável independente X_1, X_2, \dots, X_n . Os modelos acima citados (simples ou multivariado) simulam relacionamentos entre as variáveis do tipo linear (equação da reta ou do plano) ou não linear (equação logarítmica,

exponencial, polinomial, potencial, etc.). Para realizar previsões sobre algum fenômeno da realidade extrapolam-se para o futuro as relações de causa-efeito já observadas no passado entre as variáveis.

A regressão será linear no caso de observada uma tendência ou eixo linear na nuvem de pontos cartesianos. A relação entre as variáveis será direta (ou positiva) se os valores de Y aumentam quando também se elevam os valores da variável independente X_1, X_2, \dots, X_n . Será inversa (ou negativa) quando os valores de Y variam inversamente em relação aos valores da variável independente X_1, X_2, \dots, X_n .

2.4.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

A análise de componentes principais ou PCA (do inglês *Principal Component Analysis*), ou transformada de Hotelling ou de Karhunen-Loève é uma técnica de redução do número total de variáveis, foi introduzida por Karl Pearson, (1901) e esta fundamentada no artigo de Hotelling, (1933), (*apud*, MINGOTI, 2005). Esta técnica é empregada quando existe redundância nos dados de uma amostra, onde redundância pode ser entendida como dados correlacionados, provavelmente em função de estarem medindo o mesmo evento. A existência de redundância é o que permite a redução no número de variáveis. Para verificar a existência ou não de redundâncias, a matriz de correlações entre as variáveis deve ser analisada.

A técnica de PCA consiste em reescrever as coordenadas de um conjunto de dados em outro sistema de eixos que seja mais conveniente. Estas novas

coordenadas são os resultados da combinação linear das variáveis originais e são representadas sobre eixos ortogonais, sendo obtidas em ordem decrescente de variância. Portanto, a primeira componente principal detém mais informação sobre os dados do que a segunda componente principal que não detém informações contabilizadas anteriormente (na primeira componente principal) e assim sucessivamente. Em função da ortogonalidade dos eixos, as componentes principais não são correlacionadas. O número de componentes principais é igual ao número total de variáveis originais e apresenta a mesma informação estatística que estas variáveis. Porém, este método permite a redução do número total de variáveis, pois freqüentemente as primeiras componentes principais detêm mais de 90% da informação estatística dos dados originais. Considerando, por exemplo, um conjunto de dados representado por duas variáveis – normalizadas - cujos eixos originais descrevem um plano (Figura 2.2) um ponto é representado por informações de duas variáveis (METRIXUS).

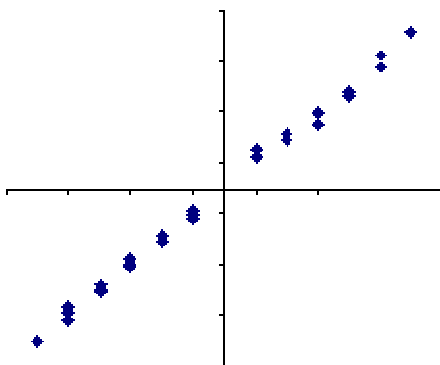


Figura 2.2 – Eixos ortogonais descrevendo duas variáveis.

Considerando agora um novo eixo, resultado da combinação linear destas duas variáveis. Este novo eixo (figura 2.3) aponta na direção de maior variabilidade das amostras e é, portanto, um componente principal para este conjunto de dados.

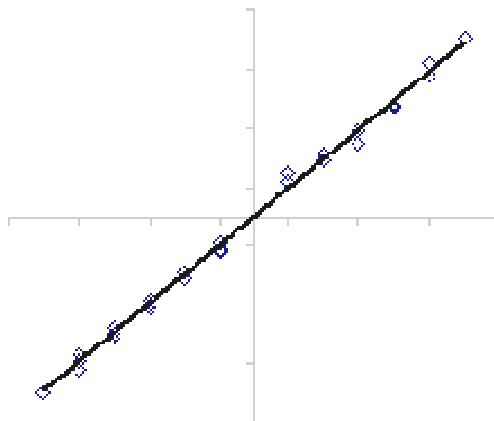


Figura 2.3 – Novo eixo com uma componente principal.

Neste exemplo, um ponto no plano pode agora ser definido apenas por uma coordenada ou *score* no novo eixo (figura 2.3). O relacionamento entre as variáveis é dado, então, pelo fator de carregamento destas variáveis, representado pelo cosseno da inclinação do novo eixo para a variável no eixo horizontal e pelo seno da inclinação do novo eixo para a variável no eixo vertical. Para um maior número de variáveis utiliza-se a mesma técnica, salientando-se a ortogonalidade dos novos eixos.

A análise de componentes principais é capaz de reduzir o número de variáveis. A análise de componentes principais não é igual à análise de fatores (*Factor Analysis*). Embora os resultados de ambos os métodos sejam bastante semelhantes. A análise de fatores busca uma estrutura causal entre as variáveis, enquanto PCA busca apenas reduzir o conjunto de variáveis mantendo, ao máximo, o poder de explicação (variância total). Apesar disto, a análise de componentes principais pode ser utilizada para se associar um componente principal a um fator real.

A análise de PCA tem como resultado um novo conjunto de variáveis (componentes principais) relacionadas (combinação linear) com cada variável através dos fatores de carregamento. Da mesma forma, cada variável original se relaciona com as novas variáveis pelos fatores de carregamento.

Foi usado o critério de Kaiser ou autovalor 1: devem ser considerados apenas os componentes com autovalor superior a 1, o que significa que o componente contabiliza mais variância do que uma variável. Foi criada uma tabela de fatores contendo os fatores de carregamento para cada variável - gerados segundo o critério informado. Representam a correlação entre cada fator e cada variável (o quadrado do fator representa o coeficiente de determinação ou a percentagem da variância de cada variável explicada por cada fator). Como foi adotado o critério de determinação Kaiser, somente são considerados para a determinação dos fatores aqueles com autovalor superior a 1. Foi também criada uma tabela contendo os k componentes principais ou fatores de carregamento normalizados. Os componentes principais equivalem aos fatores de carregamento divididos pela raiz quadrada dos respectivos autovalores. Também equivalem aos autovalores da matriz de correlações (METRIXUS).

Não há diferenças vetoriais entre Fatores e PCA. O PCA é apenas uma normalização dos fatores de carregamento. Tanto Fatores como PCA podem ser utilizados como resultado da análise de componentes principais. Entretanto, para realizar comparações entre componentes principais, é interessante observar os fatores de carregamento normalizados (MINGOTI, 2005).

Em função da normalização dos dados originais pela matriz de correlações, os componentes principais são gerados sobre dados com média 0 e variância 1. Após gerar novos dados através dos fatores de carregamento e de *scores*, estes devem ser convertidos para a média e variância da variável em questão.

A matriz contendo todas as variáveis independentes normalizadas foi multiplicada pela matriz contendo as componentes principais PCA1 e PCA2 tendo como resultado uma matriz de duas variáveis com o mesmo número de linhas dos dados iniciais.

2.5 MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS

Modelos agrometeorológicos que relacionam o rendimento das culturas com variáveis hídricas auxiliam na previsão de safra (MATZENAUER, 1994) (*apud* PICINI *et al*, 1999). O déficit hídrico ocupa uma posição de destaque entre os fatores limitantes da produção da maioria das culturas, pois altera o metabolismo da planta e é um fenômeno que ocorre em grandes áreas cultiváveis. No semi-árido Nordeste o déficit hídrico é muito freqüente, afetando consideravelmente a agricultura da região.

Os modelos que usam o efeito dos fenômenos meteorológicos na produção vegetal são classificados em três tipos: "empírico-estatístico", "matemático-mecânico" e "conceitual" (ACOCK & ACOCK, 1991), (*apud* PICINI *et al*, 1999).

O "empírico-estatístico" é o mais simples e descreve as relações entre as variáveis, sem considerar os processos, apresentando muitas restrições para a extrapolação de resultados. No Brasil, modelos específicos para café foram desenvolvidos por Silva (1956), Ipea (1972), Camargo *et al.* (1984), Silva *et al.* (1986,1987), Liu & Liu (1988) e Well (1990) (*apud* Picini *et al.*, 1999).

O modelo "conceitual", é o mais complexo. Requer grande número de informações dos processos físicos e biológicos envolvidos, como é o de simulação de crescimento, maturação e produtividade para a cultura da laranja, proposto por Ben Mechilia & Carrol (1989).

O modelo "matemático-mecânico" é mais simples que o conceitual, descreve matematicamente a casualidade ou a relação entre os processos envolvidos durante o ciclo da cultura, possuindo menores restrições em relação à extrapolação de resultados do que o empírico-estatístico (ACOCK & ACOCK, 1991, *apud* PICINI *et al.*, 1999).

Segundo Santos *et al.* (2006) uma boa estimativa da produtividade implica na utilização de modelos que considerem os efeitos ambientais aos processos fisiológicos determinantes da produção. Piccini *et al.* (1999) e Carvalho *et al.* (2003) testaram diferentes modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade de café, com base nos modelos matemáticos de Stewart *et al.* (1976), Doorebons e Kassan (1979) e de Rao (1988) (*apud* SANTOS *et al.*, 2006). Esses modelos sugerem que o consumo hídrico seja expresso pela razão entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração potencial (ET_p) ocorridos nos diferentes estágios

fenológicos da cultura, quantificando assim o efeito da água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade final.

Os modelos matemáticos baseiam-se na penalização da produtividade potencial da cultura em função do déficit hídrico quantificado através da relação $[1-(ET_r/ET_p)]$, ajustadas por coeficientes de sensibilidade da cultura (k_y) ocorridos em diferentes fases fenológicas. Para algumas culturas consideram-se efeitos da produtividade do ano anterior e de temperaturas adversas.

Para Camargo *et al.*, (2003) o déficit hídrico não deve ser considerado isoladamente, pois outros fatores climáticos interferem na produtividade, especialmente temperaturas do ar adversas ocorridas nos diferentes estágios fenológico da cultura. Camargo propôs então um modelo matemático fenológico agrometeorológico de monitoramento visando estimar a quebra de produtividade do café, embasado em componentes fenológicos, hídricos e térmicos.

O modelo matemático agrometeorológico de monitoramento, desenvolvido por Camargo *et al.* (2003) para o café estima em porcentagem a quebra relativa da produtividade do café (Q) que é o resultado do produto dos fatores de penalização por deficiência hídrica DH, temperatura mínima TMIN e temperatura máxima TMAX. O componente fenológico não está inserido no produto acima, pois é utilizado apenas para estimar o início da fase do florescimento pleno do cafeeiro.

Beltrão, *et al.* (2004) realizou experimento para estimar a safra da mamona considerando os principais componentes de produção, que são os números de

cachos (racemos) por planta e o número de frutos por cacho, que podem ser mensurados em uma amostra no campo e serem utilizados junto com outros componentes (população de plantas por hectare e peso de uma semente) para a estimativa da produtividade de uma determinada lavoura, antes da colheita. Contudo, essa estimativa de safra seria apenas para os campos onde as amostras seriam colhidas, onde as mensurações devem ser feitas em pelo menos 10 plantas para cada hectare e a contagem em cada uma delas do número de cachos e dos frutos por cacho, independente da ordem deles, tomados ao acaso e a vinculação ao peso das sementes e no final ter um valor médio para a estimativa da produção.

Segundo Bezerra, (2004) a evapotranspiração da mamoneira ainda não foi determinada no Brasil, havendo divergências quanto as necessidades de uma precipitação mínima e máxima distribuídas durante o ciclo para que se obtenha boa produtividade. Essa variabilidade se dá em função das condições da planta e do local de cultivo.

O método ideal para determinar a evapotranspiração seria aquele que incorporasse todos os fatores que influenciam a ET, tais como morfologia da planta, taxa de crescimento da cobertura da superfície da planta, estágio de crescimento, condições de solo e principalmente a forma com que as propriedades físicas do solo afetam diretamente a água disponível para a extração pelo sistema radicular e as condições microclimáticas nos aspectos dos processos de transferência de energia e massa (SEDIYAMA, 1996).

Segundo Bezerra, (2004) um dos modos mais eficazes de quantificar o efeito da deficiência hídrica sobre a produção vegetal é através da comparação entre os valores relativos de rendimento e de consumo de água, com e sem deficiência hídrica.

Doorenbos *et al* (1979) (*apud* BEZERRA, 2004) propuseram quantificar esse efeito do suprimento de água sobre o rendimento das plantas, usando uma relação entre o decréscimo relativo no rendimento ($1 - Y_a/Y_m$) e o déficit relativo na evapotranspiração ($1 - E_{Tr}/E_{Tm}$), denominando essa relação de fator resposta no rendimento (k_y). Nessa relação o valor de Y_a corresponde ao rendimento em uma condição qualquer de suprimento de água, e o valor de Y_m corresponde ao rendimento sem deficiência hídrica.

O balanço hídrico do solo é o resultado das quantidades de água que entram e saem de um determinado volume do solo, para um dado intervalo de tempo, apresentando no final a quantidade efetiva de água que está disponível para plantas. No balanço hídrico os componentes mensurados são: precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda ou ascensão capilar, variação de armazenamento de água no solo e evapotranspiração (REICHARDT, 1985).

Os fatores que interferem no valor do coeficiente de cultivo (k_c) são principalmente as características genéticas da planta, a época de plantio, o ritmo de crescimento e a duração do período vegetativo, as condições climáticas e, especialmente, durante a primeira fase de crescimento, a frequência das chuvas ou irrigações e o vento, devido ao grau de turbulência do ar sobre a superfície de cultivo, é um dos fatores que mais influenciam a taxa de transpiração (DOORENBOS

& PRUITT, 1997). O k_c varia em função do índice de área foliar e esta relação elimina a idade da cultura na sua determinação, pois diferentes cultivares da mesma espécie apresentam crescimento e desenvolvimento distintos (PEREIRA *et al*, 1997) (*apud* BEZERRA, 2004).

As falta de dados disponíveis, que foram limitados a precipitação e produtividade em um número máximo de 16 anos, direcionou este trabalho para a criação de um modelo que mesmo usando dados limitados no tempo não se limitasse apenas a área experimental e sim a qualquer área da região Nordeste.

Um modelo estatístico para prever o rendimento (kg/ha) do milho e do feijão para o Estado de Ceará usando-se como variáveis explanatórias o índice de distribuição de chuva (IDC), que incorpora a distribuição temporal e espacial da chuva e a umidade do solo (Um) estimada pelo Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas (MUSAG), foi apresentado por (MELLO, 2005). O modelo foi construído com base na correlação entre o IDC (Índice de Distribuição de Chuva), o rendimento do milho e o IDC e rendimento do feijão. Os resultados mostraram que, em geral, os coeficientes de correlação foram pequenos, devido ao fato de que os dados de chuva correspondem a um posto pluviométrico situado na sede do município, enquanto que o rendimento foi estimado para o município como um todo. Dificuldade também encontrada no caso da mamona, sendo que no trabalho de MELLO as séries de produtividade do feijão e milho eram maiores. A correlação entre a umidade do solo estimada pelo MUSAG (Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas), que também incorpora características do solo, e o rendimento das culturas de sequeiro, foi mais elevada do que aqueles valores correspondentes

obtidos com IDC, mas não o bastante para identificar um bom modelo de previsão para o rendimento (MELLO, 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MUNICÍPIOS ESTUDADOS

O Estado do Ceará está localizado no setor norte da Região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 2,5°S e 8,0°S e longitudes 37°W e 41,5°E. Para este estudo foram selecionados sete municípios do Sertão Central (XAVIER, 2001) por ser a região do Estado do Ceará mais tradicional na produção de mamona (Tabela 3.1) sendo eles: Boa Viagem (16 anos), Monsenhor Tabosa (15 anos), Tamboril (15 anos), Canindé (15 anos), Catunda (12 anos), Crateús (9 anos), Itatira (14 anos), perfazendo um total de 96 produtividades.

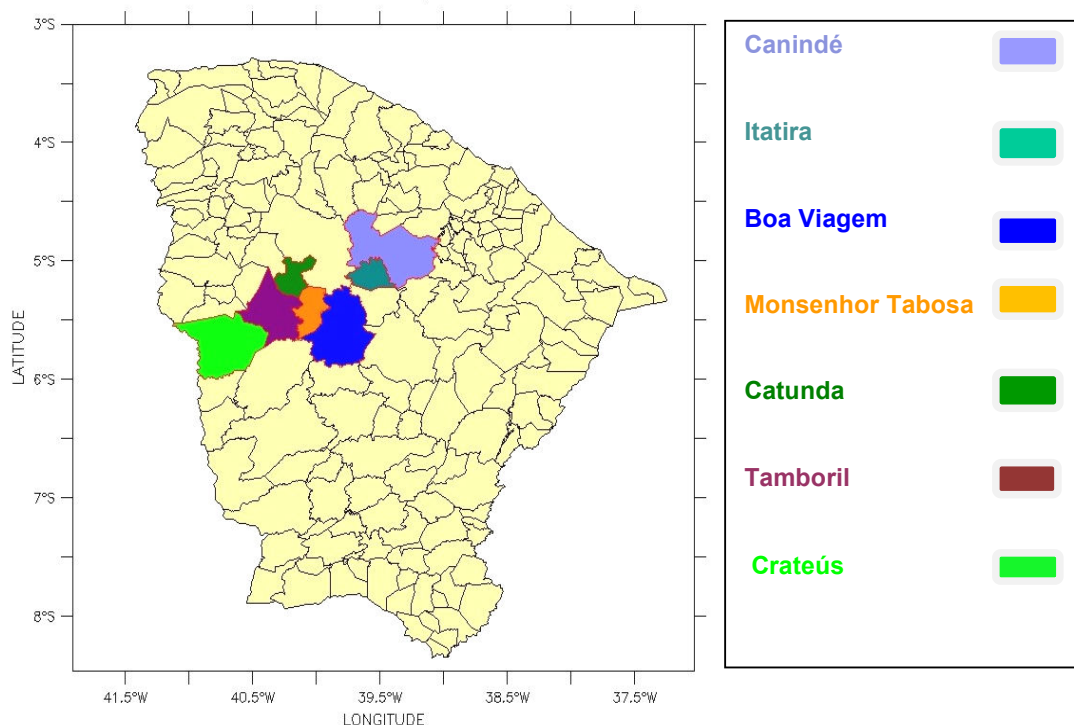


Figura 3.1 - Regiões com os municípios produtores de mamona no Sertão Central (Canindé, Itatira, Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, Catunda, Tamboril, Crateús)

Tabela 3.1 - Relação dos municípios e dos anos estudados

Relação dos anos estudados com os respectivos municípios						
B VIAGEM	M TABOSA	TAMBORIL	CANINDE	CATUNDA	CRATEUS	ITATIRA
2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
2004	Excluído	Excluído	2004	2004	Excluído	2004
2003	2003	2003	2003	2003	Sem dado	2003
2002	2002	2002	2002	2002	Excluído	2002
2001	2001	2001	2001	2001	Sem dado	2001
2000	2000	2000	2000	2000	Sem dado	2000
1999	1999	1999	1999	1999	Sem dado	Sem dado
1998	1998	1998	1998	Sem dado	1998	1998
1997	1997	1997	Sem dado	1997	1997	Sem dado
1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996
1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995
1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994
1993	1993	1993	1993	1993	Sem dado	1993
1992	1992	1992	1992	Sem dado	1992	1992
1991	1991	1991	1991	Sem dado	1991	1991
1990	1990	1990	1990	Sem dado	1990	1990

3.2 ORIGEM DOS DADOS

A produtividade da mamona foi colhida junto ao IBGE no período de 1995 a 2005, sendo este o órgão responsável oficial pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), que recebe os dados provenientes da rede de coleta do órgão, técnicos de outros órgãos que trabalham na área, produtores, colaboradores

que fornecem as informações através do preenchimento de questionários. A coleta dos dados é mensalmente realizada em todas as unidades da Federação, sendo específica para cada produto agrícola, áreas plantadas e colhidas, rendimento esperado e obtido, para as culturas temporárias e permanentes mais importantes.

O sistema de coleta de dados é fundamentado no acompanhamento permanente iniciando-se com a Intenção do Plantio onde são levantadas junto aos agricultores, associações de classe e cooperativas, dados sobre a demanda dos insumos agrícolas para estimar a área plantada. No Plantio Definitivo é verificada para cada produto, a área realmente plantada, e a partir desta estimar o rendimento esperado com base nos dados das últimas safras. A evolução da produção é realizada não só pelos resultados de levantamentos diretos, como também pelas informações complementares sobre meteorologia, ação dos agentes climáticos adversos, financiamentos concedidos, comercialização, industrialização entre outras. No período de colheita são realizadas observações para se avaliar os rendimentos, ajustar os níveis de rendimento e para se estabelecer o rendimento médio obtido (MELO, 2005).

Os dados pluviométricos dos sete municípios estudados foram selecionados da rede pluviométrica disponibilizada pela FUNCEME (184 postos) localizados nas sedes dos municípios (anexo B) ao longo do Estado do Ceará durante o período de 16 anos, de 1990 até 2005. A precipitação é medida em pluviômetros tipo Ville de Paris e refere-se à chuva ocorrida entre as 07:00 horas de um dia até as 07:00 horas do dia do registro.

Foram excluídos os dados de chuvas do ano de 2004 dos municípios de Monsenhor Tabosa, Tamboril e Crateús, sendo que para este último município também foi excluído o ano de 2002. Nos anos citados os postos pluviométricos da sede dos municípios apresentaram chuvas muito acima da média.

Foi adotado como início da estação chuvosa o período no qual ocorreram precipitações de 25 mm ou mais em 1 ou 2 dias, sendo essa a época do plantio da mamona. Para o fim da estação chuvosa, específico para a mamona, foi considerado o dia anterior a um período de quarenta dias secos, sendo considerado dia seco aquele onde ocorreram precipitações iguais ou inferiores a 6 mm.

3.3 PREDITORES

Para preditores (tabela 3.2) foi calculado o acumulado das precipitações em milímetros dos 60 primeiros dias (P_s) apartir do início da estação chuvosa, este é o período vegetativo do ciclo de vida da mamona. O acumulado das precipitações em milímetros dos 100 primeiros dias (P_c) apartir do início da estação chuvosa, este é o período vegetativo seguido do início do ciclo reprodutivo com o amadurecimento do primeiro cacho. O acumulado das precipitações em milímetros em toda a estação chuvosa (P_t) e a duração da estação chuvosa (D) em número dias, justificam-se por a mamona ter uma produção escalonada, ocorrendo enquanto durarem as precipitações. O acumulado das precipitações em milímetros no período do 61° ao 160° dias (P_{sc}) apartir do início da estação chuvosa, este é o período reprodutivo da mamona. O acumulado das precipitações em milímetros do 101° dia (P_f) até o fim da estação chuvosa, justifica-se pelo escalonamento da produção da mamona.

Tabela 3.2 – Definição dos preditores usados e suas respectivas siglas

SIGLA	PREDITOR
Ps	Acumulado das precipitações em milímetros dos 60 primeiros dias apartir do inicio da estação chuvosa.
Pc	Acumulado das precipitações em milímetros dos 100 primeiros dias apartir do inicio da estação chuvosa.
Pt	Acumulado das precipitações em milímetros em toda a estação chuvosa.
D	Duração da estação chuvosa em número dias.
Psc	Acumulado das precipitações em milímetros no período do 61° ao 160° dias apartir do inicio da estação chuvosa.
Pf	Acumulado das precipitações em milímetros do 101° dia até o fim da estação chuvosa.

3.4 METODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS

Depois de determinados os preditores foi realizado o teste t com (n-2) graus de liberdade para determinar se os coeficientes são significativos ao nível desejado de 5% ou 0,05, para uma confiança de 95%, ou seja, aqueles onde t calculado for maior que o t crítico.

Foram calculados os coeficientes de determinação r^2 que é interpretado como a proporção de variação total da variável dependente que é explicada pela variação das variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_n . O coeficiente de determinação é igual ao quadrado do coeficiente de correlação. Assim a partir do valor do coeficiente de determinação podemos obter o valor do coeficiente de correlação. O coeficiente de determinação é sempre positivo, enquanto que o coeficiente de correlação pode admitir valores negativos e positivos. Valores de r igual ou próximos de 1 ou -1 indicam que existe uma forte relação entre as variáveis: no primeiro caso a relação é

direta, enquanto que no segundo a relação é inversa. Valores próximos de Zero significam que existe pouco relacionamento entre as variáveis. O coeficiente de determinação indica o quanto à reta de regressão explica o ajuste da reta, enquanto que o coeficiente de correlação deve ser usado como uma medida de força da relação entre as variáveis.

As equações de regressão linear, polinomial de terceiro grau, assim como as correlações foram obtidas com o *software Microsoft Excel*, adicionado do aplicativo *Metrixus* para a realização da correlação múltipla e a Análise de Componentes Principais. Para a realização das estimativas só foi utilizado às equações de regressão linear, pois as demais regressões não se aplicavam a todos os preditores, embora algumas delas apresentássemos correlações superiores às correlações lineares.

Neste estudo as variáveis independentes foram os preditores Ps, Pc, Pt, D, Psc, Pf que no caso da regressão linear simples foram relacionadas cada um separadamente com a variável dependente P. Quando da regressão múltipla as variáveis independentes foram os preditores Ps, Pc, Pt, D, Psc, Pf que foram simultaneamente relacionadas com a variável dependente P. Interessa-nos "simular" os efeitos causados sobre a variável P em decorrência de alterações introduzidas nos valores das variáveis Ps, Pc, Pt, D, Psc e Pf. Foram construídos gráficos de dispersão com os pares de informação referente a cada observação em um plano cartesiano, obtendo-se uma nuvem de pontos cujo eixo definirá um padrão de relacionamento entre P e os preditores.

Em função das possíveis heterogeneidades das variáveis originais, tais como, plantio consorciado, tipo de manejo da cultura, tipos de solos, cultivar usada no plantio, local da plantação distantes da sede do município, armazenamento, entre outros, os dados da amostra foram normalizados para facilitar a interpretação dos resultados gerados e extração dos componentes. A nova variável normalizada foi obtida pela diferença entre a variável e sua média dividida pelo desvio padrão. As variáveis normalizadas de cada município foram reunidas em uma única tabela e realizada a Análise dos Componentes Principais (PCA).

Nessas duas colunas foi realizada uma reversão específica para cada grupo de dados por município, em seguida criado um gráfico de dispersão entre a produtividade e a PCA1 encontrando um coeficiente de correlação linear de $r = 0,7508$ e uma equação de regressão simples apenas com a PCA1 (Equação 3.1).

$$P = 0,3774 \times PCA1(-4)^{-17} \quad (3.1)$$

O coeficiente de correlação linear entre a produtividade e a PCA2 obtido foi de $r = 0,0008$. Foi também calculada a equação de regressão linear múltipla (Equação 3.2), que foi utilizada para realização de uma estimativa da produtividade para todos os municípios estudados que foram comparados com a produtividade real.

$$P = 0,377355 \times PCA1 - 0,024965 \times PCA2 \quad (3.2)$$

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS PREDITORES

Para a análise dos preditores foi realizada uma comparação entre as médias da variável dependente e as variáveis independentes através do teste t. O resultado do teste é mostrado na tabela 4.1. Os valores calculados pelo teste t foram comparados com os valores do t crítico, lido na tabela de distribuição para se determinar o nível de significância.

Na análise dos vários níveis de significância entre a produtividade e todos os preditores (tabela 4.2), constatou-se que para o município de Boa Viagem tivemos um nível de significância de 0,200 para os preditores P_s e P_c , para os demais o nível de significância foi 0,010 significando uma confiança de 99%.

Para o município de Monsenhor Tabosa apenas o preditor P_s apresentou um nível de significância maior que 0,100 todos os demais foram iguais ou inferiores a 0,010. Para o município de Tamboril todos preditores tiveram um nível de confiança igual ou inferiores a 0,050.

Para o município de Canindé o preditor P_s registrou um nível de significância 0,200 e o P_c um nível de significância 0,100 os demais preditores foram iguais ou inferiores a 0,050.

Para o município de Catunda os preditores Ps e Pf registraram níveis de significância 0,100 enquanto o preditor Psc obteve um nível de significância de 0,200 e os demais preditores obtiveram níveis iguais ou inferiores a 0,050.

Para o município de Crateús os preditores Ps e Pf obtiveram níveis de significância de 0,300 e 0,200 respectivamente, os demais preditores obtiveram níveis de significância iguais ou inferiores a 0,020.

Para o município de Itatira os níveis de significância do preditor Pf foi de 0,400 e do D de 0,200, os demais preditores foram iguais ou inferiores a 0,05.

Tabela 4.1 - Valores do teste t realizado entre a produtividade e os preditores para os municípios individualmente selecionados no sertão central do estado do Ceará com os dados originais.

Teste t ente a produtividade e os preditores						
	P x Ps	P x Pc	P x Pt	P x D	P x Psc	P x Pf
B Viagem	1,449142	1,696048	3,681155	3,882757	3,3805501	3,864594
M Tabosa	2,012552	3,213742	5,128085	4,338923	5,0262792	3,465656
Tamboril	2,878439	3,857509	3,938292	3,379412	2,8795968	2,252321
Canindé	1,491328	2,611501	3,035197	2,546885	1,9616366	2,259685
Catunda	1,989383	2,376825	3,117724	2,896561	1,7550999	2,121423
Crateús	1,394902	2,945683	4,146567	2,490481	2,8191891	1,740662
Itatira	2,464478	3,206045	2,815334	1,599594	2,2492824	1,068737

Tabela 4.2 - Nível de significância do teste t realizado entre a produtividade e os preditores para municípios individualmente selecionados no sertão central do estado do Ceará com os dados originais

Nível de significância (probabilidade de erro)						
	P x Ps	P x Pc	P x Pt	P x D	P x Psc	P x Pf
B Viagem	0,200	0,200	0,010	0,010	0,010	0,010
M Tabosa	0,100	0,010	0,001	0,001	0,001	0,010
Tamboril	0,020	0,010	0,010	0,010	0,020	0,050
Canindé	0,200	0,050	0,010	0,050	0,100	0,050
Catunda	0,100	0,050	0,050	0,020	0,200	0,100
Crateús	0,300	0,020	0,010	0,020	0,020	0,200
Itatira	0,050	0,010	0,020	0,200	0,050	0,400

Os valores dos coeficientes de correlações lineares (Tabela 4.3) mostram que para o município de Boa Viagem os preditores mais significativos foram Pt, D e Pf com correlações iguais e acima de 0,7000.

Para o município de Monsenhor Tabosa o preditor Pt teve coeficiente de correlação linear de 0,8181 enquanto que o preditor Psc também teve valor do coeficiente de correlação acima de 0,8000.

Para município de Tamboril dois preditores (Pc e Pt) obtiveram coeficientes de correlação linear de 0,7306 e 0,7673 respectivamente, os demais obtiveram valores inferiores a 0,7000.

Para o município de Canindé apenas um preditor Pt obteve coeficiente de correlação linear igual a 0,6420, todos os demais tiveram valores inferiores a 0,6000.

Para o município de Catunda os melhores coeficientes de correlação linear foram para os preditores Pt e D sedo de 0,7021 e 0,6755 respectivamente.

Para o município de Crateús os preditores que obtiveram os coeficientes de correlação linear mais significativo foram Pc, Pt e Psc com os respectivos valores de 0,7439, 0,8431 e 0,7292.

Para o município de Itatira obteve-se o maior coeficiente de correlação linear encontrado, onde o preditor Pc obteve o valor de 0,6793. Os municípios de Itatira e de Canindé obtiveram todos os coeficientes de correlação inferiores a 0,7000.

O preditor mais significativo foi que o correspondia ao total de chuvas da estação, com mostrado na Tabela 4.3, onde o menor coeficiente foi de 0,6308, significância esta também mostrada pela Tabela 4.2, onde o maior a maior probabilidade de erro foi de 5%.

A Tabela 4.4 mostra uma redução nos coeficientes de correlação linear da região em comparação aos coeficientes de correlações linear dos municípios separadamente, demonstrando a existência de heterogeneidade nos dados entre os municípios. Quando reunidos os sete municípios o coeficiente de correlação mais significativo também foi o que correspondia ao preditor das precipitações de toda a estação chuvosa (Pt), o que corresponde a realidade, onde a mamona continua produzindo até o término das chuvas, ou seja, quanto maior for a estação chuvosa maior a produtividade. Feita a normalização observou-se um aumento dos coeficientes de correlação para todos os preditores comparando-os aos dados

originais da região. Com os dados normalizado o preditor mais significativo continuou sendo o que representa o total de chuvas da estação chuvosa (Pt).

Tabela 4.3 - Tabela contendo os coeficientes de correlações lineares entre a precipitação e os preditores.

Correlações com todos os anos estudados						
	PxPs	PxPc	PxPt	PxD	PxPsc	PxPf
B Viagem	0,3611	0,4128	0,7013	0,7201	0,6704	0,8059
M Tabosa	0,4875	0,6654	0,8181	0,7691	0,8126	0,6929
Tamboril	0,5452	0,7306	0,7673	0,6839	0,6241	0,5299
Canindé	0,3823	0,5667	0,6439	0,5769	0,4779	0,5311
Catunda	0,5325	0,6009	0,7021	0,6755	0,4853	0,5604
Itatira	0,5798	0,6793	0,6308	0,4193	0,5447	0,2948
Crateús	0,4664	0,7439	0,8431	0,6855	0,7292	0,5497

Tabela 4.4 - Coeficientes de correlação linear com todos os municípios estudados.

Coefficientes de correlação linear simples para a região compreendendo os municípios de Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, Canindé, Catunda, Tamboril, Crateús e Itatira.						
Dados	P x Ps	P x Pc	P x Pt	P x D	P x Psc	P x Pf
Originais	0,4544	0,6005	0,6758	0,5846	0,5842	0,4926
Normalizados	0,4760	0,6218	0,7190	0,6470	0,6200	0,5584

A Tabela 4.5 contem os fatores de carregamento para cada variável, gerados segundo o critério de determinação Kaiser onde somente são considerados para a determinação dos fatores aqueles com autovalor igual ou superior a 1. Representam a correlação entre cada fator e cada variável, ou seja, representa o coeficiente de determinação ou a percentagem da variância de cada variável explicada por cada fator. Observa-se também que para a primeira componente principal a maior variância ocorreu na variável que representa o total de precipitações da estação chuvosa.

Na segunda componente principal ocorreu uma variância negativa para os preditores que representam a duração da estação chuvosa, assim como as precipitações do centésimo primeiro ao centésimo sexagésimo primeiro dia da

estação chuvosa e as precipitações do centésimo dia até o término da estação chuvosa.

Tabela 4.5: Tabela contendo os fatores de carregamento para cada variável.

Fatores de carregamento		
Preditores	F1	F2
Ps	0,6436	0,7139
Pc	0,8473	0,4914
Pt	0,9835	0,1460
D	0,7270	-0,4589
Psc	0,8352	-0,3411
Pf	0,7955	-0,5040

A Tabela 4.6 mostra as componentes principais ou Fatores de carregamento normalizados. Os componentes principais equivalem aos fatores de carregamento divididos pela raiz quadrada dos respectivos autovalores. Não há diferenças vetoriais entre Fatores e PCA. O PCA é apenas uma normalização dos fatores de carregamento. Tanto Fatores como PCA podem ser utilizados como resultado da análise de componentes principais. Para realizar-se a comparação entre as componentes principais, é interessante observar os fatores de carregamento normalizados, onde é mostrado que o preditor mais significativo o corresponde ao total das precipitações em toda a estação chuvosa, seguido de Pc que corresponde as precipitações nos 100 primeiros dias da estação chuvosa. Deve-se salientar que as duas componentes principais correspondem a um acumulado de 88,53% de variância.

Tabela 4.6 - Tabela contendo os componentes principais ou fatores de carregamento normalizados.

Componentes principais		
Preditores	PCA1	PCA2
Ps	0,3234	0,6137
Pc	0,4258	0,4224
Pt	0,4943	0,1255
D	0,3654	-0,3945
Psc	0,4197	-0,2932
Pf	0,3998	-0,4332

Depois de construída a componente principal PCA1 e PCA2 foi feita uma correlação linear simples entre a produtividade real normalizada (Pn) e a componente principal PCA1 que mostrou um coeficiente de regressão $r = 0,7058$, mostrado pelo Figura 4.1. Em seguida foi feita uma outra correlação linear simples entre a produtividade real normalizada (Pn) e a componente principal PCA2 mostrado pela Figura 4.2, onde foi verificado um coeficiente de correlação linear muito pequeno $r = 0,0282$, que mostrou uma grande dispersão. Com a produtividade real normalizada (Pn) e as PCA1 e PCA2 foi realizada um correlação múltipla onde a variável independente foi a produtividade real normalizada e variáveis independentes a PCA1 e PCA2, obtendo-se como resultado a equação $Pn = 0,377355*PCA1 - 0,024965*PCA2$.

A equação obtida pela correlação múltipla foi usada para se obter uma produtividade estimada de toda a região que consta de 96 dados reunindo todos os municípios estudados, desta estimativa foi realizado o retorno da normalização usando o inverso da normalização realizada por municípios que foram agrupados novamente. Desfeita a normalização foi realizada uma correlação entre a produtividade real não normalizada (P) e a produtividade estimada já desfeita a

normalização como mostrado na Figura 4.3 com um coeficiente de correlação $r = 0,7417$.

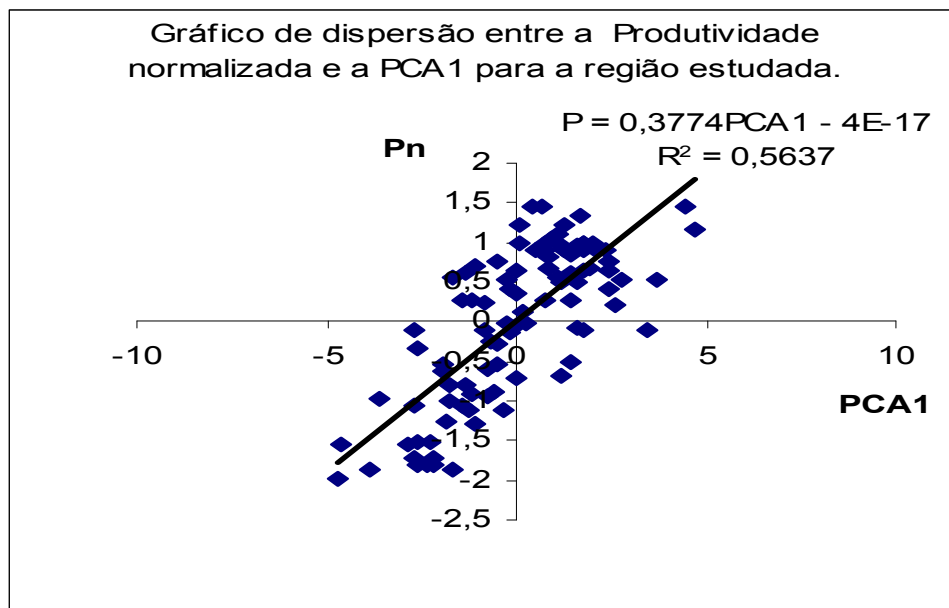


Figura 4.1 - Gráfico de dispersão entre a produtividade normalizada (Pn) e a primeira componente principal (PCA1).

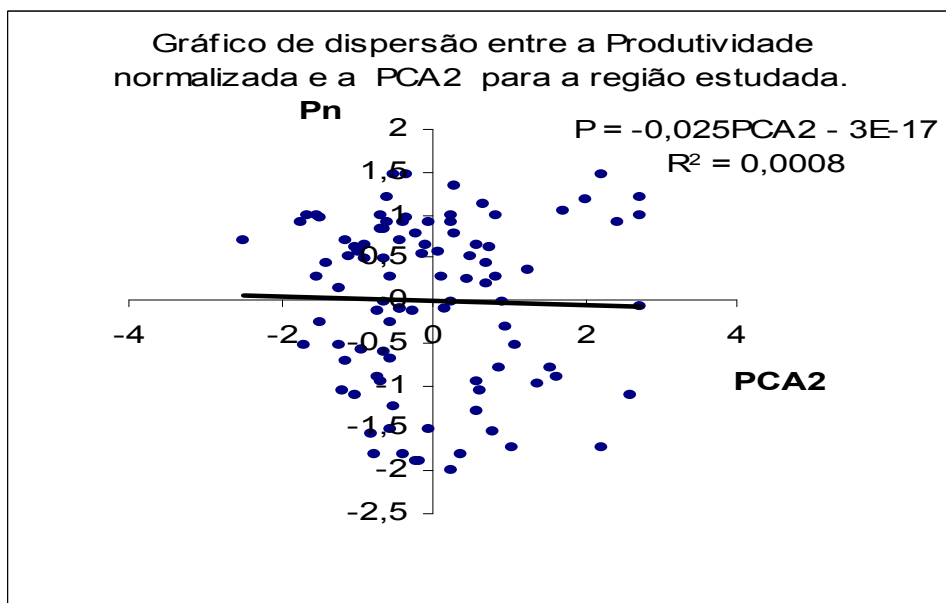


Figura 4.2 - Gráfico de dispersão entre a produtividade normalizada (Pn) e a segunda componente principal (PCA2).

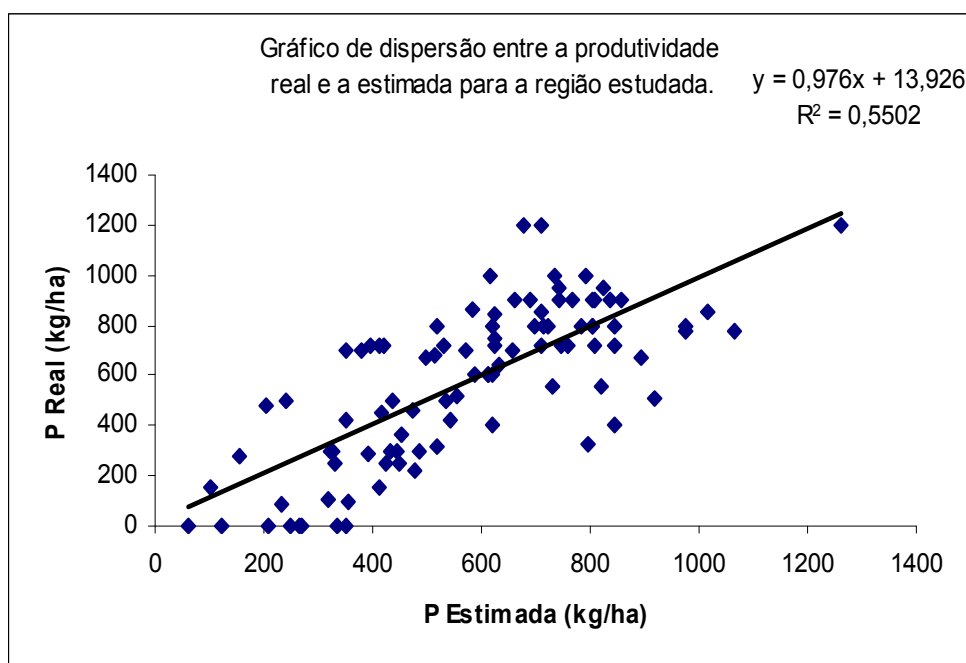


Figura 4.3 – Gráfico de dispersão entre a produtividade real (P Real) e a produtividade estimada (P Estimada)

A figura 4.4 representa uma análise comparativa entre a produtividade real e a estimada mostrando todos os municípios e todos os anos estudados. Os dados foram agrupados por município e em cada município os dados foram agrupados em ordem decrescente de produtividade real. A linha vermelha mostra a produtividade real enquanto a linha azul mostra a produtividade estimada usando a equação de regressão múltipla, tendo como variável dependente a produtividade real (P) e como variáveis independentes a PCA1 e PCA2.

A aplicação da equação de regressão múltipla $P = 0,377355 \cdot PCA1 - 0,024965 \cdot PCA2$ mostra que os máximos e os mínimos da produtividade estimados foram muito próximos dos máximos e mínimos da produtividade real, para a faixa intermediária os municípios de Catunda, Monsenhor Tabosa e Crateús mostraram uma maior aproximação.

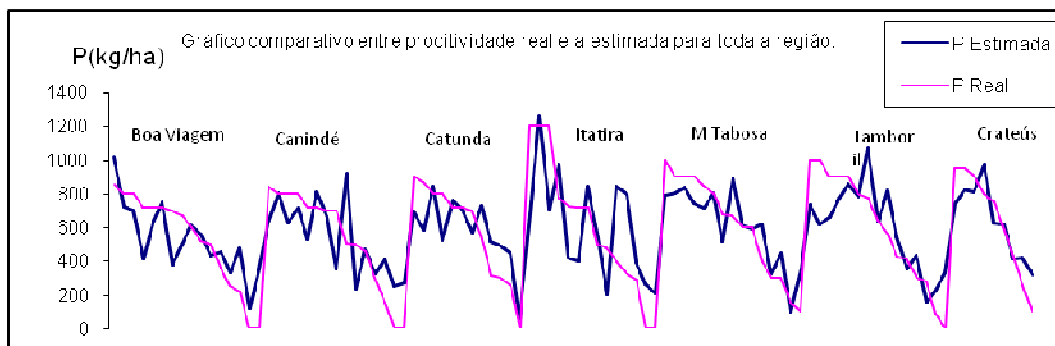


Figura 4.4 - Comparativo geral entre a produtividade real e a estimada usando equação de regressão múltipla com variáveis independentes a primeira componente principal (PCA1) e a segunda componente principal (PCA2).

4.2 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE BOA VIAGEM

Fazendo-se um comparativo mais específico entre a produtividade real e a produtividade estimada para o município de Boa Viagem é possível através da figura 4.5 observar que com exceção dos anos de 1991, 1992, 1998 e 1999, os demais anos a produtividade estimada esteve próxima da produtividade real. No ano de 1990 a produtividade estimada esteve bem próxima da real, com apenas 12% menor. Para o ano de 1991 o aumento da produtividade real não foi previsto pelo modelo, pois a produtividade estimada esteve 42% menor que a real, o mesmo ocorrendo para o ano de 1992 onde o modelo previu um aumento da produtividade comparada com o ano anterior, onde a diferença entre a produtividade estimada foi 121% maior que a real, sendo esta a maior diferença nas estimativas para o município de Boa Viagem.

A quebra total da safra de 1993 foi prevista parcialmente pelo modelo que mostrou a forte tendência dessa quebra, estimando apenas uma produtividade de 122 kg/ha, produtividade essa que pode ser considerada quase uma quebra de

safra. Para o ano de 1994 o modelo apresentou uma estimativa muito próxima da real, ficando um pouco abaixo desta, apenas 13% menor. O acerto do modelo para o ano de 1995 foi muito bom, pois a produtividade estimada foi apenas 3% superior a real, o mesmo aconteceu para o ano de 1996 onde a produtividade estimada foi 6% superior a real. Para o ano de 1997 o modelo estimou uma produtividade um pouco acima da produtividade real, 32% acima. Entretanto o mesmo não aconteceu no ano de 1998, pois o modelo estimou uma produtividade semelhante ao de 1997 (330 kg/ha), quando na realidade ocorreu uma quebra total da safra. Já para o ano de 1999 o modelo estimou uma produtividade semelhante aos anos de 1997 e 1998, entretanto a produtividade estimada foi aproximadamente 45% menor que a real.

Para o ano de 2000 a produtividade estimada foi muito próxima da real, apenas 9% a inferior, o mesmo aconteceu para o ano de 2002, onde a produtividade real foi 12% maior que a produtividade estimada. Nos anos de 2001 e 2003 as diferenças entre a produtividade real e a estimada foram semelhantes, aproximadamente 25% maior e 26% menor, respectivamente. Para o ano de 2004 a produtividade estimada foi 18% maior que a produtividade real. A melhor aproximação do modelo foi para o ano de 2004, onde a produtividade estimada foi apenas 2% superior a produtividade real.

Nos anos de 1993 e 1998 ocorreu a quebra total da safra que não foi prevista pelo modelo, apenas ocorreu uma aproximação no ano de 1993. Nos anos de 1998 e 1999 o modelo estabilizou a produtividade em aproximadamente 360 kg/ha, enquanto a produtividade real passou de zero em 1998 para uma 700 kg/ha no ano

de 1999. Para os anos de 1990, 1994, 1995, 1996, 2000, 2002, 2004 e 2005 o modelo conseguiu boas estimativas quando comparadas com a produtividade real.

A equação obtida para a região estuda foi bastante precisa quando usada pra o município de Boa Viagem como mostra o Figura 4.5, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 16 anos estudados, a exceção ficou com o ano de 1992, que foi o maior erro percentual do modelo para o município.

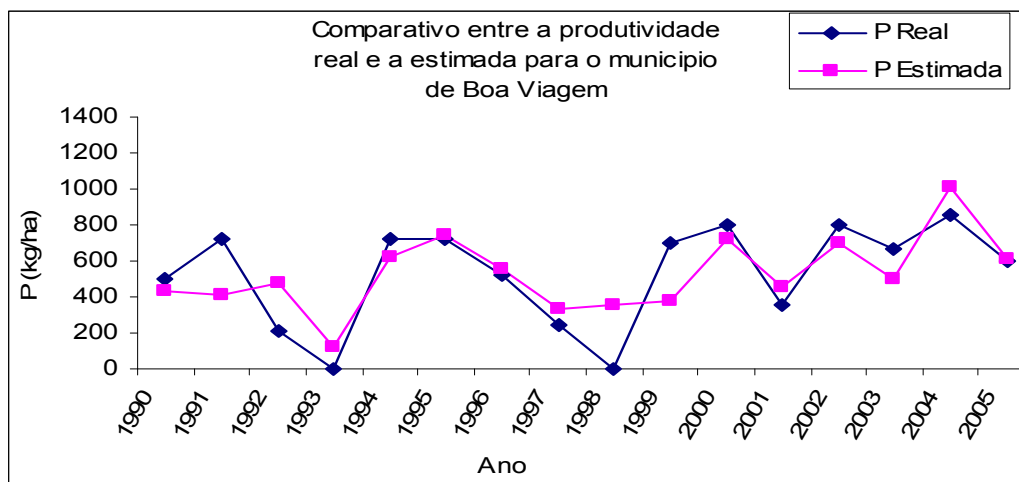


Figura 4.5 - Comparativo entre a produtividade real e produtividade estimada em kg/ha para o município de Boa Viagem.

4.3 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE MONSENHOR TABOSA

No estudo comparativo entre a produtividade real e a estimada para o município de Monsenhor Tabosa, mostrada na Figura 4.6, é possível observar que para o ano de 1990 a produtividade prevista esteve muito próxima da real, a estimada foi apenas 2% superior a estimada, o mesmo acontecendo no ano de 1991 onde a produtividade estimada foi 10% inferior a produtividade real.

Para o ano de 1992 o modelo comete um erro semelhante ao cometido pra o município de Boa Viagem, a produtividade estimada foi 254% superior à produtividade real, a produtividade baixa não foi prevista pelo modelo, embora a tendência tenha sido prevista. Para o ano de 1993 o modelo conseguiu prever a baixa produtividade, contudo a estimada ficou 31% inferior à produtividade real. O modelo conseguiu identificar também a tendência pra o ano 1994 onde à produtividade acima do normal para a região foi identificada, ficando a produtividade estimada apenas 6% inferior à produtividade real. Para o ano de 1995 o modelo não conseguiu prever que a produtividade seria alta, pois a produtividade estimada foi 17% inferior a produtividade real.

Para o ano de 1996 o modelo estimou uma safra semelhante aos anos de 1994 e 1995, ficando 33% superior a produtividade real. Na estimativa para o ano de 1997 o modelo inverteu a tendência prevendo uma redução da produtividade, quando na realidade ocorreu um aumento, onde a produtividade estimada foi 24% inferior a produtividade real. Para o ano de 1998 a redução da produtividade foi prevista pelo modelo, pois a diferença entre a produtividade estimada e a real foi de apenas 7%. No ano de 1999 o modelo conseguiu prever a produtividade real com um erro de apenas 1%. No ano de 2000 a produtividade estimada foi 16% inferior a produtividade real, já para o ano de 2001 a tendência da redução da produtividade foi prevista pelo modelo, ficando a produtividade estimada 48% superior a real.

O modelo conseguiu um acerto muito alto para o ano de 2002 onde a diferença ente a produtividade estimada e a real foi de apenas 0,3%, significando

uma diferença de apenas 2 kg/ha. No ano de 2003 ocorreu uma safra muito acima da média, tendência que o modelo não conseguiu identificar, a produtividade estimada foi 20% menor que a produtividade real. Para o ano de 2005 o modelo não conseguiu prever a redução da produtividade, pois esta foi 54% maior que a produtividade real. O modelo conseguiu boa previsão para os anos de 1990, 1991, 1994, 1995, 1998, 1999, 2000 e 2002, contudo nos anos de 1996 e 1997 ocorreu uma inversão da tendência, o que ocorreu também no ano de 2003. O modelo foi preciso também nos picos de safra.

A equação obtida para a região estuda foi bastante precisa quando usada para o município de Monsenhor Tabosa como mostra o Figura 4.6, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 15 anos estudados, a semelhança da previsão para o município de Boa Viagem a exceção ficou com o ano de 1992, que foi o maior erro percentual do modelo para toda a região. O acerto percentual do modelo para o ano de 2002 foi o maior em toda a região estudada.

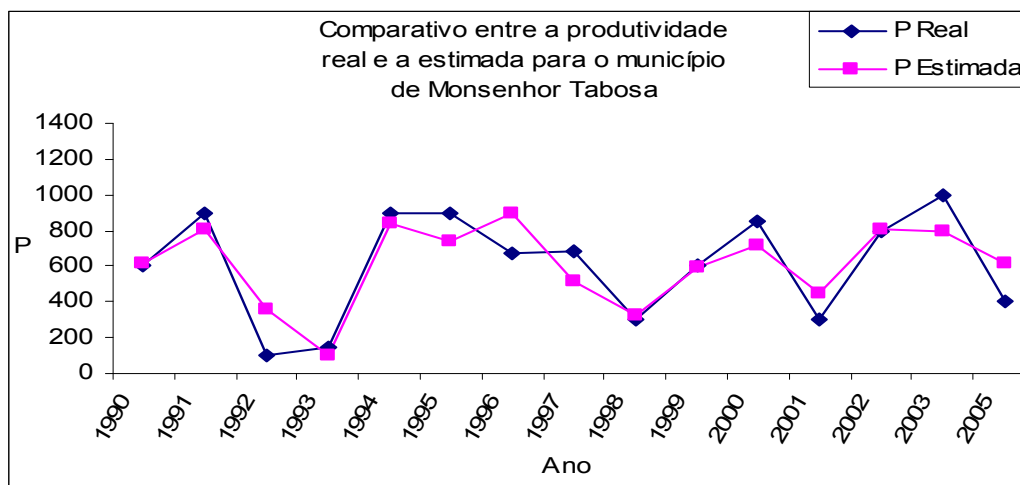


Figura 4.6 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Monsenhor Tabosa.

4.4 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE TAMBORIL

No estudo comparativo entre a produtividade real e a estimada para o município de Tamboril, Figura 4.7, é possível observar que para o ano de 1990 o modelo previu com boa precisão a produtividade, a estimada ficou 16% menor que a real. A tendência de aumento da produtividade para o ano de 1991 foi prevista pelo modelo, contudo a produtividade estimada foi 26% menor que a real, que foi uma produtividade maior que a média.

A redução da produtividade para o ano de 1992 foi prevista pelo modelo, porém a diferença entre a produtividade estimada e a real foi de 159%, a maior diferença percentual nos anos estudados para município, a semelhança das previsões do município de Boa Viagem e Monsenhor Tabosa. Para o ano de 1993 o modelo previu um aumento da produtividade em relação ao ano anterior, não conseguindo detectar a quebra total da safra ocorrida no referido ano. Para o ano de 1994 a previsão da produtividade foi bem próxima da produtividade real, apenas 14% menor, já para os anos de 1995 a alta produtividade não foi prevista pelo modelo, ficando a estimada 14% menor que a real. Em 1996 ocorreu uma inversão da tendência o modelo uma produtividade acima 1067 kg/ha enquanto a real foi de 776 kg/ha uma diferença de 37% a mais, pois a previsão era um aumento da produtividade comparado ao ano anterior o que não ocorreu.

As previsões da produtividade para os anos de 1997, 2000 e 2002 foram muito próximas da produtividade real, a estimada ficou menor que a real, respectivamente -1%, -4% e -1%. Para 1998 o modelo acompanhou a tendência de redução da produtividade, mesmo assim a produtividade estimada ficou 44% menor

que a produtividade real. Em 1999 ocorreu uma inversão da tendência, o modelo estimou uma produtividade 46% maior que a produtividade real, aproximadamente a mesma diferença ocorrida para o ano de 2001, onde a produtividade estimada foi 44% maior que a produtividade real. Em 2003 a produtividade foi muito acima da média, alta essa que o modelo não identificou, pois a produtividade estimada ficou 38% menor que a produtividade real. Em 2005 a produtividade estimada foi 28% maior que a produtividade real.

A previsão da produtividade foi precisa para os anos de 1990, 1994, 1997, 2000 e 2002, porem o modelo não conseguiu prever a quebra total da safra de 1993. A equação obtida para a região estuda foi bastante precisa quando usada pra o município de Tamboril como mostra o Figura 4.7, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 15 anos estudados, a semelhança da previsão para o município de Boa Viagem e Monsenhor Tabosa, exceção ficou com o ano de 1992, que foi o maior erro percentual do modelo para o município.

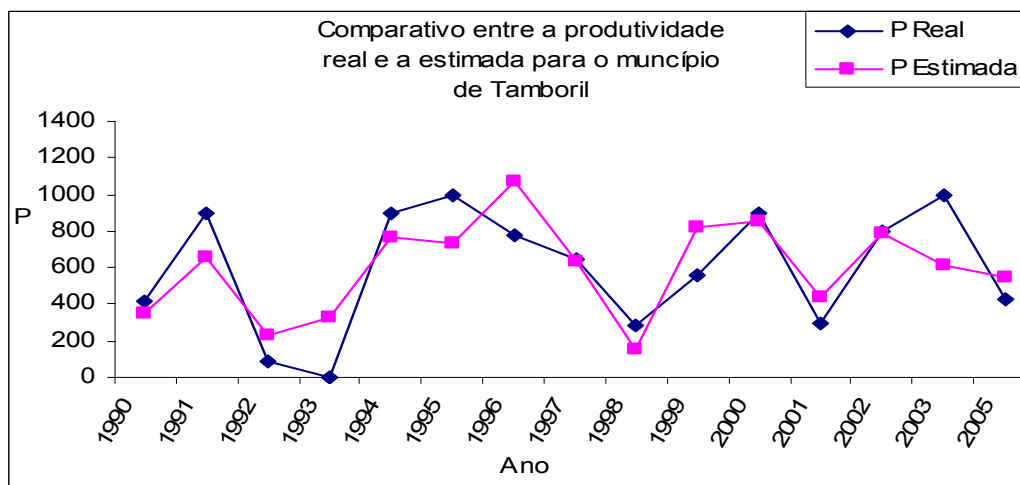


Figura 4.7 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Tamboril.

4.5 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CANINDÉ

No estudo comparativo entre a produtividade real e a estimada para o município de Canindé mostrado na Figura 4.8, temos para o ano de 1990 uma produtividade estimada 52% menor que a produtividade real. Para o ano de 1991 a tendência de uma produtividade abaixo da real se manteve, sendo que a produtividade estimada foi 26% menor que a real. Para o ano de 1992 a semelhança dos municípios de Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, e Tamboril a diferença entre a produtividade estimada e a real foi de 171%.

No ano 1993 a quebra total da safra não foi prevista pelo modelo que previu uma produtividade de 250 kg/ha, o mesmo ocorrendo com o ano de 1998, pois o modelo previu uma produtividade de 270 kg/ha enquanto a produtividade real foi nula. A previsão da produtividade para o ano de 1994 foi muito boa, ocorrendo uma diferença de apenas 12% entre a produtividade estimada e a produtividade real, já para o ano de 1995 essa diferença foi ainda menor, pois a produtividade estimada foi de apenas 5% menor que a produtividade real. No ano de 1996 ocorreu uma inversão da tendência prevista pelo modelo, pois este estimou uma produtividade 81% maior que a real. Para 1999 o modelo estimou uma produtividade 50% menor que a produtividade real. No ano de 2000 o modelo previu com grande exatidão a produtividade, pois a diferença entre a produtividade estimada e a real foi 0,3%, significando uma diferença de apenas 2 kg/ha.

A redução da produtividade para o ano de 2001 foi prevista pelo modelo, pois percentualmente a diferença entre a produtividade estimada e a real foi de apenas 8%. Nos anos de 2002 e 2003 as produtividades reais foram aproximadamente

iguais e o modelo conseguiu acompanhar essa tendência, pois a diferença entre a produtividade real e a estimada também foram semelhantes, respectivamente de -22% e -26%. Em 2004 a produtividade estimada foi bastante próxima da produtividade real, apenas 10% menor.

O modelo conseguiu acompanhar a tendência de uma redução da produtividade para o ano de 2005, onde a diferença entre a produtividade estimada e a real foi de apenas 3% a mais. Somente ocorreu inversão de tendência no ano de 1996, nos demais anos a tendência se confirmou, sendo que para os anos de 1995, 2000, 2001, 2004 e 2005 a produtividade prevista esteve bem próxima da produtividade real. O modelo não conseguiu prever a quebra total da safra dos anos de 1993 e 1998, embora tenha previsto a tendência de redução da produtividade em comparação ao ano anterior.

A equação obtida para a região estuda foi bastante precisa quando usada para o município de Canindé como mostra o Figura 4.8, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 15 anos estudados, a semelhança da previsão para o município de Boa Viagem e Monsenhor Tabosa e Tamboril a exceção ficou com o ano de 1992, que foi o maior erro percentual do modelo para o município.

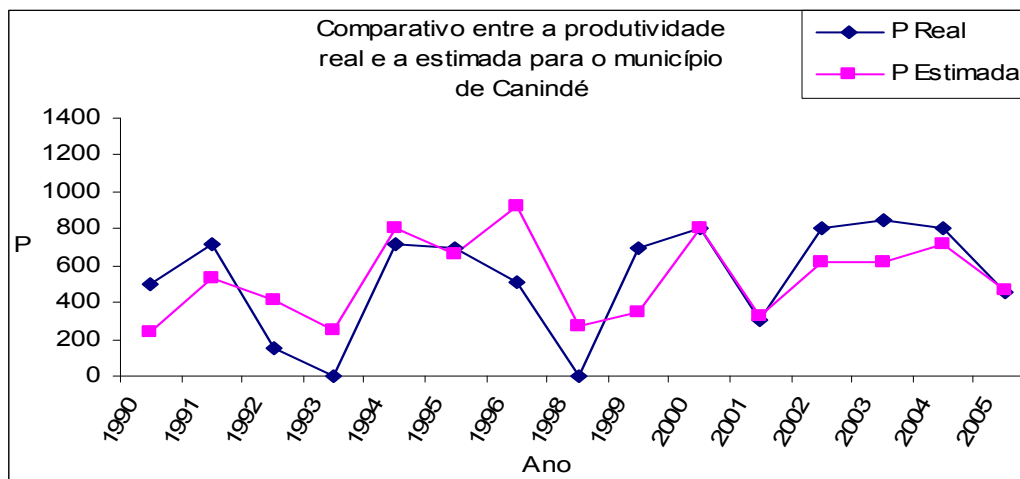


Figura 4.8 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Canindé.

4.6 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CATUNDA

No estudo comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada para o município de Catunda mostrado na Figura 4.9, é possível observar que para o ano de 1993 o modelo conseguiu uma boa aproximação da quebra total da safra, pois o modelo estimou uma produtividade muito pequena, sendo esta de 60 kg/ha.

Para os anos de 1994 e 1995 o modelo previu com boa aproximação a produtividade real que para os dois anos foi de 720 kg/ha enquanto a produtividade estimada foi 5% maior e 1% menor respectivamente. Para o ano de 1996 a diferença foi de aproximadamente 32% entre a produtividade real e a estimada. Para o ano de 1997 a diferença entre a produtividade estimada foi de 79% maior que a produtividade real. Para o ano de 1999 o modelo conseguiu acompanhar a tendência de aumento da produtividade, embora a produtividade estimada tenha sido 18% menor que a produtividade real. Para o ano de 2000 a produtividade

estimada foi muito próxima da produtividade real, com uma diferença de apenas 5%, o mesmo não ocorreu no ano de 2001, o modelo estimou um aumento da produtividade quando na realidade ocorreu foi uma redução, a estimada ficou 61% maior que a real.

Para os anos de 2002 e 2003 a produtividade real foi aproximadamente igual para os dois anos, o modelo previu uma produtividade aproximadamente igual, respectivamente -35% e -32%. A produtividade real no ano de 2004 foi acima da média 900 kg/ha, enquanto a produtividade prevista foi 23% menor. A redução da produtividade ocorrida no ano de 2005 não foi prevista pelo modelo, sendo a produtividade estimada foi 63% maior que a produtividade real. Nos anos de 1993, 1994, 1995, 1999 e 2000 a produtividade estimada foi bem próxima da produtividade real, as maiores diferenças ocorreram nos anos de 1997, 2001 e 2005. Na quebra de safra de 1993 a produtividade estimada pelo modelo esteve bem próxima da produtividade real com uma diferença de apenas 60 kg/ha. O modelo conseguiu identificar a tendência de uma produtividade muito baixa no ano de 1993 e de uma tendência de produtividade alta no ano seguinte, 1994.

A equação obtida para a região estuda foi bastante precisa quando usada pra o município de Catunda como mostra a figura 4.9 onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 12 anos estudados, onde a melhor aproximação entre a produtividade estimada e a real aconteceu nos anos de 1995 e 2000, enquanto as maiores diferenças percentuais foi nos anos de 1997, 2001 e 2005.

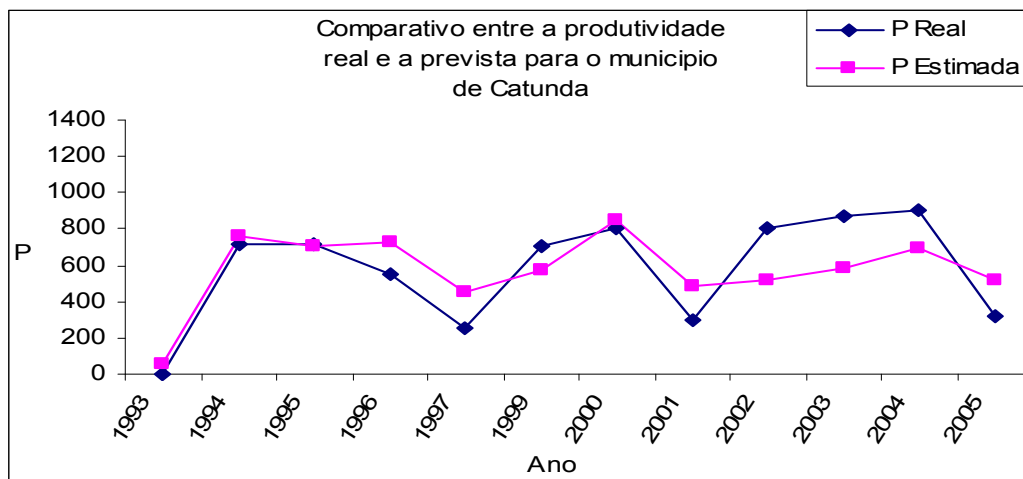


Figura 4.9 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Catunda.

4.7 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE ITATIRA

No estudo comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada para o município de Itatira, mostrado na Figura 4.10, para o ano de 1990 a produtividade estimada pelo modelo foi muito próxima da produtividade, diferença de 7% a mais. Para o ano de 1991 o modelo estimou uma produtividade 44% menor que a produtividade real. No ano de 1992 ocorreu uma redução na produtividade que foi percebida pelo modelo, embora a estimada tenha sido 35% maior que a produtividade real. Para o ano de 1993 ocorreu uma quebra total da safra que não foi prevista pelo modelo, pois este estimou uma produtividade de 265 kg/ha.

O modelo conseguiu prever a tendência de aumento da produtividade para o ano de 1994, neste ano a produtividade estimada foi 17% maior que a produtividade real. Para o ano de 1995 o modelo previu uma tendência de redução da produtividade, o que não existiu, pois a produtividade foi 41% menor que a real. Para o ano de 1996 o modelo obteve o menor acerto, pois a produtividade estimada foi 141% maior que a real, 796 kg/ha e 330 kg/ha respectivamente. O modelo não

conseguiu prever a quebra total da safra de 1998, pois estimou para este ano uma produtividade de 209 kg/ha. Os anos de 2000, 2002 e 2003 obtiveram uma produtividade real atípica, com 1200 kg/ha em cada ano, contudo o modelo estimou para os anos de 2000 e 2003 produtividades típicas, 43% e 40% menores, no ano de 2002 o modelo conseguiu prever a produtividade atípica, sendo 5% maior que a real (1262 kg/ha). Para o ano de 2001 o modelo conseguiu identificar a tendência de redução na produtividade, contudo a estimada foi 57% menor que a real. No ano de 2004 a produtividade estimada foi 25% maior que a real, o que não aconteceu no ano seguinte, quando o modelo estimou uma pequena redução da produtividade que na realidade foi bem maior, a estimada ficou 111% maior que a real.

O modelo não conseguiu prever as quebras de safra de 1993 e 1998, embora tenha previsto a tendência de uma produtividade baixa. Das três produtividades reais de 1200 kg/ha o modelo somente se aproximou da produtividade real para o ano de 2002, errando para os anos de 2000 e 2003.

A equação obtida para a região estuda foi pouco precisa quando usada pra o município de Itatira como mostra o Figura 4.10, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 14 anos estudados, onde a melhor aproximação entre a produtividade estimada e a real aconteceu no ano 2002, enquanto as maiores diferenças percentuais foi nos anos de 1996 e 2005.

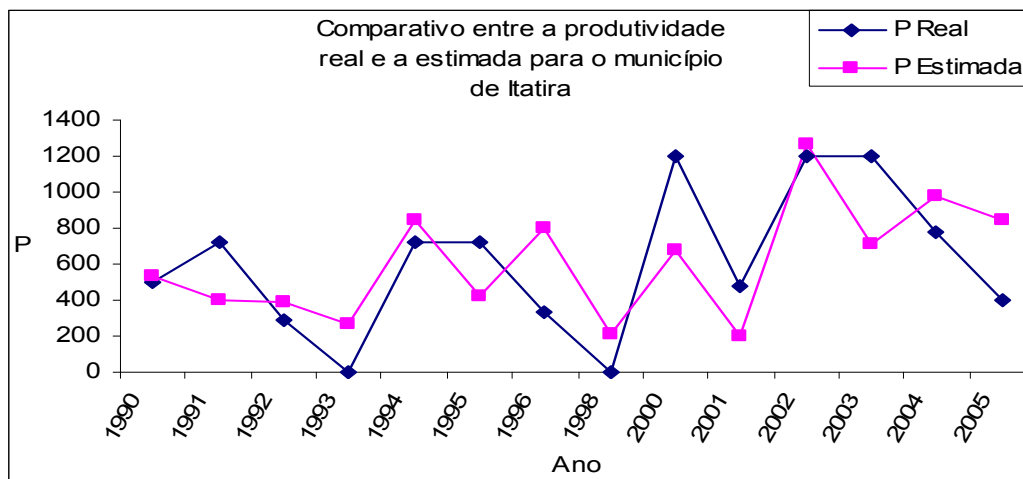


Figura 4.10 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Itatira.

4.8 ESTIMATIVA PARA O MUNICÍPIO DE CRATEÚS

No comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada para o município de Crateús, mostrado na Figura 4.11, o modelo previu as tendências de aumento ou redução da produtividade em todos os anos estudados. A diferença entre a produtividade estimada e a produtividade real para o ano de 1990 foi uma redução de 6%. Para o ano de 1991 o modelo conseguiu prever a tendência de aumento da produtividade real, onde a estimada foi 10% menor que a real. Para o ano de 1993 o modelo estimou uma produtividade 201% maior que a real, embora o modelo tenha previsto a tendência de redução da produtividade. Nos anos de 1994 e 1996 a diferença entre a produtividade estimada e a real foram 21% menores que a reais. Para o ano de 1995 a produtividade estimada foi 13% menor que a real. No ano de 1998 ocorreu uma diferença de 69% entre a produtividade estimada e a produtividade real, contudo tendência de redução da produtividade foi percebida pelo modelo.

O modelo obteve o melhor acerto para o ano de 2005, onde a produtividade estimada foi apenas 3% maior que a produtividade real. A semelhança do que aconteceu com os municípios de Boa Viagem, Monsenhor Tabosa, Tamboril e Canindé a diferença percentual entre a produtividade estimada e a real foi alta.

A equação obtida para a região estudada foi muito precisa quando usada para o município de Crateús como mostra o Figura 4.11, onde vemos que o modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade ao longo dos 9 anos estudados. Dos 9 anos estudados em 7 a produtividade estimada foi muito próxima da real, somente nos anos de 1992 e 1998 ocorreram diferenças maiores.

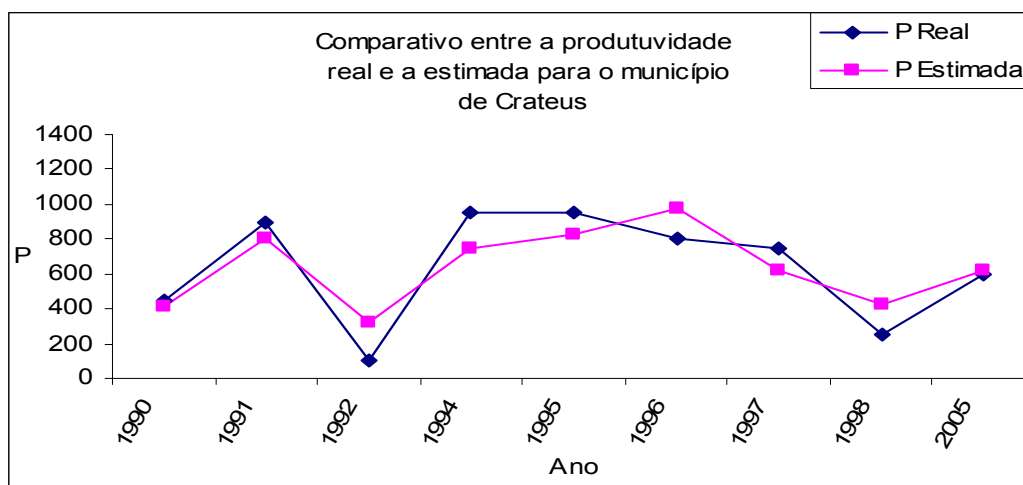


Figura 4.11 - Comparativo entre a produtividade real e a produtividade estimada em kg/ha para o município de Crateús.

5 CONCLUSÃO

A análise de componentes principais permitiu a criação de um modelo de previsão da safra da mamona independente do município e das demais variáveis que influenciam na sua produtividade. As seis variáveis inicialmente estudadas foram reduzidas para apenas duas componentes principais.

- O modelo criado para a região estudada se mostrou eficiente na estimativa da produtividade para todos os municípios.
- O modelo conseguiu acompanhar as tendências de aumento ou redução da produtividade, com boas aproximações.
- O modelo conseguiu estimar uma produtividade nula (quebra total de safra), porém com pouca qualidade, ou seja, consegue representar apenas a tendência de queda da safra.
- Para uma estimativa de produtividade nula as componentes principais teriam que ser nulas, para isso teriam que ter todos os preditores nulos, o que significaria uma estação chuvosa com zero de precipitações.
- O modelo poderá futuramente ser acoplado a um modelo de clima para estimar a safra de mamona, baseado na chuva prevista.

O modelo pode ser estendido a municípios que não fizeram parte região estudada neste trabalho, sendo esse o objeto de estudos futuros, assim como a utilização da previsão de modeladores numéricos de tempo para prever a safra em uma estação chuvosa futura, baseando-se na provável área plantada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B. e KAYANO, M. T. **Estudo preliminar da precipitação no sul do Ceará durante a pré-estação chuvosa.** *Climanálise*, v.6, p.41-50, 1991.

ALVES, J. M. B. **Um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Nordeste do Brasil e Atlântico adjacente no verão de 1999.** *Rev. Bras. Meteor.*, v.16, n.1, p.115-122, 2001.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; ASSIS, F. de S. F.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN J.; STUDART, T. M. C; **Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação Intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro/2004,** 2006.

ALVES, M. B.; REPELLI, C. A. **Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do ceará e a Probabilidade de ocorrência de veranicos.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, p. pi-pf, 1996.

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M; *Clima e Solo.* In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds. Tec.) **O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia,** 2001. p.63-76.

BELTÃO, N, E. de M; SEVERINO, L. S; CARDOSO G. D; GONDIM, T. M. de S; PEREIRA, J. R. **Estimativa da produtividade da cultura da mamona em função dos Componentes da produção,** 2004.

BELTÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SILVA, O. R. F.; Soares, J. J. **O Cultivo Sustentável da Mamona no Semi-árido Brasileiro.** *Circular técnica 84. Campina Grande, PB. Maio, 2005*

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C. **Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (Ricinus communis L.) e a importância do seu cultivo no Brasil.** *Fibras e Óleos*, Campina Grande, n. 31, p. 7, 1999.

BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; GONDIM, T. M. de S.; PEREIRA, J. R.; **Estimativa da produtividade da cultura da mamona em função dos Componentes da produção;** I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande, PB.2004

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C; MELO, F. de B. **Cultivo da mamona (Ricinus communis L.) com feijão caupi [Vigna unguiculata (L.)] para o semi-Árido nordestino, em especial do Piauí.** Campina Grande: EMBRAPA Algodão/EMBRAPA-CPAMN, 2002. 44 p. (EMBRAPA Algodão. Documentos, 97).

BELTRÃO, N. E. de M.; **Informações gerais sobre a cadeia da mamona no Nordeste e o estabelecimento de uma proposta de um projeto de desenvolvimento integrado com ênfase a produção de Biodiesel.** EMBRAPA ALGODÃO, Campina Grande, PB 2003.

BEN MECHLIA, N. & CARROL, J. J. **Agroclimatic modeling for simulation of phenology, yield and quality of crop production.** I. Citrus response formulation. International Journal of Biometeorology, Heidelberg, 33:33-36, 1989.

BEZERRA, E. L. **Evapotranspiração na cultura da mamoneira:** 2004, Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso.

CAMARGO, A. P. **Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja valência.** Bragantia, 1999, vol.58, no.1, p.157-170

CAMARGO, M. B. P. **Exigências bioclimáticas e estimativa de produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1984. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 1984.

CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A. ; ALFONSI, R. R. & PINTO, H. S. **Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro.** Ecossistema, Espírito Santo do Pinhal, 9:166-171, 1984.

CITEAU, J; BERGÉS, J. C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G., 1988a. **Position de la Zone de Convergence a 28 N et température de surface de l'ocean.** Veille Climatique Satellitaire, sv(21):3-7.

CARVALHO, L.G.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R.; RAMOS ALVES, H.M. **Avaliação de um modelo agrometeorológico para previsão de produtividade de café em três localidades da região sul do Estado de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.11, n.2, p.343-352, 2003.

CITEAU, J; BERGÉS, J. C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G., 1988b. **The watch of ITCZ migrations over tropical Atlantic as an indicator in drought forecast over Sahelian area.** Ocean-Atmosphere Newsletter, sv(45):1-3.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Rome: FAO, 1977. 204 p.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária:** <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/cultivares.html>> Acesso em: 03 jun. 2006.

FREIRE, R.M.M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.tec.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Embrapa Algodão (Campina Grande, PB). Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2001. p. 295-335.

FUNCEME - **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**, <<http://www.funceme.br/DEPAM/index.htm>> Acesso em: 20 jun. 2006.

HASTENRATH, S; HELLER, L., 1977. **Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil**. *Quartely Journal of the Royal Meteorological Society*, 103(435):77-92.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/cultivares.htm>>. Acesso em: 24 dez. 2006.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Variações climáticas e flutuações de oferta agrícola no Centro-Sul do Brasil**. Brasília, IPEA, 1972. 419 p. (Relatório de Pesquisa: Estudos para o Planejamento, 1)

KOUSKY, V. E. **Frontal influences on northeast Brazil**. *Mon. Wea. Rev.*, v.107, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. **Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic**. *Tellus*, v.33, p.538- 551. 1981.

LIU, W. T. H. & LIU, B. W. Y. **Comparação de três modelos de previsão da safra de café no Estado de Minas Gerais**. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 40(8):801-807, 1988.

MAZZANI, B. **Euforbiaceas oleaginosas**. Tártago. In: MAZZANI , B. *Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas*. Caracas, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuárias, 1983. p. 277-360.

MELLO, N. G. S. **Uso do índice de distribuição de chuva e da umidade do solo calculada pelo modelo hidrológico musag para a estimativa da produtividade de culturas de sequeiro no ceará**: 2005. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil/Área de Concentração em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará

METRIXUS - **Desenvolvido pela Élin Duxus**.. Versão: 1.0.5.01, DEMO. Disponível em: <<http://www.duxus.com.br/produtos/tecnologia/addin/metrixus/index.php>> Acesso em: 06 jun. 2007.

MINGOTI, Sueli Aparecida.; **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: Uma abordagem aplicada.BH. Editora UFMG, 2005. cap. 3, p.59-95.

MINISTERIO DA AGRICULTURA/EMBRAPA ALGODÃO (CPA) **Recomendações Técnicas para o cultivo da Mamoneira no Nordeste do Brasil Circular Técnica n.º 25** Outubro/97. Campina Grande - Pb. FONTE: Embrapa algodão C.T.25 / Folheto Embrapa EBDA BRS 149.

MOSHKIN, V.A. **Ecology**. In: MOSHKIN, V.A. (ed.). *Castor*. NewDelhi: Amerind, 1986 b. p. 54-64.

MOSHKIN, V.A. **Flowering and pollination**. In: MOSHKIN, V.A. (ed.). *Castor*. NewDelhi: Amerind, 1986 c. p. 43-49.

MOSHKIN, V.A. **Growth and development of the plant.** In: MOSHKIN, V.A. (ed.). Castor. New Delhi: Amerind, 1986 a. p. 36-42.

MOSHKIN, V.A.; PERESTOVA, T.A. **Morphology and anatomy.** In: MOSHKIN, V.A. (ed.). Castor. New Delhi: Amerind, 1986. p. 28-33.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecções sobre a Amazônia.** Tec. Rep. INPE- 4008-TDL/239, 115 pp., São José dos Campos - SP, 1989.

PARENTE, E. J. de S; **BIODIESEL: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado:** Fortaleza, Ceará: Tecbio. 2003. 66p.

PENIDO FILHO, p.; VILLANO, F. **O emprego do éster da mamona nos motores dos veículos Fiat.** In: WEISS, E. A. Castor. In: WEISS, E. A. Oilseed crops. London: Longman 1984. P. 31-99.

PICINI, *et al.* **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro.** Bragantia, 1999, vol.58, no.1, p.157-170.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

SANTOS, R.F. dos; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F.M.; FIRMINO, P. de T.; REQUIÃO, L.E.G. **Análise econômica.** In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (Eds. Tec.). O agronegócio damamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.2001. p. 17-35.

SANTOS, M. A. CAMARGO, M. B. P.; **Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de são paulo.** Bragantia, Campinas, v.65, n.1, p.173-183, 2006

SEARA (Fortaleza, CE). **Projeto recuperação da cotonicultura estadual.** Fortaleza: 1989. p. 32- 39.

SILVA, G. L. S. P. ;VICENTE, J. R. & CASER, D. V. **Avaliação de previsões de rendimento de culturas no Estado de São Paulo, fornecidas por modelos agrometeorológicos, anos agrícolas 1984/85 e 1985/86.** Informações Econômicas, São Paulo, 17(6):61-45, 1987.

SEDIYAMA, G. C. **Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n.1, p. i-xii, 1996.

SILVA, G. L. S. P. ;VICENTE, J. R. & CASER, D. V. **Variações do tempo e produtividade agrícola: um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo.** Campinas, Fundação Cargill, 1986. 148 p.

SOUZA, E.B., ALVES, J.M.B., REPELLI, C.A. **Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Estação Chuvosa do Semi-Árido Nordestino.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, v.6, n.2, p. 277-283, 1998.

SILVA, H. LAINS e. **Contribuição para o estudo das causas de variação anual de produção de café.** Revista do Café Português, Lisboa, 3(10):13-28, 1956.

UVO, C.B. **Dissertação de Mestrado: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro,** 1989.

WEILL, M. A. M. **Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (Coffea arabica L.) na região de Marília e Garça, SP.** Piracicaba, 1990. 182 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 1990.

WEISS, E.A. **Oilseed crops.** London: Longman, 1983. 660p.

XAVIER, T.M.B., XAVIER, A.F.S. **Caracterização de Períodos Secos ou Excessivamente Chuvoso no Estado do Ceará Através da Técnica dos Quantis: 1964-1998.** Ver. Bras. De Meteorologia, SBMET, v.14, n.2, p.63-78, 1999.

ANEXO A

MUNICÍPIOS PRODUTORES DE MAMONA NO ESTADO DO CEARÁ SEPARADOS POR REGIÕES PLUVIOMETRICAMENTE HOMOGÊNEAS.

Litoral Norte – Acaraú, Alcântara, Amontada, Barroquinha, Camocim, Chaval, Granja, Marco, Martinópolis, Massapé, Meruóca, Miraíma, Moraújo, Morrinhos, Senador Sá, Sobral, Uruóca;

Litoral do Pecém – Irauçuba, Itapajé, Itapipoca, Tejuçuoca, São Luis do Curú, Trairi, Tururu, Umirim, Uruburetama;

Litoral de Fortaleza –Chorozinho, Eusébio;

Maciço de Baturité –Aratuba, Barreira, Baturité, Capistrano, Itapiúna, Mulungu, Ocara;

Região da Ibiapaba – Ararendá, Carnaubal, Coreaú, Croata, Frecheirinha, Graça, Groaíras, Guaraciaba do Norte, Hidrolândia, Ibiapina, Ipaporanga, Ipu, Ipueiras, Mucambo, Nova Russas, Pires Ferreira, Poranga, Reriutaba, São Benedito, Tianguá, Ubajara, Varjota, Viçosa do Ceará;

Região Jaguaribana - Ererê, Icó, Limoeiro do Norte, Pereiro,

Cariri –Altaneira, Barbalha, Barro, Brejo Santo, Caririaçu, Cedro, Crato, Farias Brito, Granjeiro, Jardim, Jati, Juazeiro do Norte, Lavras da Mangabeira, Mauriti, Milagres, Missão Velha, Nova Olinda, Penaforte, Porteiras, Santana do Cariri, Várzea Alegre;

Sertão Central e Inhamuns – Acopiara, Aiuaba, Antonina do Norte, Araripe, Arneiróz, Assaré, Boa Viagem, Canindé, Catarina, Catunda, Crateús, Independência, Itatira, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Novo Oriente, Parambu, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Potengi, Quiterianópolis, Quixadá, Quixeramobim, Salitre, Santa Quitéria, Senador Pompeu, Tamboril, Tarrafas, Tauá.

ANEXO B

LATITUDE E LONGITUDE DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS ESTUDADOS NESTE TRABALHO.

Localização dos postos pluviométricos estudados			
MUNICÍPIO	POSTO	LATITUDE	LONGITUDE
BOA VIAGEM	Boa Viagem	5°08' Sul	39°43' Oeste
MONSENHOR TABOSA	Monsenhor Tabosa	4°48' Sul	40°04' Oeste
TAMBORIL	Tamboril	4°50' Sul	40°20' Oeste
CANINDÉ	Canindé	4°21' Sul	39°18' Oeste
CATUNDA	Catunda	4°40' Sul	40°12' Oeste
CRATEÚS	Crateús	5°12' Sul	40°40' Oeste
ITATIRA	Itatira	4°32' Sul	39°37' Oeste

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)