



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DOS MANEJOS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA CONVENCIONAL E ORGÂNICA PARA ÁREAS IRRIGADAS NO
ENTORNO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SIMÕES

CAMPINA GRANDE - PB

MAIO DE 2013

JOÃO PAULO DE OLIVEIRA SIMÕES

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DOS MANEJOS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA CONVENCIONAL E ORGÂNICA PARA ÁREAS IRRIGADAS NO
ENTORNO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

ÁREA: ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES: Ph.D. WILSON FADLO CURTI

Dr. VALTERLIN DA SILVA SANTOS

CAMPINA GRANDE - PB

MAIO DE 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S593a Simões, João Paulo de Oliveira.

Análise comparativa de potencial dos manejos de produção agrícola convencional e orgânica para áreas irrigadas no entorno do reservatório Eptácio Pessoa / João Paulo de Oliveira Simões. – Campina Grande, 2013.
128 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.

"Orientação: Prof. PhD. Wilson Fadlo Curi, Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos".

Referências.


1. Planejamento Agrícola. 2. Otimização. 3. Agricultura Sustentável.
I. Curi, Wilson Fadlo. II. Santos, Vatterlin da Silva. III. Título.

CDU 628.16:631.67(043)

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DOS MANEJOS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA CONVENCIONAL E ORGÂNICA PARA ÁREAS IRRIGADAS NO
ENTORNO DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA**

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 27 / 05 / 2013

COMISSÃO EXAMINADORA



Ph.D. Wilson Fadlo Curi

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

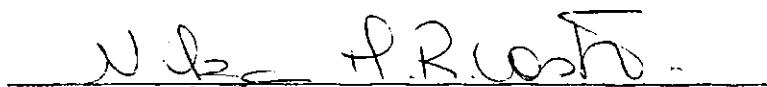
Orientador



Dr. Valterlin da Silva Santos

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Orientador



Dra. Nilza Maria dos Reis Castro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Examinador Externo



Dra. Zédna Mara de Castro Lucena Vieira

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Examinador Interno

CAMPINA GRANDE - PB

MAIO DE 2013

DEDICATÓRIA

Para a glória de DEUS,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que me revestiu de força e aperfeiçoou o meu caminho, toda a honra, toda a glória e o louvor, eternamente.

Ao professor Ph.D. Wilson Fadlo Curi, pela sábia orientação, paciência e disposição em colaborar durante toda a realização desta pesquisa.

Ao professor Dr. Valterlin da Silva Santos, pela disponibilidade em ajudar em vários momentos e pelo suporte técnico do modelo de otimização.

Aos componentes da banca examinadora, Dra. Nilza Maria dos Reis Castro e Dra. Zédna Mara de Castro Lucena Vieira, pela contribuição no trabalho.

Aos meus pais, Vicente Paulo Simões e Maria Clarice de Oliveira, pelo incentivo, pela confiança depositada e pela compreensão em todos os momentos desta jornada.

A Silvânia Lucas dos Santos, pelo companheirismo e por todos os momentos compartilhados ao longo desta caminhada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro durante a vigência do curso.

Enfim, o meu muito obrigado a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta pesquisa.

SIMÕES, J. P. O. **Análise comparativa do potencial dos manejos de produção agrícola convencional e orgânica para áreas irrigadas no entorno do reservatório Epitácio Pessoa.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013. 128p.

Durante muito tempo a atividade agrícola esteve relacionada à devastação dos recursos naturais. Com o advento da modernização da agricultura operada no século XX, por causa dos métodos adotados na chamada Revolução Verde, houve uma intensificação da destruição da natureza devido aos processos agrícolas. Estes processos inegavelmente maximizaram a produção agrícola, todavia representaram um agravamento dos problemas ambientais, bem como os socioeconômicos, especialmente nos países em desenvolvimento. Este modelo usa intensivamente o solo e a água facilitando a aceleração da sua degradação, sobretudo dos níveis de fertilidade do solo, ocasionando um desequilíbrio dos ecossistemas naturais e inviabilizando, em muitos casos, a produção ao longo do tempo. Como uma alternativa ao modelo predatório imposto pela agricultura convencional, ergue-se o paradigma da sustentabilidade agrícola, que propõe um desenvolvimento fundamentado na preservação dos recursos naturais e assegurar também às gerações futuras a utilização desses recursos. Desta forma, a agricultura sustentável pode significar ainda um caminho para garantir a segurança alimentar de uma parcela considerável da sociedade, hoje e no futuro. Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo o planejamento agrícola de culturas perenes, visando maximizar o potencial produtivo, a rentabilidade e a utilização dos recursos hídricos do reservatório em anos com ocorrência de períodos de secas, além da realização de análises comparativas de cenários relacionados aos manejos agrícolas de produção convencional e orgânica, no contexto da agricultura familiar praticada no entorno do açude público Epitácio Pessoa, Boqueirão, Estado da Paraíba, para um período de estudo de 10 anos. Foram comparados os benefícios econômicos (maximização das receitas líquidas auferidas com as culturas), sociais (maximização da mão de obra empregada) e ambientais (minimização dos impactos causados pelo uso de agroquímicos), além da verificação do atendimento de demandas de abastecimento urbano. Os dados e informações adicionadas ao modelo de otimização, baseado em programação linear, abrangeram fatores hidroclimáticos, dados do reservatório, dados dos perímetros irrigados e dos sistemas de irrigação utilizados, características das culturas agrícolas, além de aspectos econômicos e socioambientais. Os resultados demonstraram, por ocasião do planejamento agrícola realizado, que o número reduzido de culturas perenes alocadas nas áreas irrigadas foi influenciado pelos déficits hídricos do período pluviométrico estudado. Mostrou-se também, com a análise comparativa dos cenários, a viabilidade da prática do manejo orgânico de produção como forma de garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola, proporcionando aos produtores um aumento significativo em suas receitas líquidas, além da preservação e conservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: planejamento agrícola, otimização, agricultura sustentável.

SIMÕES, J. P. O. **A comparative analysis of conventional and organic management of agricultural production in irrigated areas near the Epitácio Pessoa dam.** MsC Dissertation. Federal University of Campina Grande. Campina Grande, 2013. 128p.

For many years agricultural activity has been responsible for the destruction of natural resources. With the improvement of the twentieth century agriculture, and because of the methods used by the Green Revolution, nature has been severely damaged due to the agricultural processes. These processes undoubtedly boosted agricultural production, but represented an increase in environmental difficulties, bringing socioeconomical problems as well, especially in developing countries. This model makes intense use of the soil and water, which accelerates their destruction, especially the levels of soil fertility, bringing about a lack of balance in the natural ecosystems, and thus jeopardizing production in the course of time. As an alternative to the predatory model imposed by conventional agriculture, there comes the paradigm of agricultural sustainability, which proposes development based on the preservation of natural resources and guarantees the use of such resources by future generations. This way, sustainable agriculture can provide safe food for a lot of people, today and in the future. In this context, this work has the objective to foster agricultural planning for long-lasting cultures, with a view to maximizing productive potential, profitability and the use of water resources from the dams for those years when the dry seasons occur. Another objective is to make comparative analyses of places in the country where conventional and organic agriculture takes place, more precisely in areas where family tilling is done close to the public dam called Epitácio Pessoa, in Boqueirão, State of Paraíba, for a period of ten years. We compared the economical benefits (maximization of the profits obtained from the cultures), social benefits (maximization of labour force) and environmental benefits (by reducing the impact caused the use of chemicals), as well as the analysis of how urban demands are met. The data and information added to the optimizing model, based on linear programming, covered hydroclimatic factors, data taken from the dams, data collected from the irrigated perimeters and the irrigation systems used, the characteristics of the crops, as well as economical and socioenvironmental aspects. The results showed that, when agricultural planning was used, the reduced quantity of long-lasting crops allotted in irrigated areas were influenced by hydric deficits of the rainy period observed. With the comparative analysis of the areas, we also noticed the benefit of resorting to organic agriculture as a way to guarantee food safety and sustainability of agricultural production, making it possible for tillers to have a major increase in their profits, as well as the possibility for preservation of natural resources.

Keywords: agricultural planning, optimization, sustainable agriculture.

Capítulo III Revisão de Literatura

- Figura 3.1** Combinação de culturas temporárias e fruteiras com plantas da mata nativa, no Sítio Utopia, município de Alagoa Nova - PB (junho, 2012)..... 35
- Figura 3.2** Países com maiores áreas agrícolas orgânicas e sua evolução..... 36

Capítulo IV Modelo Utilizado no Estudo

- Figura 4.1** Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo..... 52
- Figura 4.2** Fluxograma geral do modelo de otimização..... 59

Capítulo V Caso de Estudo

- Figura 5.1** Mapa de localização do açude público Epitácio Pessoa (Boqueirão)..... 66
- Figura 5.2** Espelho d'água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) em setembro de 2004..... 67
- Figura 5.3** Áreas irrigadas com as culturas do pimentão e tomate ao fundo, no município de Boqueirão - PB (abril, 2012)..... 68
- Figura 5.4** Distribuição das chuvas médias mensais para a região da bacia hidrográfica do reservatório de Boqueirão..... 69
- Figura 5.5** Levantamento de pontos de bombeamento para irrigação no açude público Epitácio Pessoa (Boqueirão)..... 71

Capítulo VI Resultados e Discussões

- Figura 6.1** Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra, (d) consumo hídrico, (e) defensivos e (f) fertilizantes, das culturas perenes cultivadas no Cenário 1..... 89
- Figura 6.2** Alocação da área plantada para as culturas irrigadas do Cenário 1..... 90

Figura 6.3	Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 1.....	90
Figura 6.4	Vazões liberadas e demandas para o atendimento da adutora de abastecimento urbano no Cenário 1.....	91
Figura 6.5	Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 1.....	92
Figura 6.6	Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra, (d) consumo hídrico, (e) defensivos e (f) fertilizantes das culturas cultivadas no Cenário 2.....	96
Figura 6.7	Alocação da área plantada para as culturas irrigadas no Cenário 2.....	97
Figura 6.8	Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 2.....	97
Figura 6.9	Vazões liberadas e demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano do Cenário 2.....	99
Figura 6.10	Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 2.....	99
Figura 6.11	Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra e (d) volume de irrigação das culturas orgânicas cultivadas na área irrigada do Cenário 3.....	103
Figura 6.12	Alocação da área plantada para as culturas irrigadas no Cenário 3.....	104
Figura 6.13	Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 3.....	104
Figura 6.14	Vazões liberadas e demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano do Cenário 3.....	105
Figura 6.15	Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 3.....	106

Capítulo III Revisão de Literatura

Tabela 3.1	Classificação dos agrotóxicos de acordo com os efeitos à saúde humana.....	27
Tabela 3.2	Consumo de agrotóxicos e adubos químicos nas lavouras do Brasil, de 2002 a 2011.....	28
Tabela 3.3	Características da agricultura orgânica e da agricultura convencional.....	31

Capítulo V Caso de Estudo

Tabela 5.1	Fator de resposta (ky), déficit hídrico tolerável e o rendimento das culturas perenes para o período seco no Cenário 1.....	74
Tabela 5.2	Dados de precipitação mensal para análise do Cenário 1.....	76
Tabela 5.3	Dados de precipitação mensal para análise dos Cenários 2 e 3.....	76
Tabela 5.4	Evaporação média mensal no reservatório Epitácio Pessoa (mm).....	77
Tabela 5.5	Dados de vazões afluentes para análise do Cenário 1.....	77
Tabela 5.6	Dados de vazões afluentes para análise dos Cenários 2 e 3.....	78
Tabela 5.7	Tabela de coeficientes mensais de cultivo (kc) adaptado para o modelo.....	79
Tabela 5.8	Coefficientes mensais de cultivo (kc) das culturas perenes com base no déficit hídrico tolerável.....	80
Tabela 5.9	Áreas máximas estipuladas para as culturas em (ha).....	80
Tabela 5.10	Dados do sistema de irrigação e suas eficiências de aplicação.....	81
Tabela 5.11	Média de mão de obra empregada por hectare (homens/dia).....	82
Tabela 5.12	Quantidades de defensivos e adubação química utilizados no manejo convencional.....	82
Tabela 5.13	Preço médio de venda dos produtos convencionais e orgânicos (R\$/kg).....	83
Tabela 5.14	Produtividade das culturas convencionais em kg/ha.....	84
Tabela 5.15	Produtividade das culturas orgânicas em kg/ha (com decréscimo de 25%).....	84

Tabela 5.16	Custos de produção das culturas convencionais em R\$/ha.....	85
Tabela 5.17	Custos de produção das culturas orgânicas em R\$/ha.....	85

Capítulo VI Resultados e Discussões

Tabela 6.1	Resultados da agricultura irrigada para o manejo convencional das culturas perenes no Cenário 1.....	88
Tabela 6.2	Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 1.....	91
Tabela 6.3	Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 1.....	92
Tabela 6.4	Resultados da agricultura irrigada para o manejo convencional no Cenário 2..	94
Tabela 6.5	Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 2.....	98
Tabela 6.6	Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 2.....	100
Tabela 6.7	Resultados da agricultura irrigada para as culturas orgânicas no Cenário 3.....	101
Tabela 6.8	Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 3.....	105
Tabela 6.9	Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 3.....	106
Tabela 6.10	Resumo dos totais gerados na agricultura irrigada para cada cenário estudado.....	107

LISTA DE SIGLAS

AAGISA	Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba
ABRASCO	Associação Brasileira de Saúde Coletiva
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AIAB	Associação dos Irrigantes do Açude de Boqueirão
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
BNB	Banco do Nordeste do Brasil S/A
BRASILBIO	Associação Brasileira de Orgânicos
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CISDERGO	<i>Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUI	Capacidade de Uso das Instalações
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DSIRR	<i>Decision Support Tool for Irrigation</i>
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMPASA	Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas
ETA	Estação de Tratamento de Água
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FMA	Fornecimento Médio de Água
FRA	Fornecimento Relativo de Água
FRI	Fornecimento Relativo de Irrigação
IAP	Índice de Ativação da Potencialidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOAM	Federação Internacional do Movimento de Agricultura Orgânica
IUD	Índice de Utilização da Disponibilidade
IUP	Índice de Utilização da Potencialidade
LMRS	Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
MO	Mão de Obra
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ONUBR	Organização das Nações Unidas no Brasil
ORNAP	<i>Optimal Reservoir Network Analysis Program</i>
PD	Programação Dinâmica
PL	Programação Linear
PLI	Programação Linear Inteira
PNL	Programação Não Linear
RGC	Razão Global de Consumo
RL	Receita Líquida
SAC	Sistema de Abastecimento do Cariri
SACG	Sistema de Abastecimento de Campina Grande
SEMARH	Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais
SINDAG	Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas

LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{c_{jk}}$	Área plantada por cultura e perímetro
$A_{cmax_{jk}}$	Área máxima plantada de cada cultura por perímetro
$A_{cmin_{jk}}$	Área mínima plantada de cada cultura por perímetro
A_f	Área da seção do descarregador de fundo do reservatório
$A_{pmax_{kt}}$	Limite máximo de área total que pode ser plantada por perímetro
$AR_r(t)$	Área do espelho d'água do reservatório r no final do mês t
$AR_r(t-1)$	Área do espelho d'água do reservatório r no início do mês t
C_a	Custo de água anual
C_b	Custo anual de bombeamento de água
CE_a	Condutividade elétrica da água de irrigação
CE	Condutividade elétrica do extrato de solo saturado
C_f	Coefficiente de vazão do descarregador de fundo do reservatório
C_p	Custo de produção anual da cultura
C_{prod}	Custo médio de produção anual da cultura
D_{tr}	Demanda requerida na tomada d'água
E_{ap}	Eficiência da aplicação da irrigação
E_{irr}	Eficiência do sistema de irrigação
$erro_{fo}$	Erro relativo na função objetivo
E_{sis}	Eficiência do sistema de distribuição de água
ET_0	Taxa de evapotranspiração de referência
ETP	Taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura
E_v	Taxa de evaporação média mensal
$f(r)$	Índice que representa a f-ézima tomada d'água de fundo do reservatório
F_o	Função objetivo
G	Dotação de água à zona radicular da cultura por capilaridade
g	Aceleração da gravidade
$H_{dc_{jk}}$	Trabalho requerido médio por cultura em cada ano
H_f	Cota de jusante da geratriz inferior do descarregador de fundo do reservatório
H_R	Cota do nível d'água do reservatório
H_{tr}	Cota da tomada d'água no reservatório
H_{vert}	Cota da soleira do vertedor do reservatório
j	Índice do tipo de cultura

k	Índice do perímetro irrigado
kc	Coeficiente de cultivo por cultura
kt	Coeficiente do tanque evaporimétrico
LR	Necessidade de lixiviação dos sais que acumulam no solo cultivado
na	Número de anos em estudo
nc	Número de culturas em estudo
ni	Número de perímetros irrigados em estudo
NI	Necessidade de irrigação líquida da cultura
Ns	Número de sucessos
P _{kt}	Taxa de precipitação no mês t na unidade de produção
Pe	Taxa de precipitação efetiva no mês
Pra	Preço da água por unidade de volume
Prc	Preço médio unitário da cultura
Prod	Produtividade anual da cultura
Qa	Vazão afluyente ao reservatório
Qf	Vazão de descarga de fundo no reservatório
Qirr	Lâmina mensal de água para irrigação
Qtr	Vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água do reservatório
Qv	Vazão extravasada do vertedor
Rb	Receita bruta anual
t	Indica o mês em estudo
tol	Tolerância requerida para a convergência
VRmorto	Volume morto do reservatório
VRmeta	Volume meta do reservatório
W	Reserva de água no solo
η_e	Estabelece a eficiência quanto ao uso da água
η_E	Relação entre a evaporação total da superfície do reservatório e o volume total afluyente
η_p	Indica o percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório
η_v	Indica quanto o reservatório desperdiça da água afluyente por vertimento
η_{Vr}	Expressa a variabilidade volumétrica do reservatório

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO	19
-------------------------	----

CAPÍTULO II

OBJETIVOS	22
------------------------	----

2.1 Objetivo Geral.....	22
-------------------------	----

2.2 Objetivos Específicos.....	22
--------------------------------	----

2.3 Estrutura da Dissertação.....	23
-----------------------------------	----

CAPÍTULO III

REVISÃO DE LITERATURA	24
------------------------------------	----

3.1 Modelo Agrícola Convencional.....	24
---------------------------------------	----

3.2 O Uso dos Agrotóxicos e Seus Impactos.....	26
--	----

3.3 O Consumo de Agrotóxicos no Brasil.....	27
---	----

3.4 Agricultura Orgânica.....	29
-------------------------------	----

3.5 Organização da Propriedade Orgânica.....	32
--	----

3.5.1 Áreas de Pousio.....	33
----------------------------	----

3.5.2 Áreas de Refúgio.....	33
-----------------------------	----

3.5.3 Cordões de Contorno.....	33
--------------------------------	----

3.5.4 Consórcio de Culturas.....	33
----------------------------------	----

3.5.5 Rotação de Culturas.....	34
--------------------------------	----

3.5.6 Sistemas Agroflorestais.....	34
------------------------------------	----

3.6 Produção e Mercado dos Produtos Orgânicos.....	36
--	----

3.7 Modelos de Otimização.....	37
--------------------------------	----

3.8 Programação Linear.....	39
-----------------------------	----

3.9 Análise Multiobjetivo.....	41
--------------------------------	----

CAPÍTULO IV

MODELO UTILIZADO NO ESTUDO.....	43
4.1 Modelo de Otimização.....	43
4.2 Funções Objetivo.....	44
4.2.1 Demandas nas Tomadas D'água.....	44
4.2.2 Receita Líquida da Agricultura Irrigada.....	44
4.2.3 Mão de Obra na Agricultura Irrigada.....	49
4.2.4 Adubação na Agricultura Irrigada.....	50
4.2.5 Defensivos na Agricultura Irrigada.....	50
4.2.6 Volume Meta do Reservatório.....	51
4.2.7 Função Multiobjetivo.....	51
4.3 Equações de Restrições.....	52
4.3.1 Operação dos Reservatórios.....	52
4.3.2 Critérios Operacionais e Agronômicos.....	55
4.3.3 Análise da Implementação do Modelo.....	57
4.4 Indicadores de Sustentabilidade e Eficiência.....	60
4.4.1 Indicadores de Sustentabilidade.....	61
4.4.2 Indicadores de Eficiência dos Reservatórios.....	62
4.4.3 Indicadores de Desempenho das Áreas Irrigadas.....	63

CAPÍTULO V

CASO DE ESTUDO.....	66
5.1 Caracterização da Área de Estudo.....	66
5.1.1 Características Gerais.....	66
5.1.2 Conflitos Pelo Uso das Águas do Açude Epitácio Pessoa.....	69
5.2 Definição dos Cenários.....	73
5.2.1 Cenário 1 (C1).....	73
5.2.2 Cenário 2 (C2).....	74

5.2.3 Cenário 3 (C3).....	75
5.3 Dados Utilizados no Sistema Estudado.....	75
5.3.1 Precipitação.....	76
5.3.2 Evaporação.....	77
5.3.3 Vazões Afluentes.....	77
5.3.4 Relações Cota x Área x Volume do Reservatório.....	78
5.3.5 Dados da Agricultura Irrigada.....	78
5.3.5.1 Plano de Cultivo.....	79
5.3.5.2 Coeficiente de Cultivo (kc).....	79
5.3.5.3 Áreas das Culturas.....	80
5.3.5.4 Dados do Sistema de Irrigação.....	81
5.3.5.5 Mão de Obra.....	81
5.3.5.6 Fertilizantes e Defensivos Químicos.....	82
5.3.5.7 Preço de Venda dos Produtos.....	83
5.3.5.8 Produtividade.....	84
5.3.5.9 Custos de Produção.....	85
5.4 Critérios Operacionais.....	86
CAPÍTULO VI	
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
6.1 Cenário 1.....	87
6.2 Cenário 2.....	93
6.3 Cenário 3.....	100
6.4 Resumo dos Cenários Estudados.....	106
CAPÍTULO VII	
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	108
7.1 Conclusões.....	108
7.2 Recomendações.....	110

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
ANEXOS.....	122
ANEXO A.....	123
ANEXO B.....	124
ANEXO C.....	125
ANEXO D.....	126
ANEXO E.....	127

CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

Apesar dos inúmeros projetos de desenvolvimento internacionais e patrocinados pelo Estado, a miséria, a escassez de alimentos, a desnutrição, o declínio nas condições de saúde e a degradação ambiental continuam sendo problemas no mundo em desenvolvimento. Em muitas regiões, a modernização da agricultura, com a utilização de tecnologias intensivas em insumos, aconteceu sem a distribuição da terra. Os benefícios dessas medidas - geralmente chamadas de Revolução Verde - foram extremamente desiguais em termos de sua distribuição, com os maiores e mais ricos agricultores, que controlam o capital e as terras férteis, sendo privilegiados, em detrimento dos agricultores mais pobres e com menos recursos (REDCLIFT e GOODMAN, 1991; ALTIERI, 2008).

Conceito usado exaustivamente no período da Revolução Verde, a agricultura convencional é um modo de produção agrícola onde prevalece à busca da maior produtividade através da utilização intensa de insumos externos, o que em curto prazo trás resultados econômicos visíveis como o aumento da produtividade e a eficiência agrícola. No primeiro momento também o aumento da produtividade contribui para a diminuição da migração rural e melhoria da distribuição de renda (SOUZA, 2005), porém em longo prazo traz danos ambientais que não são contabilizados pelos adeptos da agricultura convencional, como também são inseridos aparatos tecnológicos que substituem progressivamente a mão de obra empregada.

Na região semiárida do nordeste brasileiro, a prática da agricultura convencional (com o crescente uso de técnicas de irrigação) em áreas marginais a açudes tem sido uma constante. Este tipo de agricultura tem se baseado cada vez mais na utilização de agrotóxicos e adubos químicos, com evidentes riscos a saúde humana e ao meio ambiente (ARRUDA, 2008).

Os agrotóxicos são agentes constituídos por uma grande variedade de compostos químicos (principalmente) ou biológicos sendo desenvolvidos para exterminar, combater e repelir a vida. Normalmente tem ação sobre a constituição física e a saúde do ser humano, além de contaminar ambientes e populações a estes relacionados (PERES *et al.*, 2005).

As práticas produtivas utilizadas pelos agricultores às margens do açude Eptácio Pessoa não seguem as recomendações prescritas pela legislação vigente, no que se refere à aquisição, uso de agrotóxicos e o descarte final das embalagens vazias, além das práticas descontroladas de irrigação. No município de Boqueirão é crescente o número de famílias que buscam o sustento através do cultivo agrícola. Para tanto, se beneficiam com a qualidade do

solo fértil e com o uso da água do açude Epitácio Pessoa, que abastece grandes centros urbanos, sendo considerado o 2º maior manancial do estado da Paraíba (ARRUDA, 2008).

Como uma alternativa à produção agrícola em larga escala impulsionada pela agricultura convencional, ocorre à difusão da proposta de uma agricultura ecológica, que tem como premissas a utilização de métodos e técnicas (policultura e rotatividade no cultivo) que respeitam os limites da natureza, pouca ou nenhuma dependência de agroquímicos (substituído por adubo e repelente natural) e troca de saberes científicos com saberes locais desenvolvidos pelos agricultores (CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

A produção orgânica realizada por agricultores familiares tornou-se uma saída para a crescente descapitalização do setor, quando gera empregos, baixa custos de produção e melhora a qualidade de vida dos agricultores, além de beneficiar os consumidores dos produtos pela não adição de agrotóxicos, abrindo caminhos para a prática de uma agricultura sustentável (HARKALY, 2001; SANTOS e SANTOS, 2008).

Neste aspecto Saldanha *et al.* (2009) identificam na prática da agroecologia um caminho para a valorização do saber do homem e da mulher do campo, por meio do resgate da produção de alimentos de forma tradicional e com a utilização de insumos “verdes”, além de explorar e revalorizar formas de trabalho coletivo e participativo.

Dentro dessa visão existe a preocupação com a autossuficiência na propriedade, buscando produzir o máximo possível de insumos utilizados no processo produtivo dentro da própria propriedade e, com isso, uma entrada mínima de insumos de fora. Além disso, a análise das vantagens e desvantagens não é feita considerando-se apenas um produto ou atividade isolados, mas sim sistemas de produção, que são entendidos como uma combinação de diferentes cultivos ou criações (PAULUS *et al.*, 2000).

Alencar (2009) ressalta que a necessidade de otimizar o uso dos insumos, ou seja, dos recursos naturais - como a água, os solos, os adubos e defensivos (químicos ou orgânicos), dentre outros, é fundamental. Faz-se necessário usar técnicas que melhor se harmonizem com as políticas de gestão ambiental, enquanto maximize os benefícios socioeconômicos e ambientais.

O interesse em estudar técnicas de otimização para o planejamento dos setores produtivos, dentre eles o setor agrícola, tem aumentado significativamente nos últimos anos, principalmente por conta da preocupação crescente com o impacto de gestão e administração equivocadas de empresas e de diferentes organizações.

As técnicas de otimização buscam uma solução ótima do problema, isto é, que resulte no melhor desempenho possível do sistema, de forma a atender aos objetivos estabelecidos

para a operação do sistema. Isso é possível com base na definição de uma dada função-objetivo, que é uma representação matemática dos objetivos a serem obtidos pela operação do sistema em análise.

O presente trabalho se propõe a realizar análises otimizantes e comparativas de cenários relacionados aos manejos agrícolas de produção convencional e orgânica para um planejamento conjunto de culturas anuais e perenes, no contexto da agricultura familiar praticada no entorno do açude público Epitácio Pessoa, Boqueirão, Estado da Paraíba, para um período de estudo de 10 anos. Foram comparados os benefícios econômicos (maximização de receitas líquidas auferidas com as culturas irrigadas), benefícios sociais (emprego de mão de obra nas unidades irrigadas) e ambientais (minimização dos impactos causados pelo uso indiscriminado de agroquímicos).

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análises comparativas de cenários de manejos convencional e orgânico para produção agrícola – adotando como caso de estudo a agricultura familiar praticada no entorno do açude público Eptácio Pessoa – de maneira a prover informações que apoiem a tomada de decisão no planejamento agrícola e no gerenciamento de recursos hídricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, podem ser citados:

- Aplicar modelo matemático de otimização para avaliar o desempenho de culturas agrícolas anuais e perenes;
- Avaliar o desempenho das culturas perenes, estabelecidas no planejamento agrícola idealizado, quando cultivadas em um período pluviométrico com ocorrência de períodos de secas;
- Analisar o comportamento do sistema hídrico do reservatório quanto ao atendimento das demandas de abastecimento urbano e irrigação, em cada cenário considerado;
- Analisar os critérios envolvidos no estudo do sistema: minimização do déficit de atendimento de demandas de abastecimento urbano, maximização de receitas líquidas, maximização da mão de obra empregada, minimização do uso de defensivos e adubos químicos e atendimento do volume meta do reservatório;
- Avaliar o comportamento do sistema, em termos de operação ótima, quando da utilização dos indicadores de sustentabilidade, eficiência dos reservatórios e de desempenho das áreas irrigadas;

- Analisar as diferentes respostas geradas pelo modelo de otimização para os cenários dos manejos agrícolas de produção convencional e orgânica.

2.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é composta pela introdução, objetivos gerais e específicos e mais cinco capítulos, descritos a seguir:

Capítulo III - Revisão de Literatura: Apresenta temas envolvendo o manejo agrícola de produção convencional e seus impactos socioambientais, a agricultura orgânica como alternativa de produção sustentável, modelos de otimização e análises multiobjetivo.

Capítulo IV - Modelo Utilizado no Estudo: Descreve o modelo de otimização utilizado para a área estudada, apresenta-se as funções objetivo e equações de restrições do modelo e relaciona os indicadores de sustentabilidade e eficiência do comportamento do reservatório e dos perímetros irrigados.

Capítulo V - Caso de Estudo: Faz-se uma caracterização da área de estudo, apresentando os dados utilizados para alimentação do modelo, juntamente com a descrição dos cenários gerados e seus objetivos/critérios.

Capítulo VI - Resultados e Discussões: Apresenta os resultados gerados no processo de otimização, para os cenários estabelecidos no sistema analisado (reservatório Epitácio Pessoa mais as áreas irrigadas em seu entorno), além de suas discussões pertinentes.

Capítulo VII - Conclusões e Recomendações: Tendo como base os objetivos geral e específicos deste trabalho, apresenta neste capítulo as conclusões e recomendações obtidas com a análise dos cenários propostos para o sistema estudado.

3.1 MODELO AGRÍCOLA CONVENCIONAL

Durante muito tempo, a atividade agrícola esteve relacionada à devastação dos recursos naturais. Com o advento da modernização da agricultura operada no século XX, sob o nome de Revolução Verde, por causa dos métodos adotados, houve uma intensificação da destruição da natureza pelos processos agropecuários. Estes processos inegavelmente maximizaram a produção agropecuária, todavia representaram um agravamento dos problemas ambientais, bem como os socioeconômicos, especialmente nos países emergentes (VIEITES, 2010).

As discussões sobre os desdobramentos da Revolução Verde e, principalmente, dos seus impactos ambientais ganharam força nos anos 1980 do século passado, quando os chamados países desenvolvidos passaram a se dar conta dos problemas ambientais resultantes daquele modelo de agricultura. Durante esta mesma década começaram, também, a serem discutidos e analisados, além dos problemas ambientais, os impactos sociais e econômicos gerados pela Revolução Verde. Conforme Lima (2000), esta revolução, esteio da agricultura convencional, tem feito a atividade agrícola ser, em muitos países, a maior consumidora de água, bem como, a maior destruidora da fauna e da flora. A seleção de espécies, a mecanização, a aplicação de produtos químicos na agricultura, conjugadas com o avanço industrial baseado em fontes de energia poluentes, além dos subprodutos do consumismo desenfreado da humanidade detentora de riquezas, que é a base da Revolução Verde ou da agricultura convencional, têm provocado a extinção crescente de espécies de animais e vegetais do planeta, segundo Zamberlam e Froncheti (2007) *apud* BARROS e SILVA (2010).

Este modelo, que usa intensivamente o solo e a água, facilita a aceleração da degradação, sobretudo dos níveis de fertilidade do solo, ocasionando um desequilíbrio dos ecossistemas naturais e inviabilizando, em muitos casos, a produção ao longo do tempo. Além disso, a abordagem reducionista, frequentemente adotada na agricultura convencional, pode estar limitando as opções agrícolas para o homem do campo. Segundo Altieri (2008), as estratégias de desenvolvimento utilizadas para a implementação do modelo agrícola convencional revelaram-se fundamentalmente limitadas em sua capacidade de promover um desenvolvimento equânime e sustentável.

De acordo com Ehlers (1995), a agricultura convencional provoca alterações no equilíbrio físico, químico e biológico do solo, destruição de florestas e da biodiversidade genética, aumento da suscetibilidade das lavouras ao ataque de pragas e doenças e contaminação dos recursos naturais e dos alimentos.

Zamberlam e Froncheti (2007) *apud* Barros e Silva (2010) salientam que a agricultura convencional dentro do modelo da Revolução Verde trouxe profundas sequelas, como:

- Alto custo social, econômico e ambiental;
- Efeitos nocivos sobre a população por contaminação do solo, ar e água;
- Destruição do equilíbrio natural dos ecossistemas por erosão e morte dos solos e o desaparecimento dos inimigos naturais das pragas;
- Eliminação, inibição ou redução sensível da flora microbiana do solo;
- Maior dependência e custos de produção pela perda de fertilidade do solo, da biodiversidade e pelo aumento da resistência das pragas aos pesticidas, que provocam aumentos crescentes nas doses de fertilizantes, de pesticidas e grau de toxicidade. Além disso, tal prática provoca a absorção desequilibrada de nutrientes, produzindo alimentos desnaturados;
- Deterioração das condições sociais e de trabalho;
- Concentração de renda.

Se, do ponto de vista econômico, o processo de modernização da agricultura foi de fundamental importância, dando um grande impulso à produção agrícola mundial, do ponto de vista social e ambiental não obteve o mesmo êxito. O uso de insumos e equipamentos modernos na agricultura convencional, além de ter agravado a questão ambiental, contribuiu para o aumento do desemprego no campo, com a transferência do trabalhador rural para a zona urbana, acarretando o inchaço das grandes cidades, desemprego e consequente miséria dessa população (TEIXEIRA, 2005).

Como uma alternativa ao modelo predatório imposto pela agricultura convencional, ergue-se o paradigma da sustentabilidade agrícola, que propõe um desenvolvimento fundamentado na conservação dos recursos naturais e assegurando, também, às gerações futuras a utilização desses recursos. Desta forma, a agricultura sustentável pode significar ainda um caminho para garantir a segurança alimentar de uma parcela considerável da sociedade de hoje e do futuro (VIEITES, 2010).

3.2 O USO DOS AGROTÓXICOS E SEUS IMPACTOS

A agricultura é uma atividade humana que implica na simplificação da natureza, sendo as monoculturas a expressão máxima desse processo. O resultado final é a produção de um ecossistema artificial que exige constante intervenção humana. Na maioria dos casos, essa intervenção se dá na forma de insumos agroquímicos que, embora elevem a produtividade, acarretam vários custos ambientais e sociais indesejáveis (ALTIERI, 1995).

De acordo com Marques (2005), a utilização de agrotóxicos na produção agrícola dentro de um manejo adequado pode aumentar a produção em até 40%, mas o uso indiscriminado destes produtos pode acarretar prejuízos ambientais, muitas vezes irreparáveis, e trazer sérias consequências à saúde humana.

Os agrotóxicos, devido ao efeito no aumento da produtividade, foram e ainda são largamente utilizados, contribuindo muito para o aumento e maior abundância de alimentos. Contudo, pouca atenção foi dada por ocasião do seu aparecimento, principalmente quanto ao aspecto toxicológico e implicações do seu uso. Segundo Hayes e Laws (1997), as principais vias de contaminação ambiental por agrotóxicos são: aplicação direta na água; lixiviação do solo de áreas contaminadas; contaminação de águas subterrâneas por percolação; liberação de efluentes industriais; usos domésticos e despejos de materiais de descarte.

Além do amplo uso, há ainda a ampla gama de produtos disponíveis, o que torna complexa a exposição a eles e a avaliação de seus impactos sobre o ambiente e a saúde. Atualmente, existem pelo menos 1.500 ingredientes ativos distribuídos em 15.000 diferentes formulações comerciais no mercado mundial, conforme dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2004).

Como biocidas, os agrotóxicos interferem em mecanismos fisiológicos de sustentação da vida que são comuns também aos seres humanos, e, portanto, são associados a uma ampla gama de danos à saúde. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), eles produzem, a cada ano, entre três e cinco milhões de intoxicações agudas no mundo, especialmente em países em desenvolvimento (MIRANDA *et al.*, 2007).

No Brasil, a classificação toxicológica dos agrotóxicos está a cargo do Ministério da Saúde e é elaborada segundo sua dose letal 50 (dados em miligramas do produto tóxico por quilo de peso necessário para levar a óbito 50% dos animais de teste). Ela é expressa na cor da faixa no rótulo do produto, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação dos agrotóxicos de acordo com os efeitos à saúde humana.

Classe Toxicológica	Toxicidade	Dose Letal (50%)	Faixa Colorida
I	Extremamente tóxico	< 5 mg/kg	Vermelha
II	Altamente tóxico	entre 5 e 50 mg/kg	Amarela
III	Medianamente tóxico	entre 50 e 500 mg/kg	Azul
IV	Pouco tóxico	entre 500 e 5000 mg/kg	Verde

Fonte: Peres *et al.* (2003); Rigotto (2010).

Segundo Lyznicki *et al.* (1997), os efeitos dos agrotóxicos na saúde humana, especialmente os crônicos, não têm sido caracterizados adequadamente, pois os efeitos tardios de alguns desses químicos podem se tornar aparentes após anos de exposição. Apesar dessa dificuldade, a literatura médica fornece um conjunto de indicadores que relacionam os efeitos na saúde devido à exposição em longo prazo aos agrotóxicos. Problemas oculares, no sistema respiratório, cardiovascular, neurológico, assim como efeitos cutâneos e problemas gastrointestinais, podem estar relacionados ao uso desses produtos (PINGALI *et al.*, 1994).

A ampla utilização de agrotóxicos nas lavouras também tem gerado a contaminação de consumidores através da ingestão de seus resíduos contidos em alimentos. A presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos (vegetais e animais) pode decorrer da contaminação do solo - a maioria dos agrotóxicos empregados, especialmente os herbicidas e inseticidas, apresenta relativo grau de persistência, assim considerado o tempo necessário para que os resíduos desapareçam do local de aplicação - ou da aplicação direta do agrotóxico sobre as culturas. Na água, a presença de resíduos de agrotóxicos pode ser consequência da aplicação direta (de herbicidas aquáticos) ou indireta (por meio da erosão, lixiviação, descargas industriais), e a contaminação ocorre pelo seu consumo ou pelo consumo de organismos aquáticos (peixes, moluscos e crustáceos), que detêm a propriedade de bioconcentrar os resíduos (VAZ, 2006).

3.3 O CONSUMO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL

O cenário do mercado de agrotóxicos, atualizado para 2010, mostra que houve um acréscimo nesse ano de 190%. As maiores empresas que controlam esse mercado são multinacionais instaladas no Brasil (BASF, Bayer, Dupont, Monsanto, Syngenta e Dow). Em 2010, o mercado nacional movimentou cerca de US\$ 7,3 bilhões e representou 19% do mercado global de agrotóxicos. Em 2011 houve um aumento de 16,3% das vendas,

alcançando US\$ 8,5 bilhões, sendo que as lavouras de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar representam 80% do total das vendas do setor, conforme dados apresentados pelo Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas (SINDAG). O montante de dinheiro mobilizado é maior que o PIB de vários países, o que os constitui como verdadeiros oligopólios (AUGUSTO *et al.*, 2012).

A taxa de crescimento de importação de princípios ativos cresceu 400% e de produtos formulados cresceu 700% a partir de 2008. Estão cadastradas 130 empresas, das quais 96 são apenas para comercialização; 53% não tem a menor capacidade produtiva, sendo apenas importadoras com escritórios no Brasil e mobilizando a venda de 833.000 toneladas de 936 produtos; 90% dos produtos formulados são de material vindo de outros países, especialmente da China; 44% das vendas são diretas aos clientes; 24% para a indústria e 32% para revenda (ANVISA, 2012).

Existem atualmente 366 ingredientes ativos registrados no Brasil para uso agrícola, pertencentes a mais de 200 grupos químicos diferentes, que dão origem a 1.458 produtos formulados para venda no mercado. São eles inseticidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas, acaricidas, rodenticidas, moluscidas, formicidas, reguladores e inibidores de crescimento. Os herbicidas sozinhos representam 48% deste mercado, seguidos pelos inseticidas (25%) e pelos fungicidas (22%) (PELAEZ *et al.*, 2009).

A Tabela 3.2, a seguir, mostra o crescente consumo de agrotóxicos e fertilizantes químicos pela agricultura brasileira, que é proporcional ao aumento das monoculturas, cada vez mais dependentes dos insumos químicos. O uso de agrotóxicos foi calculado a partir de dados de 2008 a 2010 divulgados pelo SINDAG (2009, 2011) e para 2002 a 2007 foi feita uma estimativa utilizando o consumo médio em cada cultura por hectare a partir dos dados divulgados e da produção anual informada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012) e projeção elaborada pelo MAPA (2010).

Tabela 3.2 – Consumo de agrotóxicos e adubos nas lavouras do Brasil, de 2002 a 2011.

Brasil	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Agrotóxicos										
(Milhões de L)	599,5	643,5	693	706,2	687,5	686,4	673,9	725	827,8	852,8
Fertilizantes										
(Milhões de kg)	4910	5380	6210	6550	6170	6070	6240	6470	6497	6743

Fonte: MAPA (2010); SINDAG (2011); IBGE (2012).

Esse volume de agrotóxicos foi consumido por vários tipos de culturas sendo que a soja utilizou 40% do volume total entre herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas e outros. Em seguida está o milho com 15%, a cana de açúcar e o algodão com 10%, depois os cítricos com 7%, o café (3%), o trigo (3%), o arroz (3%), o feijão (2%), a pastagem (1%), a batata (1%), o tomate (1%), a maçã (0,5%), a banana (0,2%) e as demais culturas consumiram 3,3% do total de 852,8 milhões de litros de agrotóxicos pulverizados nessas lavouras em 2011, segundo o SINDAG (2009, 2011) e projeção do MAPA (2010).

Se esse cenário atual já é suficientemente preocupante, do ponto de vista da saúde pública deve-se levar em conta que as perspectivas são de agravamento dos problemas nos próximos anos. Como essas culturas são monocultivos químico-dependentes, as tendências atuais de contaminação devem ser aprofundadas e ampliadas.

3.4 AGRICULTURA ORGÂNICA

A modernização da agricultura veio acompanhada de um pacote tecnológico caracterizado pelo uso intensivo de insumos químicos e maquinário apropriado. Porém, esses benefícios tecnológicos, assim como a distribuição de terra, não ocorreu de maneira igualitária. Os benefícios desse modelo de agricultura convencional foram extremamente desiguais em termos de sua distribuição, com os maiores e mais ricos agricultores, que controlam o capital e as terras férteis, sendo privilegiados, em detrimento dos agricultores mais pobres e com menos recursos. Somado a isso ocorreu uma redução maciça da força de trabalho acarretando uma grande crise de desemprego (SOUTO, 2011).

Diante de tantos aspectos negativos trazidos pela agricultura moderna, iniciou-se a busca por modelos alternativos de agricultura, como a agricultura biodinâmica, orgânica e biológica, permacultura, dentre outras igualmente contrárias ao modelo convencional de agricultura. Uma das alternativas consideradas viáveis por muitos estudiosos e pesquisadores na área de meio ambiente, no que concerne à diminuição dos danos ambientais e sociais causados pelo modelo agrícola convencional, é a agricultura orgânica, que orienta e qualifica para práticas agrícolas de base ecológica.

De acordo com Lampkin (1990), a agricultura orgânica é um sistema de produção que sustenta a produtividade agrícola ao mesmo tempo em que evita ou elimina grande parte o uso de fertilizantes e venenos. Os recursos externos, tais como produtos químicos e combustíveis, são substituídos por recursos encontrados na própria propriedade ou em seu entorno. Entre esses recursos internos destacamos a energia solar ou eólica, os controles biológicos de

pragas, o nitrogênio fixado biologicamente e outros nutrientes liberados da matéria orgânica ou das reservas do solo.

O manejo de produção orgânica baseia-se fortemente no uso de rotações e consórcios de culturas, biomassa, esterco animal, leguminosas, adubos verdes, resíduos orgânicos de fora da propriedade, cultivo mecânico, rochas minerais e do controle biológico de pragas para manter a boa estrutura e a alta produtividade do solo, para fornecer nutrientes para as plantas e para controlar pragas, plantas espontâneas e doenças (ALTIERI, 2012). A maioria dos pequenos e médios agricultores orgânicos mantém rotações com base em leguminosas, uso de compostos e uma série de sistemas de cultivo diversificados, tais como plantas de cobertura ou plantios em faixas, incluindo combinações de lavoura(s)-pecuária. Pesquisas mostram que esses sistemas apresentam rendimentos razoáveis, conservam energia e protegem o solo, ao mesmo tempo em que causam um impacto ambiental mínimo.

Altieri (2012) ressalta que as propriedades orgânicas são baseadas na noção de que a biodiversidade é parte integrante do desenho do agroecossistema e que, em determinado momento, parte da área será plantada com leguminosas que servirão como adubos verdes e serão incorporadas ao solo ou servirão de forragem para alimentação animal, cujo esterco será devolvido ao solo.

Torna-se evidente que o uso da biodiversidade por agricultores orgânicos desempenha um papel especial para a manutenção e a melhoria da capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, já que proporciona segurança contra doenças, pragas, secas e outros fatores de estresse, assim como permite que os agricultores explorem todo o conjunto de agroecossistemas existentes em cada região.

Para que haja um desenvolvimento sustentável no cenário rural é necessário que se adotem práticas agrícolas diferentes dos modelos convencionais, ou seja, que se abra um caminho para a prática da agricultura orgânica de base familiar para as gerações atual e futura, garantindo terras férteis através da melhoria constante da fertilidade do solo, que possibilitará o crescimento de plantas prósperas e saudáveis, garantindo o sustento permanente das famílias rurais (SANTOS e SANTOS, 2008).

Esse novo modelo de exploração agrícola na agricultura familiar deve ser baseado no princípio de que a produção deve ser obtida a partir de insumos produzidos na propriedade, sendo evitado o uso de adubos minerais, agrotóxicos e máquinas agrícolas. O referido modelo, que inclui a prática da agricultura orgânica sustentável e a adoção de sistemas agrofloretais, possibilita a produção de alimentos saudáveis a baixo custo, bem como conserva o solo, a vegetação e as fontes de água, garantindo uma agricultura que melhore as

condições de vida das famílias rurais, permitindo que todos permaneçam no campo e levem uma vida digna.

A Tabela 3.3 mostra um comparativo das características dos sistemas de produção orgânica e convencional.

Tabela 3.3 – Características da agricultura orgânica e da agricultura convencional.

Características	Agricultura Convencional	Agricultura Orgânica
Dependência do petróleo	Alta	Média
Exigência de força de trabalho	Baixa, contratada	Média, familiar ou contratada
Intensidade de manejo	Alta	Baixa-média
Intensidade de preparo do solo	Alta, exceto nos sistemas de plantio direto	Baixa (plantio direto sem herbicidas) a média
Diversidade vegetal	Baixa	Média a alta
Variedade de culturas	Geneticamente modificadas, homogêneas, uma mesma variedade plantada em vastas áreas	Polinização aberta, misturas de variedades
Fonte de sementes	Empresas multinacionais, todas compradas, patenteadas	Compradas de pequenas empresas de sementes, algumas guardadas de plantios anteriores
Integração de culturas e criação de animais	Nenhuma	Pouca (uso de adubo) para combinações lavoura-pecuária
Ocorrência de pragas	Muito imprevisíveis	Imprevisíveis
Manejo de insetos	Culturas resistentes a insetos	Manejo integrado de pragas, caldas, controle biológico, manejo de <i>habitat</i>
Manejo de plantas espontâneas	Culturas resistentes a herbicidas, uso de produtos químicos, aração	Controle cultural, rotações
Manejo de doenças	Uso de produtos químicos	Antagonistas, cultivares multilinhas, defensivos naturais
Nutrição de plantas	Química, com aplicação de fertilizantes	Biofertilizantes microbianos, fertilizantes orgânicos
Manejo da água	Irrigação de grande escala	Irrigação por aspersão ou gotejamento, sistemas que economizam água

Fonte: Altieri (2012).

3.5 ORGANIZAÇÃO DA PROPRIEDADE ORGÂNICA

No modelo orgânico de produção a propriedade rural é considerada um agroecossistema, que se traduz num sistema agrícola baseado na biodiversidade do local (RESENDE e VIDAL, 2008). Depende das interações e dos ciclos biológicos das espécies vegetais e animais e da atividade biológica do solo, do uso mínimo de produtos externos à propriedade e do manejo baseado em práticas que restaurem, mantenham e promovam a harmonia ecológica do sistema.

De acordo com Resende e Vidal (2008), a agricultura orgânica está associada mais ao conceito de organismo agrícola do que ao uso de adubação orgânica, como acreditam muitas pessoas pouco familiarizadas com o tema. Neste organismo modificado pela ação do homem, ocorrem complexas interações entre os seres vivos e os elementos naturais (solo, nutrientes, ar, temperatura, água, etc.), e a obtenção do produto depende da manutenção do equilíbrio deste sistema que, por sua vez, depende do papel individual de cada um destes elementos e suas relações.

Muitas correntes da agricultura orgânica advogam que devem ser estabelecidas ligações entre todas as formas de matéria e de energia presentes na propriedade para se aproximar do equilíbrio do ambiente natural. Prioriza-se a utilização dos elementos orgânicos produzidos na propriedade agrícola, já que todas as atividades devem estar de alguma forma integradas. Este modelo de conservação se apoiou nos movimentos de preservação da natureza associados ao modelo de exploração agrícola intensa e no conceito de exaustão do solo preconizado pelos cientistas.

Conforme Resende e Vidal (2008), a manutenção da fertilidade do solo e sanidade dos cultivos depende de rotações de culturas, reciclagem de biomassa e, principalmente, da diversidade biológica. Essa diversidade é o principal pilar da agricultura orgânica a contribuir para a manutenção do equilíbrio do sistema e, conseqüentemente, do solo e da cultura. Portanto, o equilíbrio biológico e ambiental, bem como a fertilidade do solo, não podem ser mantidos com monoculturas. No caso de cultivos especializados, onde prevalece apenas uma cultura de interesse econômico, deve-se estabelecer algum grau de diversificação, que é conseguido com a inserção de áreas de refúgio e/ou cordões de contorno com espécies variadas, consórcios com adubos verdes e/ou plantas repelentes/atrativas e com o manejo das plantas espontâneas.

Algumas das técnicas de manejo orgânico serão descritas a seguir.

3.5.1 Áreas de Pousio

São áreas que garantem o ‘descanso’ do solo após cultivo intensivo para reconstituir e conservar suas propriedades químicas, físicas e biológicas. As áreas em pousio devem permanecer cobertas durante esse período com alguma vegetação, que pode ser adubos verdes ou a vegetação natural da área, garantindo a manutenção da vida no solo.

3.5.2 Áreas de Refúgio

Segundo Resende e Vidal (2008), são áreas de vegetação para preservação e atração de inimigos naturais de pragas e pequenos predadores que auxiliam no controle de pragas, pois, servem de refúgio para diversos insetos benéficos que se alimentam de fungos ou organismos que, sem seus inimigos naturais, poderiam aniquilar a plantação. Esses nichos são formados pelas reservas de vegetação nativa, pelas faixas de cercas vivas ou cordões de contorno que circundam as áreas de cultivos e as comunidades de plantas invasoras ou espontâneas. As áreas de refúgio garantem a preservação da fauna e a diversidade é essencial para o equilíbrio de várias espécies, contribuindo fortemente para o equilíbrio do sistema como um todo.

3.5.3 Cordões de Contorno

Cordões de contorno são faixas de vegetação que circundam a propriedade, permitindo o isolamento das áreas de cultivo convencional circunvizinhas, e utilizados também para divisão dos talhões de cultivo. Apresentam múltiplas finalidades como o funcionamento de barreiras fitossanitárias, dificultando a livre circulação de pragas e doenças entre propriedades vizinhas e entre os talhões de cultivo; a criação de microclimas mais favoráveis para o cultivo; e a formação de áreas de refúgio e abrigo para inimigos naturais de pragas e outros pequenos animais úteis. A instalação dessas faixas de vegetação permite a criação de condições climáticas favoráveis para redução do estresse sofrido pelas plantas e é fundamental para o manejo fitossanitário da propriedade orgânica.

3.5.4 Consórcio de Culturas

O sistema de consórcio é caracterizado quando são plantadas duas ou mais culturas na mesma área e ao mesmo tempo. A consorciação permite otimizar a produção pelo melhor

aproveitamento da área explorando a combinação de espécies eficientes na utilização dos recursos de produção como espaço, nutrientes, água e luz. O consórcio entre culturas de várias espécies vem sendo adotado amplamente em áreas sob cultivo orgânico em todo o país, principalmente por pequenos agricultores orgânicos que concebem nesta técnica uma forma de otimizar o aproveitamento dos seus escassos recursos de produção. Assim, procuram maximizar seus lucros, aproveitando melhor a área, os insumos e a mão de obra (RESENDE e VIDAL, 2008). A eficiência e as vantagens de um sistema consorciado estão na complementaridade entre as culturas envolvidas. Esta complementaridade é maior à medida que se consegue minimizar os efeitos negativos de uma cultura sobre a outra.

3.5.5 Rotação de Culturas

Um dos aspectos mais importantes do manejo em sistemas orgânicos de produção é a exploração equilibrada do solo, por meio do emprego de práticas como a alternância de culturas e a sucessão vegetal, levando à prática da rotação de culturas nas diversas unidades de solo de uma propriedade agrícola. Deve-se estabelecer uma escala de exigência em adubação e manter o terreno permanentemente coberto. Essas práticas conjugadas permitirão explorar os nutrientes do solo de maneira mais racional, evitando seu esgotamento. Devem-se alternar culturas mais exigentes com culturas menos exigentes em nutrientes (rústicas), que exploram profundidades diferentes do solo pela diferença na estrutura radicular. Outro aspecto igualmente importante da rotação é evitar a proliferação e acúmulo de doenças e pragas, que em um sistema intensivo de cultivo pode ocorrer de forma bastante acelerada. Portanto, a rotação de culturas é uma necessidade para a economia de nutrientes da horta e o controle de pragas e doenças (RESENDE e VIDAL, 2008).

3.5.6 Sistemas Agroflorestais

Sistemas agrícolas em que as árvores exercem funções protetoras e produtivas quando crescem juntos a cultivos anuais e/ou animais, o que resulta num aumento das relações complementares entre os componentes, incrementando o uso múltiplo do agroecossistema (NAIR, 1982).

O sistema agroflorestal se baseia no princípio de que o solo pode se manter sempre fértil e produtivo, pela combinação da exploração de culturas agrícolas com plantas nativas

existentes em cada região (Figura 3.1), melhorando a fertilidade do solo e mantendo-o em condições permanentes de elevada produção (SANTOS e SANTOS, 2008).

Todas essas formas diversificadas de agroecossistemas compartilham as seguintes características (ALTIERI, 2012):

- Mantêm a cobertura vegetal como medida efetiva para conservar a água e o solo, por meio do uso de práticas como plantio direto, cultivos com uso de cobertura morta (*mulch*), ou o uso de cultivos de cobertura (adubos verdes, por exemplo), entre outros métodos apropriados;
- Garantem fornecimento regular de matéria orgânica por meio do uso de esterco, da compostagem e da promoção da atividade biológica do solo;
- Aumentam os mecanismos de ciclagem de nutrientes através do uso de sistemas de rotação baseados em espécies leguminosas, integração animal etc.;
- Promovem a regulação de insetos-pragas por meio do aumento da atividade biológica dos agentes de controle obtido pela conservação e/ou introdução de inimigos naturais e antagonistas.

Figura 3.1 – Combinação de culturas temporárias e fruteiras com plantas da mata nativa, no Sítio Utopia, município de Alagoa Nova - PB (junho, 2012).



Fonte: Arquivo pessoal.

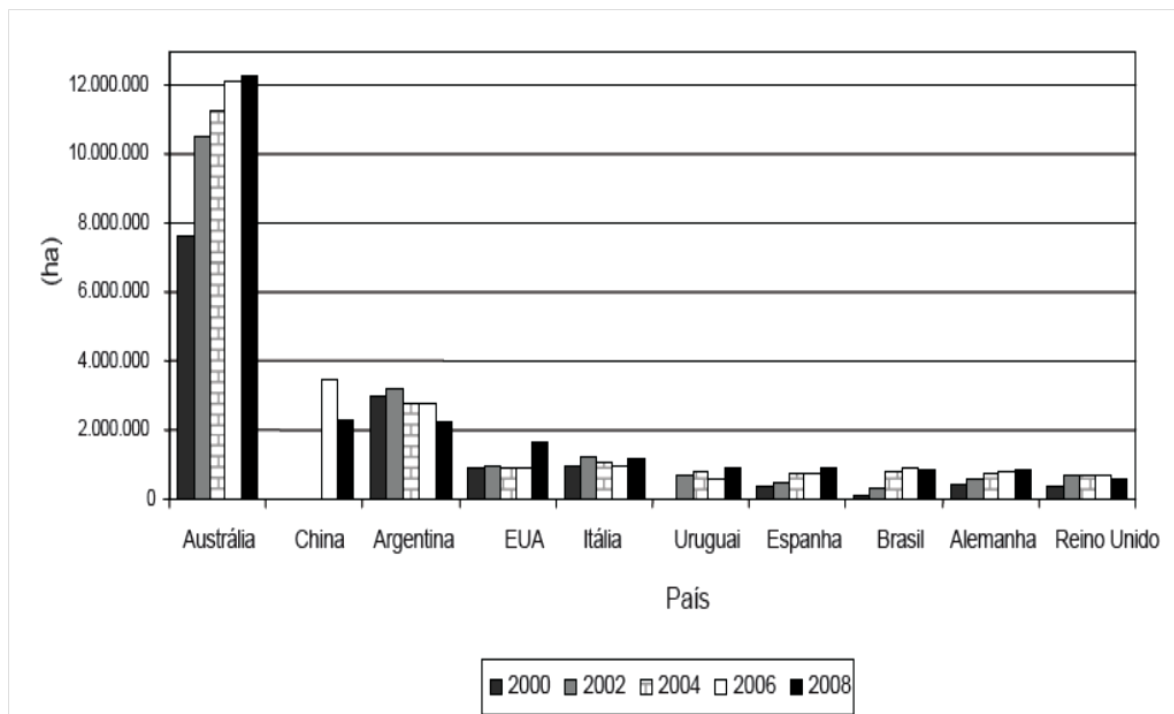
3.6 PRODUÇÃO E MERCADO DOS PRODUTOS ORGÂNICOS

A agricultura orgânica tem se desenvolvido rapidamente no mundo nos últimos anos e é hoje praticada em 138 dos 196 países reconhecidos pela Organização das Nações Unidas - ONU (ONUBR, 2013). Além disso, pode-se assumir que a agricultura sob o sistema orgânico de produção não certificada é praticada em um número ainda maior de países, com, no mínimo, 700 mil propriedades e, aproximadamente, 30,4 milhões de hectares sob o manejo orgânico de produção (WILLER *et al.*, 2008; TERRAZZAN e VALARINI, 2009).

Os países com maiores áreas de produção orgânica são, respectivamente: Austrália com 12,29 milhões de ha; China com 2,3 milhões de ha; e Argentina com 2,22 milhões de ha. Esses países têm como principal atividade nessas áreas orgânicas a pastagem não intensiva.

O Brasil se encontra na oitava posição, com 880 mil hectares cultivados com agricultura orgânica. De 2000 a 2008 alguns países obtiveram um incremento significativo em suas áreas de produção, enquanto outros como Argentina, por exemplo, sofreu uma redução na quantidade de hectares sob o manejo orgânico.

Figura 3.2 – Países com maiores áreas agrícolas orgânicas e sua evolução.



Fonte: Ormond *et al.* (2002); Willer e Yussefi (2006); Willer *et al.* (2008).

A demanda global por produtos orgânicos tem aumentado cerca de 5 bilhões de dólares ao ano. Durante o ano de 2007 movimentou cerca de 46,1 bilhões de dólares. A maior demanda destes produtos está concentrada na América do Norte e na Europa. A Ásia, a América Latina e a Oceania são importantes produtores e exportadores de frutas, vegetais, bebidas, cereais, grãos, sementes, ervas e especiarias (WILLER e KILCHER, 2009).

No Brasil uma alternativa de comercialização que tem crescido muito na última década é a exportação de produtos orgânicos para países desenvolvidos, sendo que mais de 70% de sua produção orgânica destina-se, principalmente, para os EUA, Europa e Japão. Apesar de a participação ainda ser pequena no mercado brasileiro, a produção de orgânicos vem se multiplicando nos últimos anos. O faturamento dos produtores em 2010 foi de cerca de R\$ 500 milhões, segundo estimativa da Associação Brasileira de Orgânicos (Brasilbio), que reúne produtores, processadores e certificadores.

De acordo com Camargo Filho *et al.* (2004), o número crescente de produtores orgânicos no Brasil divide-se basicamente em dois grupos: os pequenos produtores familiares ligados a associações e grupos de movimentos sociais, que representam 90% do total de agricultores, sendo responsáveis por cerca de 70% da produção orgânica brasileira, e grandes produtores empresariais (10%) ligados a empresas privadas. Enquanto na região sul cresce o número de pequenas propriedades familiares que aderem ao sistema, no sudeste a adesão é em sua grande maioria de grandes propriedades. Em relação ao tipo de produto, os grandes produtores (com mais de 100 ha) se destacam na produção de frutas, sobretudo citros e frutas tropicais (manga, uva, etc.), além de cana-de-açúcar, café e cereais orgânicos (soja e milho, basicamente).

3.7 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, na qual um algoritmo formal é usado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão que minimizem ou maximizem uma dada função objetivo, sujeita a restrições (WURBS, 1993). Neste estudo foram realizadas análises comparativas de cenários referentes aos manejos agrícolas de produção convencional e orgânica, para um período de estudo de 10 anos, onde foi utilizado um modelo de otimização multiobjetivo, baseado em programação linear, desenvolvido por Santos *et al.* (2011).

Segundo Santos (2007), uma função objetivo de um determinado modelo está sujeita a restrições. As restrições, representadas também por expressões matemáticas, têm a finalidade

de forçar o modelo de otimização a obedecer a leis físicas, exigências operacionais, socioeconômicas e políticas, entre outras.

Não existe, porém, um procedimento de otimização geral que possa resolver eficientemente qualquer tipo de problema. A maioria das técnicas depende da forma e de propriedades matemáticas da função objetivo e restrições (MATEUS e LUNA, 1986; DAHLQUIST e BJORCK, 1974).

As técnicas de otimização procuram a solução do problema de forma a atender aos objetivos estabelecidos para a operação do sistema. Isso se dá a partir da definição de uma dada função-objetivo, que é uma representação matemática dos objetivos a serem obtidos pela operação do sistema em análise. Dessa forma, os modelos de otimização buscam a maximização ou minimização da função-objetivo, cujas variáveis básicas são chamadas variáveis de decisão.

Todos os processos físicos e condições de contorno do problema formam o conjunto das equações de restrição, como, por exemplo, os limites para as capacidades dos reservatórios, os limites para as vazões efluentes, obrigações legais, ambientais, limitações técnicas de equipamentos hidromecânicos, etc. As dificuldades associadas aos modelos de otimização estão relacionadas com o porte do problema, com a forma e as características das funções-objetivo e equações de restrição e com a precisão requerida para solução do problema (ARAGÃO, 2008).

É através das equações de restrições que se pode definir um modelo matemático que integre os vários aspectos socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais do sistema. É, também, através da função objetivo que se pode maximizar, segundo o seu grau de atratividade, indicadores de sustentabilidade, eficiência e/ou desempenho do problema relacionado a uma área a ser analisada, permitindo-se, assim, fazer uma aferição do resultado. Em um problema multiobjetivo pode-se, ainda, ter objetivos diferentes e até contraditórios, que devem ser otimizados.

Os modelos de otimização são baseados, em sua maioria, em algum tipo de programação matemática, sendo que as mais utilizadas técnicas de otimização são:

- Programação Linear (PL);
- Programação Não Linear (PNL);
- Programação Dinâmica (PD).

De acordo com Ros e Barros (2003), cada uma dessas técnicas pode ser resolvida de forma determinística ou estocástica, implícita ou explícita. A otimização determinística utiliza

como variáveis de entrada as séries históricas e dados observados (as condições hidroclimáticas são perfeitamente conhecidas); a otimização estocástica implícita utiliza como variáveis de entrada as séries geradas sinteticamente ou por métodos de previsão, ou seja, com base na série histórica; a otimização estocástica explícita utiliza na formulação da otimização procedimentos estocásticos aplicados à série histórica original como variável de entrada (a otimização é realizada sem a presunção do perfeito conhecimento de eventos futuros).

3.8 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A técnica da Programação Linear é uma das mais aplicadas em planejamento de recursos hídricos. Neste tipo de programação o sistema é representado através de expressões lineares para as restrições, que visam otimizar uma função objetivo, também linear.

Atualmente há várias ferramentas computacionais onde problemas de PL podem ser implementados e resolvidos, como o SOLVER do EXCEL, LINUS, MATLAB, entre outras (FARIAS, 2009).

A Programação Linear proporciona algumas vantagens para o usuário que incluem a habilidade para se ajustar facilmente a problemas multidimensionais, a garantia de obtenção de valores ótimos globais, a comercialização de programas de computador prontos para resolução dos problemas e a baixa dificuldade para compreensão de seus algoritmos.

Em contrapartida, as principais desvantagens dos métodos de Programação Linear são a requisição de linearidade das funções (maximização da função objetivo) e a otimização em um único estágio (representação estática), enquanto o sistema é dinâmico (variável no tempo) (LIMA e LANNA, 2005).

A programação linear, assim como outras técnicas de programação matemática, foram, também usadas no desenvolvimento de trabalhos para otimizar sistemas de produção agrícola, considerando cultivos únicos ou múltiplos, submetidos ou não a programas de irrigação específicos como o CISDERGO (CURI e CURI, 2001), o modelo desenvolvido por Santos (2007), o ORNAP (CURI e CURI, 2001), o AgriBMPWater (TURPIN *et al.*, 2005) e o DSIRR (BAZZANI, 2005).

Inúmeras aplicações de programação linear foram utilizadas em sistemas de recursos hídricos e planejamento agrícola. Dentre elas, pode-se citar:

- Kuo *et al.* (2003) fizeram um estudo de comparação de três técnicas de otimização para o planejamento de um projeto de irrigação em uma área de 394,6 ha na região de

Delta, Utah, para otimização de benefícios econômicos, simulação da demanda de água, e estimativa da porcentagem da área irrigada.

- Reça *et al.* (2001) desenvolveram um modelo de otimização aplicado numa bacia no sudeste da Espanha, para planejamento, baseado em critérios de eficiência econômica, de alocação de água em sistemas agrícolas onde existem déficits de irrigação.
- Mousavi e Ramamurthy (2000) apresentaram duas técnicas potenciais para se otimizar sistemas de abastecimento de água grandes e complexos. Este modelo utiliza aplicações da teoria do controle ótimo e da programação linear de sucessivas penalidades. Foi feita uma comparação com um modelo existente de programação dinâmica que foi aplicado em um sistema de múltiplos reservatórios.
- Carvalho *et al.* (2000) selecionaram culturas e os meses de plantio que proporcionassem a maximização da renda do agricultor e da utilização de recursos hídricos do perímetro irrigado do Gortuba, Estado de Minas Gerais, utilizando-se um modelo de programação linear, cuja função objetivo visou maximizar as receitas líquidas mensais em função da área cultivada com as culturas normalmente utilizadas na região.
- Feiring *et al.* (1998) aplicaram um modelo de programação estocástica em um sistema de fornecimento de água para irrigação e geração de energia. O ponto ótimo do sistema foi encontrado através da PL e a solução obtida através de decisões em múltiplos estágios. Essa aproximação permite que variáveis aleatórias sejam incorporadas no problema de programação linear.
- Oliveira e Lanna (1997) criaram um modelo combinado de otimização linear com simulação, para a análise de um sistema de múltiplos reservatórios atendendo a usos múltiplos no Estado do Ceará - Brasil.
- Jiracheewee (1996) desenvolveu um banco de dados com informações sobre gerenciamento agrícola e aspectos relacionados à irrigação para melhorar os sistemas de irrigação, usando a combinação de sistemas de gerenciamento de banco de dados e otimizadores de programação linear.
- Juan *et al.* (1996) desenvolveram um modelo para determinar estratégias de otimização da irrigação para estações de naturezas uniformes. O modelo tem como principal objetivo dar subsídios aos produtores rurais para avaliar e comparar alternativas e simular os regimes hídricos esperados ao longo do ano com o objetivo de otimizar a rotação de culturas, produção e renda.

- Braga Junior (1987) cita que o plano Hibrace de 1968, que contemplou um sistema de 31 reservatórios para regularização e controle de recursos hídricos da região metropolitana de São Paulo, foi um dos primeiros em aplicação de Programação Linear.

3.9 ANÁLISE MULTIOBJETIVO

A instituição da Política Nacional dos Recursos Hídricos, através da Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 e das Políticas Estaduais vigentes neste contexto, reforçam a necessidade de um enfoque atualizado para as questões ligadas à Gestão das Águas. Cada vez mais, em termos de expectativas e práticas, a abordagem dos problemas na área em questão recorre a outros meios, além da tradicional análise custo-benefício, largamente utilizada e aceita até meados dos anos 70 (JARDIM e LANNA, 2003).

A realidade atual tem exigido a consideração dos aspectos ambientais, estéticos, culturais e de bem estar social, além da abordagem estritamente econômica.

A análise multiobjetivo permite a eficiente inclusão de aspectos de difícil mensuração, através de escalas e medidas adequadas para cada uma das novas variáveis que passam a ser admitidas no processo decisório. Tratam-se, em geral, de técnicas baseadas na modelagem matemática e na análise matricial, com forte apoio dos avançados recursos computacionais disponíveis.

Santos (2007) ressalta que na análise multiobjetivo não existe um ótimo global, como na busca do máximo ou mínimo de uma função, e sim um conjunto de ótimos que satisfazem de formas diferentes, os diferentes objetivos envolvidos na análise.

Diferentemente das situações em que há problemas com objetivo único, em que a solução ótima é obtida através da simples maximização (ou minimização) de uma função-objetivo de variáveis de decisão sujeitas a restrições, a análise multiobjetivo seleciona a solução de melhor compromisso ou, numa abordagem mais detalhada e segura, a solução mais robusta.

As técnicas de análise multiobjetivo podem ser classificadas conforme a posição relativa entre analista e decisor, nos grupos que seguem, segundo Cohon e Marks (1975):

- Técnicas de geração das soluções não dominadas;
- Técnicas com antecipação de preferências; e
- Técnicas com articulação progressiva de preferências.

As técnicas que geram o conjunto de soluções não dominadas consideram um vetor de funções objetivo e, mediante tal vetor, geram o conjunto das soluções não dominadas. Uma solução não dominada ou não inferior é definida como uma solução multiobjetivo que não pode ser melhorada em um objetivo sem piorar um ou outros. Não são consideradas, no processo, as preferências do decisor, tratando-se somente com as restrições físicas do problema.

As técnicas que utilizam uma articulação antecipada das preferências solicitam, anteriormente à solução do problema, e a opinião do decisor a respeito das trocas possíveis entre os objetivos e dos valores relativos destes. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas, em função do tipo de problema.

As técnicas que utilizam articulação progressiva das preferências têm a característica de perguntar ao decisor, assim que uma solução é alcançada, se o nível atingido de atendimento dos objetivos é satisfatório e, no caso negativo, o problema é modificado e resolvido novamente (BRAGA e GOBETTI, 2002).

CAPÍTULO IV

MODELO UTILIZADO NO ESTUDO

4.1 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O modelo de otimização adotado nesta pesquisa é baseado em programação linear, tendo sido utilizado o *Toolbox Optimization* do software MATLAB 6.5 com o Método do Ponto Interior para a busca da solução ótima. Entretanto, linearizações apropriadas das não linearidades intrínsecas aos processos de cada um de seus componentes tiveram que ser pesquisadas e implementadas através do uso combinado do Artifício de Linearização por Segmentos e da Programação Linear Sequencial (SANTOS, 2007).

O modelo se destina a otimizar os múltiplos usos de um sistema de reservatórios, com a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados. O mesmo trabalha com variáveis relacionadas aos elementos naturais, como dados hidroclimáticos e hidroagrícolas, além de outras variáveis como demandas hídricas e características físicas dos componentes, identificadas no estudo do sistema hídrico. Para estes elementos, são definidas as informações necessárias ao modelo para a entrada de dados, envolvendo os reservatórios, as demandas, calhas dos rios e perímetros irrigados.

A operação do reservatório e dos “nós” é baseada na equação do balanço hídrico destes, mesmo quando se faz uso de demandas fixas e/ou variáveis. A demanda hídrica de um perímetro irrigado é determinada com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecida através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, estando a área a ser plantada limitada pelos demais usos do reservatório. O modelo leva também em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de pressão de serviço, as áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura, os custos de água e energia, os custos de produção, os aspectos econômicos, bem como as fontes de bombeamento e a quantidade de água a ser captada.

Como o problema em estudo exige uma otimização multiobjetivo, o modelo trabalha com o Método das Ponderações, que normaliza cada função objetivo e onde são atribuídos pesos para definir as prioridades de atendimento.

4.2 FUNÇÕES OBJETIVO

As funções objetivo consistem na estrutura real da análise do desempenho do sistema como uma função matemática de suas variáveis de decisão, sujeita a inúmeras equações de restrições.

São representadas por equações de natureza linear e não linear, que traduzem as limitações físicas dos reservatórios (volumes máximos e mínimos, vazões captadas e extravazadas), perímetros irrigados (limites mínimos e máximos das áreas a serem plantadas com cada tipo de cultura) e equipamentos hidráulicos (vazões máximas dos conjuntos locais dos sistemas motobombas, etc.), além das limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, inerentes aos sistemas de usos múltiplos.

A seguir, serão detalhadas as funções objetivo e as equações de restrição utilizadas no modelo de otimização.

4.2.1 Demandas nas Tomadas D'água

As tomadas de água permitem sua captação nos reservatórios e nos “nós” do sistema para atender determinados requerimentos de consumo.

Para o estabelecimento da função objetivo, destinada à minimização do déficit do atendimento das demandas nas tomadas d'água dos reservatórios e dos nós do sistema (DTDQ) foi utilizada a seguinte expressão:

$$DTDQ = \sum_t \left(\frac{Dtr(t) - Qtr(t)}{Dtr(t)} \right)^2 \quad (4.1)$$

Em que:

$Dtr(t)$ - demanda requerida na tomada d'água no mês t ;

$Qtr(t)$ - vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água no mês t .

4.2.2 Receita Líquida da Agricultura Irrigada

A maximização da receita líquida (RL) é uma das principais funções objetivo utilizadas no modelo de otimização, sujeita às restrições de disponibilidade de água, área a ser irrigada e capacidade de bombeamento. A receita líquida é compreendida como o resultado da

diferença entre a renda bruta total auferida com a venda dos produtos agrícolas e os respectivos custos de produção envolvidos, gerada pela escolha adequada das áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura prevista nos perímetros irrigados. Com isso, leva-se em consideração a renda bruta, obtida com a venda da produção agrícola, os custos de produção anual, o custo da água para irrigação e o custo de bombeamento da água.

Dessa maneira, a receita líquida em (R\$/ano) é dada pela Equação 4.2:

$$RL = \sum_{n=1}^{na} \left[\sum_{j=1}^{nc} Rb_j(n) - Cp_j(n) - Ca_j(n) - Cb_j(n) \right] \quad (4.2)$$

Em que:

n - indica o ano, $n=1,2,3,\dots,na$ (número de anos);

j - indica o tipo de cultura, $j=1,2,3,\dots,nc$ (número de culturas);

$Rb_j(n)$ - renda bruta anual da cultura j no ano n;

$Cp_j(n)$ - custo de produção anual da cultura j no ano n;

$Ca_j(n)$ - custo da água anual usada na cultura j no ano n;

$Cb_j(n)$ - custo anual de bombeamento de água para a cultura j no ano n.

O cálculo da renda bruta anual (Rb_j), em R\$/ano/cultura, pode ser estimado através da equação:

$$Rb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jk}(n) * Prc_j(n) * Ac_{jk}(n) \quad (4.3)$$

Em que:

k - indica a unidade de produção ou perímetro irrigado, $k = 1, 2, \dots, ni$, (ni = número de unidade de produção ou perímetro irrigado);

$Prod_{jk}(n)$ - produtividade da cultura j por unidade de área na unidade de produção ou perímetro irrigado k no ano n;

$Prc_j(n)$ - preço atual de comercialização da cultura j no ano n;

$Ac_{jk}(n)$ - área plantada com a cultura j na unidade de produção ou perímetro irrigado k no ano n.

O custo de produção anual (Cp_j), em R\$/ano/cultura, relativo aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, entre outros, é dado por:

$$Cp_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} C_{prod_{jk}}(n) * Ac_{jk}(n) \quad (4.4)$$

Em que:

$C_{prod_{jk}}(n)$ - custo atual de produção por unidade de área da cultura j referente aos gastos relativos ao ano n .

Para determinar o custo da água utilizada para a irrigação e seu bombeamento, é necessário estabelecer a quantidade de água alocada para irrigação, ou seja, a lâmina de rega. Inicialmente, calcula-se a necessidade hídrica máxima mensal desta planta para desempenhar as suas atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal (ETP_{jkt}) da cultura j na unidade de produção ou perímetro irrigado k durante o mês t , que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evaporação de referência no mês t na unidade de produção ou perímetro irrigado k ($ET0_{kt}$), obtida através da Equação 4.5:

$$ET0_{kt} = K_{tkt} * E_{vkt} \quad (4.5)$$

Em que:

K_{tkt} - coeficiente do tanque evaporimétrico da unidade de produção ou perímetro irrigado k no mês t ;

E_{vkt} - taxa de evaporação mensal de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A na unidade de produção ou perímetro irrigado k .

Com isso, a evapotranspiração potencial mensal (ETP_{jkt}) é expressa pela fórmula:

$$ETP_{jkt} = kc_{jt} * ET0_{kt} \quad (4.6)$$

Em que:

kc_{jt} - coeficiente de cultivo mensal da cultura j que reflete a sua necessidade hídrica no mês t .

Na determinação da lâmina de rega é necessário calcular a taxa de precipitação que infiltra no solo e que fica efetivamente à disposição das plantas, ou seja, a precipitação efetiva no mês t na unidade de produção ou perímetro irrigado k (Pe_{kt}) em mm/mês, que pode ser estimada para terrenos com declividades entre 4% e 5%, conforme especificações da FAO (1988) *apud* CURI e CURI (2001), pelas equações:

$$Pe_{kt} = 0,8 * P_{kt} - 25, \text{ para } P_{kt} \geq 75 \text{ mm} \quad (4.7)$$

$$Pe_{kt} = 0,6 * P_{kt} - 10, \text{ para } P_{kt} < 75 \text{ mm} \quad (4.8)$$

Em que:

P_{kt} - taxa de precipitação no mês t na unidade de produção ou perímetro irrigado k .

A necessidade hídrica suplementar (Nl_{jkt}) da cultura j , na unidade de produção ou perímetro k durante o mês t , ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita, para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser calculada por:

$$Nl_{jkt} = ETP_{jkt} - Pe_{kt} - G_{jkt} - W_{kt} \quad (4.9)$$

Em que:

G_{jkt} - dotação de água à zona radicular da cultura j durante o mês t por capilaridade (em mm) que depende do tipo de solo e do nível do lençol freático na unidade de produção ou perímetro k ;

W_{kt} - reserva de água no solo no início do mês t (em mm), que depende da capacidade de armazenamento de água no solo na unidade de produção ou perímetro k .

A quantidade de água a ser captada para cada tipo de cultura j dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação, ($Eirr_{jk}$), obtida pelo produto entre a eficiência do sistema de distribuição de água para cada unidade de produção ou perímetro k ($Esis_{jk}$) e da eficiência da aplicação da irrigação por cultura (Eap_j):

$$E_{irr_{jk}} = E_{ap_j} * E_{sis_{jk}} \quad (4.10)$$

A necessidade de lixiviação dos sais dissolvidos (LR_{jkt}) que se acumulam no solo cultivado é obtida em função da fração de água mínima que deverá percolar para lavar os sais, que, por sua vez, depende da quantidade de água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura j, no mês t, na unidade de produção ou perímetro irrigado. Rhoades e Merrill (1976) *apud* GOMES (1999) propuseram as seguintes equações para se determinar a LR_{jkt} :

- Para irrigação por inundação ou aspersão de baixa frequência:

$$LR_{jkt} = \frac{CE_{a_{kt}}}{5 * CE_j - CE_{a_{kt}}} \quad (4.11)$$

- Para irrigação de alta frequência, como gotejamento e microaspersão:

$$LR_{jkt} = \frac{CE_{a_{kt}}}{5 * CE_j} \quad (4.12)$$

Em que:

$CE_{a_{kt}}$ - condutividade elétrica da água de irrigação aduzida para unidade de produção ou perímetro k durante o mês t (em mohms/cm), medida a 25 °C;

CE_j - condutividade elétrica do extrato de solo saturado (em mohms/cm) e que acarreta uma determinada redução no rendimento potencial da cultura j.

Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura j na unidade de produção ou perímetro k durante o mês t ($Q_{irr_{jkt}}$), transformada em vazão por unidade de área fornecida pelo sistema, pode ser obtida por:

$$Q_{irr_{jkt}} = \frac{Nl_{jkt}}{(1 - LR_{jkt}) * E_{irr_{jk}}} \quad (4.13)$$

O custo da água anual, Ca_j (em R\$/ano/cultura), captada para a unidade de produção ou perímetro k é expresso pela seguinte equação:

$$Ca_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[\sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} Pra_k * Qirr_{jkt} * Ac_{jk} \right] \quad (4.14)$$

Em que:

Pra_k - preço da água por unidade de volume para a unidade de produção k.

O custo anual de bombeamento de água, Cb_j (em R\$/ano/cultura) para as culturas irrigadas é obtido através da Equação 4.15:

$$Cb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[\sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} \left(\frac{0,02726 * Prb_k * \Delta H_{jkt} * Qirr_{jkt} * Ac_{jk}(n)}{\eta_k} \right) \right] \quad (4.15)$$

Em que:

Prb_k - preço da energia (em R\$/Kwh) para a unidade de produção ou perímetro k;

ΔH_{jkt} - altura manométrica média (em mca), requerido pelo sistema de irrigação da cultura j e aduzido para a unidade de produção ou perímetro k no mês t;

η_k - eficiência do sistema de bombeamento da unidade de produção ou perímetro k.

4.2.3 Mão de Obra na Agricultura Irrigada

A maximização da mão de obra advinda da atividade agrícola nas unidades de produção ou nos perímetros irrigados é outra função objetivo sujeita também a restrições agronômicas. A solução desta operação é obtida multiplicando-se o número de diárias por hectare por cultura pela área plantada por cultura. A mão de obra total empregada MO (em diárias/ano) demandada nas unidades de produção ou nos perímetros irrigados é dada pela seguinte equação:

$$MO = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Hdc_{jk}(n) * Ac_{jk}(n) \quad (4.16)$$

Em que:

Hdc_{jk} - mão de obra, por unidade de área, requerida pela cultura j na unidade de produção ou perímetro k .

4.2.4 Adubação na Agricultura Irrigada

A minimização do uso de adubação química nas unidades de produção ou nos perímetros irrigados é outra função objetivo sujeito as mesmas restrições agronômicas. A quantidade total de adubação utilizada FERTI (em T/ano) requerida nas unidades de produção ou perímetros é dada pela equação a seguir:

$$FERTI = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Qferti_{jk}(n) * Ac_{jk}(n) \quad (4.17)$$

Em que:

$Qferti_{jk}$ - quantidade de adubação química (NPK), por unidade de área, requerida pela cultura j na unidade de produção ou perímetro k .

4.2.5 Defensivos na Agricultura Irrigada

A minimização do uso de defensivos químicos nas unidades de produção ou nos perímetros irrigados é outra função objetivo sujeito as mesmas restrições agronômicas. A quantidade total de defensivos utilizada DEF (em kg/ano) requerida nas unidades de produção ou perímetros é dada pela Equação 4.18:

$$DEF = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Qdef_{jk}(n) * Ac_{jk}(n) \quad (4.18)$$

Em que:

$Qdef_{jk}$ - quantidade de defensivos agrícolas, por unidade de área, requerida pela cultura j na unidade de produção ou perímetro k .

4.2.6 Volume Meta do Reservatório

O volume meta objetiva manter o volume de água do reservatório em certo nível para atender algumas demandas como controle de cheias, recreação, piscicultura ou geração de energia elétrica.

Outra função objetivo do modelo é minimizar o déficit entre o volume de água do reservatório no fim do mês t e o volume meta estabelecido neste mês (VMR), dado pela seguinte equação:

$$VMR = \sum_t \left(\frac{VRmeta(t) - VR(t)}{VRmeta(t)} \right)^2 \quad (4.19)$$

Em que:

VRmeta(t) - volume meta do reservatório no mês t ;

VR(t) - volume de água no reservatório no fim do mês t .

4.2.7 Função Multiobjetivo

A função multiobjetivo do modelo permite efetuar uma análise multiobjetivo através do Método das Ponderações e cada uma das funções objetivo tratadas nos itens anteriores, são normalizadas. Dessa forma, a função objetivo do modelo é dada pela equação:

$$\min f_0 = \omega_1 * DTDQ - \omega_2 * RL - \omega_3 * MO + \omega_4 * DEF + \omega_5 * FERTI + \omega_6 * VMR \quad (4.20)$$

Em que:

ω_i - coeficiente de ponderação que mede a relativa importância ou prioridade de atendimento dada a cada objetivo, $i = 1, 2, \dots, 6$. Quando $\omega_i = 0$ a função objetivo i não será considerada no processo de otimização;

DTDQ - demandas nas tomadas d'água do reservatório;

RL - receita líquida na agricultura irrigada;

MO - mão de obra na agricultura irrigada;

DEF - defensivos químicos utilizados na agricultura irrigada;

FERTI - fertilizantes químicos utilizados na agricultura irrigada;

VMR - volume meta do reservatório.

4.3 EQUAÇÕES DE RESTRIÇÕES

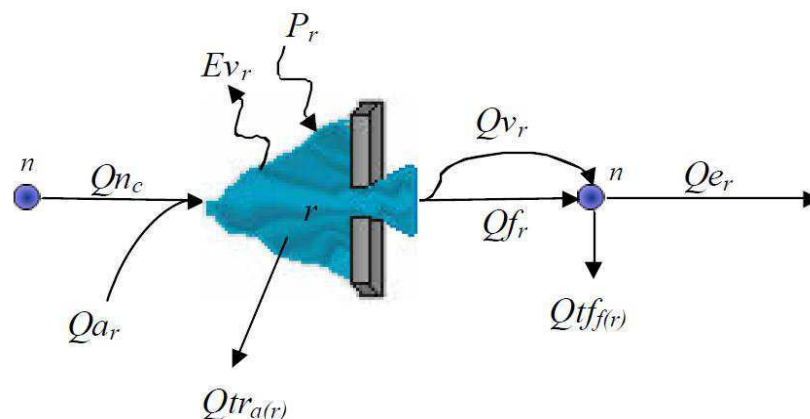
A seguir, serão detalhadas as principais equações de restrições relacionadas às limitações físicas, impostas ao sistema estudado.

4.3.1 Operação dos Reservatórios

Os reservatórios frequentemente são conectados a outros elementos do sistema tanto a montante (a um nó do sistema onde recebe vazões afluentes) como a jusante (descarregador de fundo, vertedouros e tomadas de água), como mostra a figura adiante.

A vazão em cada um destes componentes depende de seus parâmetros hidráulicos e do nível de água dos reservatórios.

Figura 4.1 – Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo.



Fonte: Santos (2007).

O reservatório tem diversos dados e equações associadas a ele. Dentre eles, ressaltam-se os de precipitação, evaporação, volume morto, capacidade máxima, volumes operativos, etc. Também se incluem as relações entre a cota da superfície do espelho líquido, a área desta superfície e o volume. Por outro lado, a cada mês t , deve ser realizado o balanço hídrico do reservatório, baseado no princípio de conservação da massa, para determinar a variação mensal do volume armazenado do reservatório, conforme a Equação 4.21:

$$VR_t(t) = VR_t(t - 1) + Qa_t(t) + \sum_{\alpha(r)} Qtr_{\alpha r}(t) - Qf_r(t) - Qv_r(t) + P_r(t) - Ev_r(t) + Qn_c(t) \quad (4.21)$$

Em que:

r - índice que representa o r-ézimo reservatório do sistema;

n - índice que representa o n-ézimo nó do sistema;

$VR_r(t)$ - volume do reservatório r no final do mês t;

$VR_r(t - 1)$ - volume do reservatório r no início do mês t;

$Qa_r(t)$ - vazão afluyente ao reservatório r durante o mês t;

a(r) - índice que representa a a-ézima tomada d'água do reservatório r;

f(r) - índice que representa a f-ézima tomada d'água de fundo do reservatório r;

$Qtr_{a(r)}(t)$ - a-ézima vazão de tomada d'água do reservatório r no mês t;

$Qtf_{f(r)}(t)$ - f-ézima vazão de tomada d'água de fundo do reservatório r no mês t;

$Qf_r(t)$ - vazão de descarga de fundo do reservatório r durante o mês t;

$Qv_r(t)$ - volume vertido do reservatório r durante o mês t;

$P_r(t)$ - volume precipitado no reservatório r durante o mês t;

$Ev_r(t)$ - volume evaporado no reservatório r durante o mês t;

$Qn_c(t)$ - vazão de entrada no reservatório r oriundo de contribuições da c-ézima calha (trecho) do rio a montante do reservatório r no mês t.

Dependendo das vazões afluentes, a alocação mensal de água do reservatório para os diversos usos, as áreas do espelho d'água, as cotas do nível de água e os volumes mensais de água do reservatório variam de mês a mês sendo, portanto, é necessário atualizá-los mensalmente. Para tanto, utilizam-se as relações cota área volume de cada um dos reservatórios.

O volume precipitado e evaporado no reservatório em cada mês t é dado pelas seguintes equações:

$$P_r(t) = p_r(t) * \left(\frac{AR_t(t) + AR_t(t - 1)}{2} \right) \quad (4.22)$$

$$E_r(t) = e_r(t) * \left(\frac{AR_t(t) + AR_t(t - 1)}{2} \right) \quad (4.23)$$

Em que:

p_r - taxa de precipitação para o reservatório r no mês t ;

e_r - taxa de evaporação para o reservatório r no mês t ;

$AR_r(t)$ - área do espelho d'água do reservatório r no final do mês t ;

$AR_r(t-1)$ - área do espelho d'água do reservatório r no início do mês t .

As atualizações mensais das cotas, áreas e volumes (Anexo A) também servem para que se estabeleçam limites para as tomadas d'água, descarregadores de fundo e extravasores.

A vazão a ser captada através das tomadas d'água está limitada a sua capacidade máxima e a cota da tomada d'água, de acordo com a expressão:

$$0 \leq Q_{tr_{\alpha(r)}}(t) \leq Q_{tr_{\max_{\alpha(r)}}}(t) \quad (4.24)$$

$$Q_{tr_{\alpha(r)}}(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq H_{tr_{\alpha(r)}} \quad (4.25)$$

Em que:

$Q_{tr_{\max_{\alpha(r)}}}$ - vazão máxima de captação pela α -ézima tomada d'água do reservatório r ;

$HR_r(t)$ - representa a cota do nível d'água do reservatório r no mês t ;

$H_{tr_{\alpha(r)}}$ - representa a cota da α -ézima tomada d'água no reservatório r .

As vazões extravasadas pelos vertedouros somente serão verificadas se, e somente se, as condições adiante forem satisfeitas:

$$0 \leq Q_{v_r}(t) \leq Q_{v_{\max_r}} \quad (4.26)$$

$$Q_{v_r}(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq H_{vert_r} \quad (4.27)$$

Em que:

$Q_{v_{\max_r}}$ - representa a vazão máxima vertida projetada para o reservatório r ;

H_{vert_r} - representa a cota da soleira do vertedor do reservatório r .

A vazão liberada pelo descarregador de fundo (Q_{f_r}) do reservatório r está limitada por uma vazão de descarga de fundo máxima ($Q_{f_{\max_r}}$) em cada mês t , sendo esta estimada pela equação abaixo, mencionada em DAEE (2005) *apud* SANTOS (2007):

$$Q_{fmax_r}(t) = C_{f_r}(t) * A_{f_r} * \sqrt{2g(HR_r(t) - H_{fs_r})} \quad (4.28)$$

Em que:

C_{f_r} - coeficiente de vazão de descarga de fundo do reservatório r;

A_{f_r} - área da seção transversal do tubo de descarga de fundo do reservatório r;

H_{fs_r} - cota de jusante da geratriz inferior do tubo de descarga de fundo do reservatório.

Na operação do reservatório, temos sempre um volume final $VR(t)$ e um volume inicial $VR(t - 1)$ e conseqüentemente, uma cota final e uma inicial, resultando em duas vazões descarregadas máximas, uma no início do mês e outra no final do mês. Portanto para minimizar esse problema decidiu-se trabalhar com a média das duas vazões calculadas. O volume de água do reservatório r está limitado por:

$$VR_{m_r}(t) \leq VR_r(t) \leq VR_{cap_r}(t) \quad (4.29)$$

Em que:

VR_{m_r} - volume morto do reservatório r.

De acordo com Curi e Curi (2001), para garantir a sustentabilidade hídrica do sistema é necessário que o volume final do reservatório seja igual ou maior que seu volume inicial. Para incorporar essa restrição ao problema, pode-se estabelecer que o volume mínimo do último mês seja igual ou superior ao volume inicial do reservatório.

4.3.2 Critérios Operacionais e Agronômicos

Outros aspectos relacionados com a agricultura irrigada são as restrições físicas e operacionais do sistema. Entre as restrições físicas pode-se destacar a área a ser irrigada em cada unidade de produção ou perímetro, a vazão a ser captada para a unidade de produção ou perímetro e a não negatividade das variáveis. Com relação às restrições de ordem operacional destacam-se os critérios agronômicos e de mercado.

As restrições impostas pela capacidade do canal ou do sistema de adução, por onde a água será transportada até as respectivas unidades de produção ou perímetro irrigado, são representadas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} Q_{irr_{jkt}} * A_{c_{jk}} \leq Q_{tmax_k} \quad (4.30)$$

Em que:

Q_{tmax_k} - é a capacidade mensal da vazão do sistema de captação para a unidade de produção ou perímetro k.

Para se estabelecer os limites superiores da capacidade de vazão para cada sistema adutor, calcula-se a vazão máxima com os dados dos conjuntos locais de sistema motobomba, como é mostrado a seguir:

$$Q_{tmax_k} = 3,6 * nh_k * nb_k * V_{bcap_k} \quad (4.31)$$

Em que:

nh_k - número de horas médias mensais de trabalho do sistema de captação de água para a unidade de produção ou perímetro k;

nb_k - número de moto bomba do sistema adutor para a unidade de produção ou perímetro k, com iguais capacidades de elevação de altura manométrica e vazão;

V_{bcap_k} - vazão média mensal aduzida de caba bomba do sistema adutor para a unidade de produção ou perímetro k.

As restrições quanto ao limite máximo mensal de área que poderá ser plantada por unidade de produção ou perímetro em cada mês, estão contidas na equação adiante:

$$\sum_{j=1}^{nc} \xi_{jkt} * A_{c_{jk}}(n) \leq A_{pmax_{kt}} \quad (4.32)$$

Em que:

$A_{pmax_{kt}}$ - limite máximo da área total que poderá ser plantada na unidade de produção ou perímetro k no mês t. Sendo:

- $\xi_{jkt} - 1$, se a cultura j for plantada no mês t na unidade de produção ou perímetro k;
- $\xi_{jkt} - 0$, se a cultura j não for plantada no mês t na unidade de produção ou perímetro k.

Com relação aos critérios agrônômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos das áreas a serem plantadas para cada tipo de cultura por unidade de produção ou perímetro irrigado, de acordo com a Equação 4.33:

$$Acmin_{jk}(n) \leq Ac_{jk}(n) \leq Acmax_{jk} \quad (4.33)$$

Em que:

$Acmin_{jk}$ - área mínima a ser plantada com a cultura j por unidade de produção ou perímetro k no ano n;

$Acmax_{jk}$ - área máxima a ser plantada com a cultura j por unidade de produção ou perímetro k no ano n.

4.3.3 Análise da Implementação do Modelo

O Artificio de Linearização por Segmentos garante, para a minimização de uma função convexa, que os trechos segmentados da variável de decisão sejam “percorridos” inicialmente pelos primeiros trechos, para então ser percorrido pelos próximos trechos.

Contudo, observou-se que em certos casos isso não ocorre, ou seja, para a modelagem proposta, pode haver combinações dos valores dos trechos segmentados do volume de água do reservatório em um mês t que resultem em um volume de água armazenado no reservatório (volume este incorreto) de modo que alguma demanda ou restrição imposta possa ser atendida ou auxiliada por esse procedimento (SANTOS, 2007).

Isso ocorre devido ao caráter multiobjetivo do modelo, onde o atendimento de determinada demanda do sistema tenha maior prioridade do que o volume meta do reservatório. Assim, por exemplo, quando o sistema estiver em um período crítico (como um ano seco ou no atendimento de demanda muito alta, por exemplo), para se garantir o atendimento das demandas com prioridade maior do que o volume meta do reservatório r, o volume evaporado pode ser diminuído preenchendo os últimos trechos segmentados do volume de água do reservatório, para curva área-volume convexa, pois as declividades dos últimos trechos segmentados são menores do que os primeiros trechos, o que resultará em um menor valor da área do espelho d’água do reservatório e conseqüentemente no volume evaporado garantindo assim uma maior quantidade de água para o suprimento das demandas.

Para contornar tal problema é utilizado um procedimento iterativo do uso da PL, denominado Programação Linear Sequencial (ou Sucessiva) onde em cada iteração os trechos

segmentados do volume do reservatório são ajustados de modo a resultarem em um volume de água armazenado de forma correta.

Logo na primeira otimização ($l = 1$) os valores de cada trecho segmentado podem estar corretos, indicando assim a solução ótima do problema. Porém quando isso não ocorre, para uma boa aceitação dos resultados, além da verificação dos valores dos trechos segmentados, são analisados os valores calculados para a função objetivo f_0 , sendo avaliado através do erro relativo (erro_{f_0}), dado pela Equação 4.34:

$$\text{erro}_{f_0} = \left| \frac{f_{0l} - f_{0l-1}}{f_{0l}} \right| \leq \text{tol} \quad (4.34)$$

Em que:

l - indica o numero de vezes que está sendo aplicado o processo de otimização em Programação Linear ($l \geq 2$);

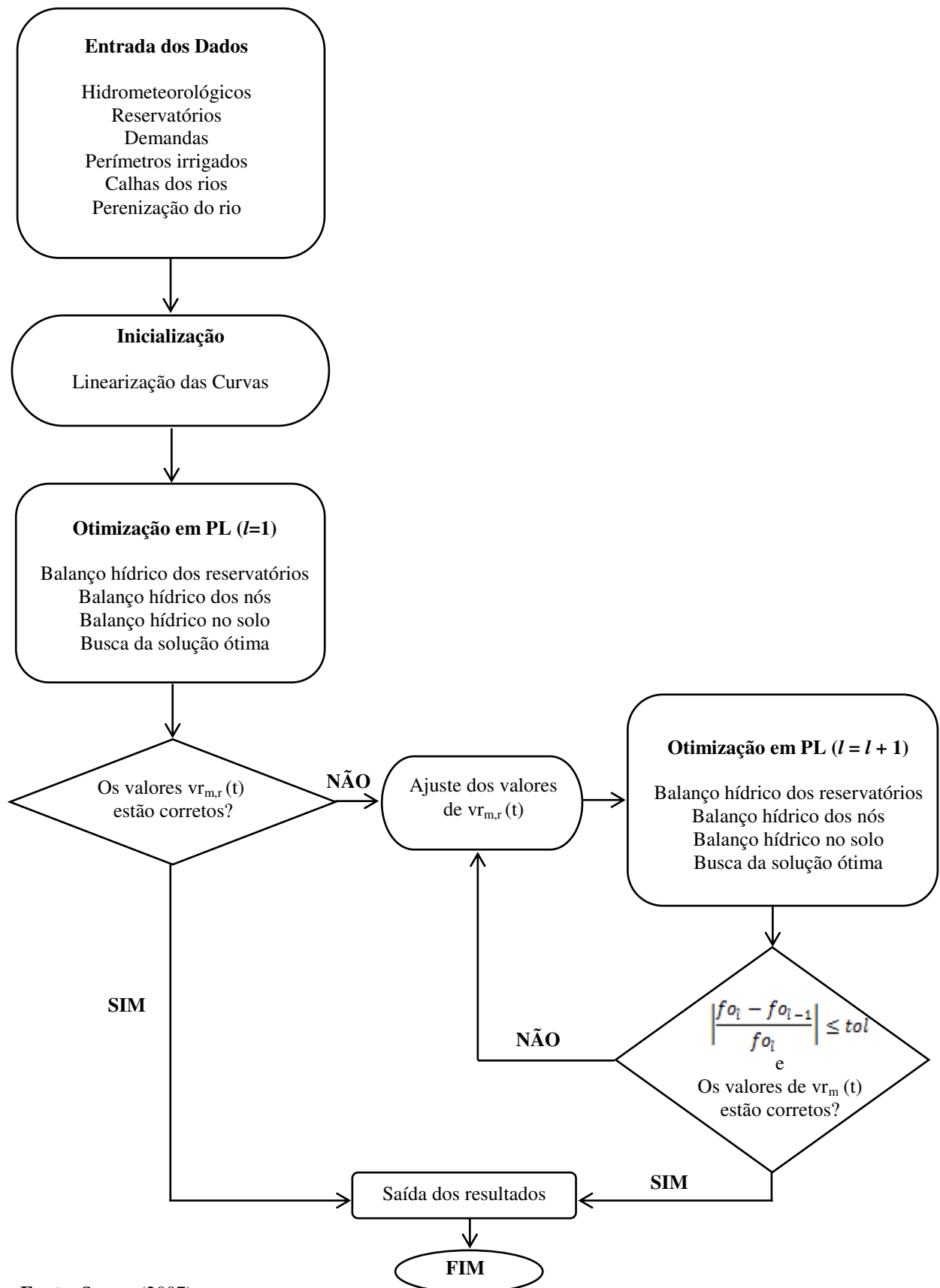
f_{0l} - valor da função objetivo para a l -ésima otimização.

O Erro relativo (erro_{f_0}) deve respeitar a tolerância (tol) especificada para o sistema a ser otimizado. Para esta pesquisa, está sendo analisada uma tolerância da ordem de 10^{-8} .

É importante ressaltar que as saídas do modelo, que possibilitam extensivas análises de desempenho do sistema hídrico em estudo, são os valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria por reservatório, vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio; vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocada por cultura e por perímetro, receita líquida anual auferida por cultura em cada perímetro (SANTOS, 2007).

O fluxograma geral do modelo está apresentado na Figura 4.2 a seguir:

Figura 4.2 – Fluxograma geral do modelo de otimização.



Fonte: Santos (2007).

4.4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA

Os indicadores são ferramentas que permitem a obtenção de informações sobre uma dada realidade. A sua principal característica é a de poder sintetizar um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados.

Segundo Marzall e Almeida (1999) *apud* ALENCAR (2009), um indicador deve fornecer uma resposta imediata às mudanças ocorridas ou provocadas em um sistema, deve permitir um enfoque integrado, relacionando-se com outros indicadores, ser de fácil aplicação, compreensível, dirigido ao usuário, útil e significativo para o propósito a que se dirige. A visão clara do objetivo (sustentabilidade do sistema) é que irá estabelecer o processo de interpretação dos resultados obtidos com a leitura do indicador.

Os indicadores auxiliam na análise do desempenho do sistema hídrico, fornecem informações sobre possíveis problemas, além de darem suporte para os decisores realizarem suas escolhas. Em relação aos indicadores de sustentabilidade para as atividades de agricultura irrigada, eles podem apontar ou não para a viabilidade dessa atividade dentro do sistema.

Ainda de acordo com Marzall e Almeida (1999), um dos aspectos críticos é a metodologia a ser adotada tanto para a determinação do indicador quanto para sua leitura e interpretação. Independente da escolha, esta deve ser clara e transparente, não deixando dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo.

Uma avaliação tem por objetivo caracterizar e acompanhar um dado sistema, dentro de uma realidade conceitual, e dessa forma permitir:

- A quantificação de fenômenos complexos;
- A simplificação dos mecanismos e lógicas atuantes na área considerada;
- A determinação de como as ações humanas está afetando seu entorno;
- Alertar para as situações de risco e consequente mobilização dos atores envolvidos;
- Prever situações futuras; e
- Informar e guiar decisões políticas.

Nesta pesquisa avaliou-se o comportamento e a viabilidade do uso otimizado dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), determinando seus indicadores de sustentabilidade e eficiência no uso dos recursos hídricos e indicadores de eficiência associados à agricultura irrigada.

4.4.1 Indicadores de Sustentabilidade

Hashimoto *et al.* (1982) estabeleceram os indicadores Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade para análise do desempenho e sustentabilidade de sistemas, com relação ao risco no atendimento de demandas de abastecimento, que podem perfeitamente ser adequados à sistemas de recursos hídricos.

- **Confiabilidade**

A Confiabilidade expressa a percentagem de tempo em que o sistema permanece funcionando sem apresentar falhas. Ou seja, é a probabilidade de funcionamento sem falhas de atendimento às demandas.

$$\text{Conf} = \frac{N_s}{N} \quad (4.35)$$

Em que:

N_s - Número de sucessos;

N - Número de períodos de tempo simulados.

- **Resiliência**

A resiliência avalia a média da velocidade em que o sistema retorna a um estado satisfatório de atendimento às demandas. Em alguns casos, é preferível um sistema que apresente muitas falhas, mas que se recupere rapidamente, do que um que tenha poucas falhas, mas que demore a se recuperar.

É expresso como o número de vezes em que o sistema saiu de uma falha e o número de falhas ocorridas no período.

$$\text{Res} = \frac{\text{Número de vezes que sai de uma falha}}{\text{Número total de falhas}} \quad (4.36)$$

- **Vulnerabilidade**

O indicador vulnerabilidade mede a magnitude das falhas, caso estas tenham ocorrido.

$$\text{Vul} = \frac{\sum \text{Percentual da falha } i \text{ no atendimento a demanda}}{\text{Número total de falhas}} \quad (4.37)$$

4.4.2 Indicadores de Eficiência dos Reservatórios

Os indicadores utilizados na avaliação da eficiência dos reservatórios foram extraídos de Curi e Curi (2004). Estes indicadores relacionam a potencialidade, a disponibilidade e as demandas de um sistema hídrico.

- **Índice de Ativação da Potencialidade (IAP)**

O IAP é expresso como a razão entre a disponibilidade e a potencialidade. Este índice traduz o percentual de água utilizado em relação à totalidade de água disponível na bacia.

$$\text{IAP} = \frac{\text{Disponibilidade}}{\text{Potencialidade}} \quad (4.38)$$

- **Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD)**

O IUD é definido como a razão entre a demanda e a disponibilidade. Os valores de IUD superiores à unidade são uma preocupação em termos de alocação de água, pois nos anos com pouca pluviometria, a pressão por disponibilidades para usos consuntivos, advinda de interesses econômicos e políticos será certamente geradora de conflitos de uso.

$$\text{IUD} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Disponibilidade}} \quad (4.39)$$

- **Índice de Utilização da Potencialidade (IUP)**

É definido como a razão entre a demanda e a potencialidade. Também pode ser obtido com o produto de IAP e IUD.

$$\text{IUP} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Potencialidade}} \quad (4.40)$$

- η_{Vr}

Expressa a variabilidade volumétrica do reservatório e o volume total afluente. Indica a variabilidade inter ou intra-anual do volume do reservatório. Valores negativos indicam depleção e positivos, o acúmulo de água no reservatório.

$$\eta_{Vr} = (V_{r\text{final}} - V_{r\text{inicial}}) / (\Sigma Q_{at} + \Sigma P_t) \quad (4.41)$$

- η_E

Traduz a eficiência quanto ao armazenamento da água, pois corresponde a relação entre a evaporação total da superfície do reservatório e o volume total afluente. Pode fornecer informações sobre a relação entre a área do espelho d'água e a profundidade do reservatório.

$$\eta_E = \Sigma Et / (\Sigma Qat + \Sigma Pt) \quad (4.42)$$

- η_P

Indica o percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório, pois relaciona a precipitação direta total sobre a bacia hidrográfica do reservatório e o volume total afluente. Pode, implicitamente, fornecer informações quanto à área do espelho d'água do reservatório.

$$\eta_P = \Sigma Pt / (\Sigma Qat + \Sigma Pt) \quad (4.43)$$

- η_V

Estabelece a eficiência quanto ao armazenamento da água ou capacidade relativa do reservatório. Indica quanto o reservatório desperdiça da água afluente por vertimento.

$$\eta_V = \Sigma Qvt / (\Sigma Qat + \Sigma Pt) \quad (4.44)$$

- η_e

É a relação entre o volume total de água utilizado (descarregadores, tomadas d'água) e o volume total afluente. Estabelece a eficiência quanto ao uso da água. Altos valores do η_e indicam que existem poucos desperdícios no sistema.

$$\eta_e = \Sigma Qut / (\Sigma Qat + \Sigma Pt) \quad (4.45)$$

4.4.3 Indicadores de Desempenho das Áreas Irrigadas

De acordo com Brito (1986) diversos fatores contribuem para o desempenho dos perímetros irrigados, sejam eles técnico-econômicos ou sociais. Um dos aspectos primordiais

na análise desses fatores é a possibilidade de monitorá-los, o que significa transformá-los, de algum modo, em parâmetros mensuráveis. O nível desse monitoramento deverá estar situado entre o “desejável” e o “viável”, considerando-se, para isso, o padrão da avaliação que se pretende proceder e os custos operacionais necessários à medição dos indicadores.

Os indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas, descritos a seguir, foram mencionados em Celeste (2006) e Alencar (2009).

- **Fornecimento Relativo de Água (FRA)**

O Fornecimento Médio de Água relaciona o suprimento total de água, ou seja, o volume fornecido através da irrigação (V_f) mais precipitação efetiva (P_e), com a demanda hídrica das culturas (ETP).

$$FRA = \frac{V_f + P_e}{ETP} \quad (4.46)$$

Em que:

V_f - Volume fornecido na área irrigada (m^3);

P_e - Precipitação efetiva (m^3);

ETP - Evapotranspiração potencial das culturas (m^3).

- **Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI)**

Este indicador expressa apenas o volume fornecido através da irrigação (V_f), sem considerar a precipitação efetiva (P_e) com a demanda de água das culturas ($ETP - P_e$). Indica o percentual de água utilizado para atender a necessidade hídrica da cultura.

$$FRI = \frac{V_f}{ETP - P_e} \quad (4.47)$$

- **Razão Global de Consumo (RGC)**

O índice RGC está intimamente relacionado com o manejo de água e com o nível tecnológico da infraestrutura de irrigação do projeto. O volume de água fornecido ao projeto é determinado como uma função do uso consuntivo das culturas. Em outras palavras, a água fornecida que poderia adequadamente alcançar as necessidades das culturas no projeto. A razão global de consumo quantifica a fração da irrigação evapotranspirada pelas culturas no balanço hídrico da área irrigada.

$$RGC = \frac{ETP - Pe}{Vf} \quad (4.48)$$

- **Fornecimento Médio de Água (FMA)**

Conforme Brito *et al.* (1998), a definição em termos de volume por hectare, dá uma indicação sobre a quantidade de água que está sendo utilizada para produzir um hectare de área cultivada. A equação do fornecimento médio de água as áreas irrigadas do sistema é obtido conforme a expressão a seguir:

$$FMA = \frac{Vf}{\text{Área Irrigada}} \quad (4.49)$$

- **Capacidade de Uso das Instalações (CUI)**

O indicador de Capacidade de Uso das Instalações (CUI) relaciona o percentual de área irrigada pela área do perímetro.

$$CUI = \frac{\text{Área Irrigada}}{\text{Área Total do Perímetro}} \quad (4.50)$$

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

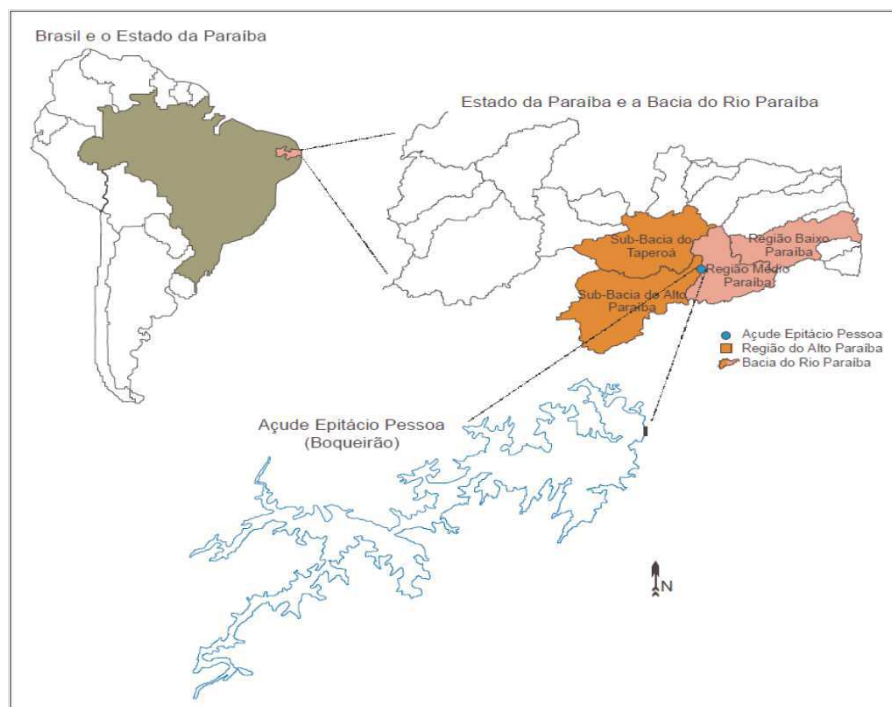
5.1.1 Características Gerais

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba é um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semiárido nordestino. Corresponde a segunda maior bacia do Estado, compreendendo 35,7% do território estadual, drenando uma área de 20.127,17 km² (VIEIRA, 2008).

Totalmente inserida no Estado da Paraíba, a bacia possui diversidade de clima e características físicas, além de uma grande extensão geográfica, sendo dividida em quatro sub-regiões, a saber: as regiões hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba e a sub-bacia do rio Taperoá.

A área de estudo, caracterizada por apresentar baixas precipitações pluviométricas e elevadas taxas evaporativas, encontra-se geograficamente localizada entre as coordenadas 07°28'04'' e 07°33'32'' de latitude sul, 36°08'23'' e 36°16'51'' de longitude oeste, a 420 m de altitude.

Figura 5.1 – Mapa de localização do açude público Epitácio Pessoa (Boqueirão).



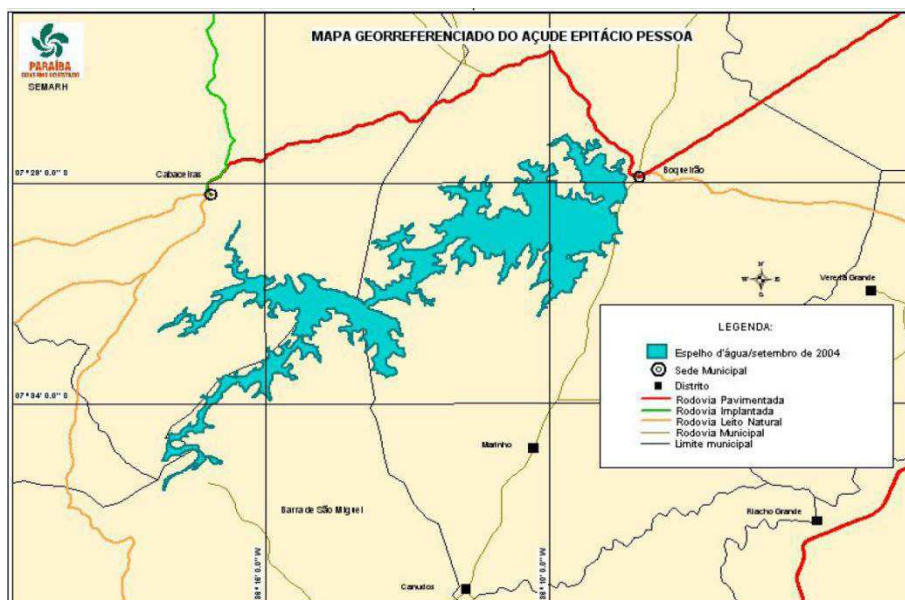
Fonte: Melo (2005).

Situada a oeste da capital João Pessoa, PB, a cerca de 45 km da cidade de Campina Grande, PB, a área de estudo possui mais de 500 irrigantes cadastrados e cinco mil pessoas que dependem diretamente da irrigação (AIAB, 2013). O volume mensal retirado para a irrigação é de aproximadamente $0,95 \text{ m}^3/\text{s}$ (RÊGO *et al.*, 2012).

As demandas hídricas consideradas na área de estudo dizem respeito ao abastecimento urbano de todo o compartimento da Borborema, abrangendo uma população aproximada de 506.734 habitantes (SEMARH, 2006) e a irrigação de uma área total estipulada em 1.700 hectares, com culturas anuais e perenes, nas margens do reservatório Epitácio Pessoa. As demandas de abastecimento urbano, estabelecidas nesta pesquisa, foram estimadas para um horizonte de 10 anos (2012-2021) tendo como base um estudo realizado pela Agência de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba (AAGISA, 2004), como mostra o Anexo B.

Segundo estudos produzidos por Rêgo *et al.* (2012), a retirada mensal total de água para consumo, composta pela soma das demandas de abastecimento urbano com as demandas para irrigação, atingiu o valor de $2,39 \text{ m}^3/\text{s}$, com retirada mensal para o abastecimento do Sistema de Campina Grande - SACG ($1,29 \text{ m}^3/\text{s}$), retirada mensal para o abastecimento do pequeno Sistema do Cariri - SAC ($0,15 \text{ m}^3/\text{s}$) e retirada mensal para a irrigação ($0,95 \text{ m}^3/\text{s}$).

Figura 5.2 – Espelho d’água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) em setembro de 2004.



Fonte: SEMARH (2004) *apud* VIEIRA (2008).

A bacia de contribuição do reservatório Epitácio Pessoa cobre uma área de 12.410 km^2 , sendo atualmente sua capacidade de acumulação de aproximadamente $411.686.287 \text{ m}^3$ na cota 361 m (SEMARH, 2004; DNOCS, 2007). Trata-se de um reservatório de grande

importância socioeconômica para a região polarizada pela cidade de Campina Grande, PB, além de ser responsável pelo abastecimento de outras comunidades localizadas no compartimento da Borborema.

Rêgo *et al.* (2000) ressaltam que durante a ocorrência da seca de 1997-1999, diante da ameaça de colapso total do abastecimento urbano, representado pelo baixo nível a que ficou reduzido o volume d'água acumulado no açude Epitácio Pessoa, foi necessário a implantação de um regime de racionamento da distribuição de água, que teve início no segundo semestre de 1998 e prolongou-se até os primeiros meses do ano 2000. Ao racionamento seguiu-se a suspensão, por medida judicial, da irrigação que vinha sendo praticada, sem nenhum controle técnico, nas margens do açude e o fechamento da comporta de descarga de fundo. Porém, depois de sucessivas cheias, a partir do ano de 2004, há uma pressão para o retorno das atividades agrícolas no entorno do açude (Figura 5.3).

Figura 5.3 – Áreas irrigadas com as culturas do pimentão e tomate ao fundo, no município de Boqueirão - PB (abril, 2012).



Fonte: Arquivo pessoal.

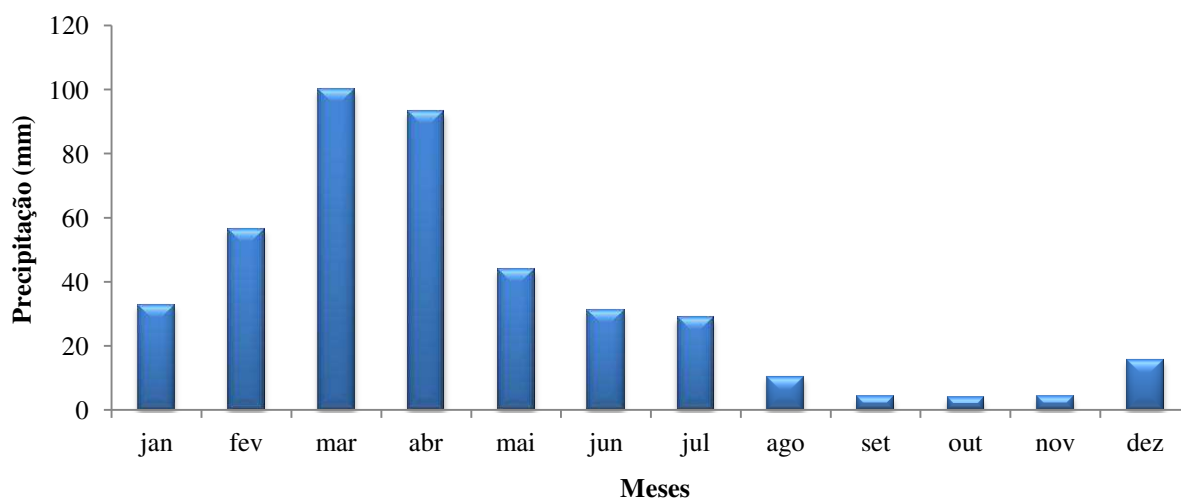
A região da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa apresenta como características hidrológicas uma pluviometria média anual de 661 mm e deflúvio médio anual de $138 \times 10^6 \text{ m}^3$ (DNOCS, 2007). A estimativa da vazão de regularização do reservatório,

segundo estudos realizados por Collischonn (2009), foi de 1,85 m³/s, para uma garantia mensal de 100% de atendimento.

De acordo com Galvêncio *et al.* (2006), no que tange a hidrografia da bacia do açude de Boqueirão, é pobre em seus amplos aspectos, de maneira que as condições hídricas são insuficientes para suprir o escoamento dos rios nos longos períodos de ausência de precipitação. Seus cursos de água são irregulares, de características intermitentes, onde a água superficial desaparece durante o período de estiagens.

A Figura 5.4 apresenta a distribuição das chuvas médias mensais para a região da bacia hidrográfica do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), abrangendo um período hidrológico de 40 anos (1963-2003). O Anexo D apresenta os postos pluviométricos que exercem influência na bacia hidrográfica do reservatório de Boqueirão, localizados no interior e na vizinhança do contorno da bacia hidrográfica.

Figura 5.4 – Distribuição das chuvas médias mensais para a região da bacia hidrográfica do reservatório de Boqueirão.



Fonte: AAGISA (2004).

5.1.2 Conflitos Pelo Uso das Águas do Açude Epitácio Pessoa

Na Paraíba, o DNOCS construiu dezenas de açudes, dentre os quais o Epitácio Pessoa, mais conhecido por açude de Boqueirão. Construídos com recursos financeiros da União, a obra foi iniciada em 1951, finalizada em 1956 e inaugurada em janeiro de 1957. O atual órgão gestor deste manancial continua sendo o mesmo que o construiu, o qual é responsável pela

manutenção da barragem, pelo sistema hidromecânico e também por trabalhos sociais (BRITO e VIANNA, 2008).

O açude Epitácio Pessoa foi construído com o objetivo de ter usos múltiplos, a princípio com a finalidade de geração de energia e irrigação. No ano seguinte a sua inauguração, em função de uma crise de abastecimento na cidade de Campina Grande - PB, foi construída a primeira adutora para atender o abastecimento urbano. No mesmo momento procurou-se a perenização da calha a jusante do Rio Paraíba e, também, o desenvolvimento de atividades como piscicultura, turismo e lazer. Atualmente, com exceção da geração de energia e perenização do Rio Paraíba, todas as atividades supracitadas são desenvolvidas simultaneamente com as águas do referido manancial, produzindo inúmeros problemas relativos às demandas de água e gerando conflitos em face da necessidade de diferentes atores de captar para uso e consumo, a água do mesmo reservatório, o qual apresenta limitações sazonais, o que o impossibilita atender a todas as solicitações.

De acordo com Rêgo *et al.* (2012), em 1998, surgiu a primeira ameaça concreta de colapso do abastecimento, quando o volume armazenado naquele reservatório atingiu níveis mínimos ameaçadores, após uma série de anos pouco chuvosos, com destaque para as severas secas de 1993 e de 1998. A cidade sofreu seu primeiro racionamento d'água de outubro de 1998 a março de 1999. Dois outros episódios de racionamento ainda aconteceriam nos anos seguintes, o último deles encerrando-se em março de 2002, mas a situação só voltou à normalidade em janeiro de 2004, quando o açude recuperou seus níveis normais de operação e voltou a extravasar.

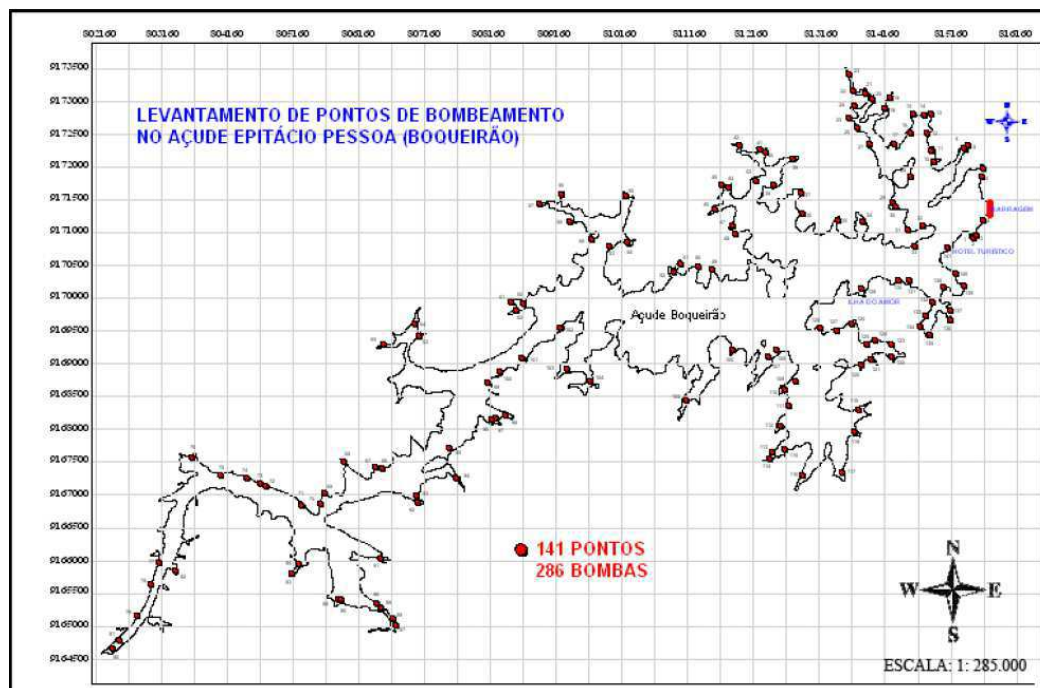
Além do racionamento do abastecimento urbano de água, outro fato marcante daquele período crítico foi a suspensão judicial seguida de proibição da prática da irrigação descontrolada às margens do açude, cujo consumo ultrapassava, em alguns meses, toda a demanda de abastecimento humano atendida pelo reservatório.

No dia 06/11/1998 a Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais - SEMARH, solicitou junto ao Ministério Público da Paraíba, por intermédio da Procuradoria de Justiça, a intervenção para proibir terminantemente, sob pena de descumprimento de ordem legal e violação da lei, o uso d'água do manancial para irrigação, posto que, além de preservar às águas restantes para o consumo humano, evitar poluição letal com o uso indiscriminado de agrotóxicos e de adubação química (BRITO e VIANNA, 2008).

No dia 17/11/1998, foi decretada administrativamente a suspensão da utilização das águas do açude de Boqueirão para os projetos de irrigação instalados no seu entorno, a partir do dia 01/12/1998, tendo os trabalhos iniciados com o lacre das motobombas.

Segundo levantamento batimétrico realizado naquele mesmo ano pelo Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS/SEMARH foram cadastrados 141 pontos de bombeamento, nas margens do açude Epitácio Pessoa existindo em muitos deles, mais de uma bomba em operação, o que totalizava 286 unidades de bombeamento, naquela oportunidade, conforme ilustra a Figura 5.5 a seguir.

Figura 5.5 – Levantamento de pontos de bombeamento para irrigação no açude público Epitácio Pessoa (Boqueirão).



Fonte: SEMARH/LMRS (2001).

A decisão do Ministério Público de suspender toda e qualquer irrigação e determinar que a água do açude passasse a ser usada única e exclusivamente para o consumo humano e dessedentação de animais repercutiu de imediato nos municípios instalados à montante da barragem do açude Epitácio Pessoa: Boqueirão, Cabaceiras e Barra de São Miguel, e, sobretudo, nas comunidades instaladas na zona rural lindeiras ao reservatório, as quais desenvolvem culturas de subsistência e comercial, utilizando-se exatamente da água do açude.

Com isso o conflito foi instalado entre os agricultores, que se sentem prejudicados pela Ação Judicial, cujo interessado, o Estado, representando em tese as comunidades urbanas

instaladas à jusante do açude, que utilizam água, através da CAGEPA, não apenas para o consumo humano, mas também para a produção de bens pelas indústrias, além do setor de serviços que continuam beneficiados com o abastecimento de água do referido manancial. Não houve um racionamento específico para os setores industrial e de serviços, pelo contrário, dados levantados posteriormente, indicam que a principal indústria de Campina Grande não foi submetida ao racionamento, que afetou a população.

Outra situação potencialmente conflitante são as construções irregulares que foram edificadas dentro da Área de Preservação Permanente (APP). Segundo a resolução nº 302 do CONAMA, a Área de Preservação Permanente nos açudes nesta situação, corresponde à largura mínima, em projeção horizontal, em torno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível normal do reservatório, de 30 metros para os reservatórios situados em áreas urbanas consolidadas e 100 metros para as áreas rurais. Em 2004 o DNOCS fez um levantamento das edificações em Área de Preservação Permanente nas margens do açude Epitácio Pessoa, para a distância de 100 m. Na ocasião foram levantados os seguintes dados: ocupação da área; a localização; qualificadas a área do terreno e área construída. Naquela ocasião foi feito o georreferenciamento (latitude, longitude e altura) dos imóveis, como: residências, piscinas, áreas de lazer, currais, pocilgas, estábulos e outras obras rurais e a finalidade dessas áreas, como também, aferido o padrão das construções e a situação fundiária. O relatório, resultado do citado levantamento, apresentou que foram detectados 552 pontos de edificações na Área de Preservação Permanente, correspondente a um perímetro molhado de 198 km, caracterizando todas estas construções como irregulares (BRITO e VIANNA, 2008).

Outros problemas de irregularidades identificados pelo referido relatório foram:

- Empresas informais, localizadas na área de preservação, no que diz respeito à guarda e manutenção de barcos de passeios turísticos;
- Imóveis de alto padrão, sem infraestrutura hidrossanitária;
- Pocilgas, currais e aviários, localizados a poucos metros da margem do açude;
- Uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes químicos nas áreas irrigadas;
- Concessões feitas com finalidades agrícolas, usadas para lazer.

Rêgo *et al.* (2000) analisaram vários aspectos ligados a esses acontecimentos, destacando a participação da sociedade e apontando a completa inexistência de gestão dos recursos hídricos como razão fundamental para a crise.

Ao longo do ciclo de anos chuvosos na região, reestabelecido a partir de 2004, foram, aos poucos, enfraquecendo e rareando as atitudes tomadas e as ações empreendidas, durante e logo após a crise, para a implantação de um manejo efetivo do açude, isoladamente ou, conforme se espera, no contexto ampliado da gestão dos recursos hídricos da bacia onde está contido. Com a estiagem novamente evidenciada e instalada a partir do mês de março de 2012, retornaram as expectativas com relação à segurança hídrica da população abastecida pelo açude Epitácio Pessoa.

5.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Para realizar uma boa avaliação e análise do comportamento do sistema hídrico, formado pelo açude público Epitácio Pessoa (Boqueirão), suas áreas irrigadas e seus manejos agrícolas de produção convencional e orgânica, foi proposta a criação de cenários otimizantes, visando estudar as condições de operação ótima e conjunta do sistema.

Neste tópico serão descritos os 3 cenários idealizados para avaliação do desempenho da área de estudo.

5.2.1 Cenário 1 (C1)

Neste cenário é realizado um planejamento agrícola somente com as culturas perenes selecionadas neste estudo (mamão, banana, limão, goiaba e coco), para obtenção das áreas máximas alocadas com cada cultivo, maximização das receitas líquidas auferidas com as culturas irrigadas, maximização da mão de obra utilizada nos perímetros irrigados e a minimização do uso de agroquímicos, além da verificação do atendimento de demandas de abastecimento urbano e volume meta do reservatório.

O objetivo do estudo deste cenário é verificar o potencial de utilização dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa em anos com ocorrência de períodos de secas, a rentabilidade e o potencial de produção no cultivo de culturas perenes, tendo como base a utilização de uma série pluviométrica de 10 anos (1995-2004), sob o manejo convencional.

Para análise do potencial de utilização dos recursos hídricos do reservatório e da rentabilidade dos cultivos perenes no Cenário 1, foram determinadas as produtividades mínimas para cada cultura, estabelecidas para o período seco analisado (1995-2004), tendo como base a utilização do déficit hídrico tolerável e o fator de resposta das culturas (ky).

Tabela 5.1 – Fator de resposta (ky), déficit hídrico tolerável e o rendimento das culturas perenes no período seco do Cenário 1.

Culturas	ky	Déficit Hídrico Tolerável (%)	Produtividade (kg/ha)
Mamão	1,45	20	10650
Banana	1,27	30	24760
Limão	0,95	25	22875
Goiaba	1,20	30	11520
Coco	0,80	30	30400

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

O fator de resposta da cultura (ky) relaciona a queda de produtividade ($1 - Y_r/Y_m$) com o déficit de evapotranspiração relativa ($1 - E_{Tr}/E_{Tm}$). Um déficit hídrico de certa magnitude, expresso como a relação entre a evapotranspiração real (E_{Tr}) e a evapotranspiração máxima (E_{Tm}) pode ocorrer tanto de forma contínua durante todo o período de crescimento da cultura como durante em qualquer uma das fases específicas de crescimento, isto é, fase de estabelecimento, crescimento vegetativo, floração, formação da colheita ou de maturação (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = ky * \left(1 - \frac{E_{Tr}}{E_{Tm}}\right) \quad (5.1)$$

Em que:

Y_r - produtividade real;

Y_m - produtividade máxima;

ky - coeficiente de resposta da cultura;

E_{Tr} - evapotranspiração real;

E_{Tm} - evapotranspiração máxima.

5.2.2 Cenário 2 (C2)

No Cenário 2 as análises para obtenção dos resultados ótimos são realizadas com as culturas sazonais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) mais as culturas perenes estabelecidas no Cenário 1.

O objetivo do estudo deste cenário é analisar o comportamento hídrico do açude de Boqueirão no atendimento de demandas de abastecimento urbano e volume meta do reservatório, utilizando uma série pluviométrica normal de 10 anos (1976-1985), além de análises relacionadas aos perímetros irrigados como: alocação das áreas das culturas agrícolas exploradas, maximização das receitas líquidas, maximização da mão de obra utilizada nas áreas irrigadas e a minimização do uso de defensivos e fertilizantes empregados, sob o sistema de produção convencional.

5.2.3 Cenário 3 (C3)

Para este cenário, operado sob o sistema de manejo orgânico, as análises otimizantes e comparativas são realizadas com as culturas sazonais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) além das culturas perenes calculadas no Cenário 1.

O objetivo do estudo do Cenário 3 é avaliar o comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) quanto ao atendimento das demandas de abastecimento urbano e volume meta do reservatório, utilizando uma série pluviométrica normal de 10 anos (1976-1985), além da realização de análises relacionadas com a agricultura irrigada, compreendendo os seguintes critérios, tais como: alocação das áreas das culturas cultivadas, maximização das receitas líquidas auferidas com as culturas e a maximização da mão de obra empregada nos perímetros irrigados, sob o manejo orgânico de produção.

No manejo de produção orgânica não são utilizados agrotóxicos e fertilizantes químicos, portanto, não serão realizadas análises para o uso destes insumos.

5.3 DADOS UTILIZADOS NO SISTEMA ESTUDADO

A seguir, serão apresentados os dados utilizados na análise do sistema hídrico estudado, tendo como base as áreas irrigadas no entorno do açude Epitácio Pessoa e nos manejos agrícolas de produção convencional e orgânico.

Os dados utilizados neste estudo foram extraídos de Alencar (2009) e atualizados conforme planilhas do Manual de Orçamento Agropecuário, disponibilizadas pelo Banco do Nordeste do Brasil S/A (BNB, 2012). As informações utilizadas para análise do sistema do reservatório e dos manejos agrícolas selecionados, do referido local de estudo, abordam dados relativos aos fatores hidroclimáticos, dados hidroagrícolas, características das culturas cultivadas, além de aspectos econômicos e socioambientais.

5.3.1 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos através da AESA (2012) e pela ANA (2001). Neste trabalho foram utilizados dois períodos pluviométricos de 10 anos cada para análises dos cenários de otimização estabelecidos. As Tabelas 5.2 e 5.3, a seguir, apresentam os dados de precipitação (mm) utilizados na análise dos cenários.

Tabela 5.2 – Dados de precipitação mensal para análise do Cenário 1 (1995-2004).

Precipitação Mensal (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	0,0	58,4	42,7	37,1	21,1	45,5	74,0	6,3	0,0	0,0	12,8	0,0
1996	2,4	22,2	57,8	113,1	13,1	53,0	49,6	31,8	11,8	7,4	41,4	0,3
1997	121,0	49,5	149,1	97,4	61,1	23,4	42,3	24,8	6,2	0,0	0,0	23,6
1998	16,8	0,0	19,9	5,0	11,5	7,0	33,8	34,6	1,2	0,6	0,0	3,1
1999	20,1	33,0	50,2	13,3	38,3	25,4	46,1	5,3	2,2	15,0	0,0	16,4
2000	45,7	53,7	7,6	76,6	45,3	63,5	76,9	51,3	41,0	1,4	2,4	55,6
2001	3,7	1,3	207,1	33,3	0,4	83,4	53,8	18,1	20,8	16,6	5,9	0,0
2002	119,2	99,7	43,9	2,0	96,0	61,0	41,0	13,3	1,2	6,5	8,7	1,8
2003	20,1	53,1	61,6	90,0	32,2	62,7	7,2	22,0	11,9	11,0	4,6	2,0
2004	391,7	99,1	27,1	103,2	74,0	81,8	84,4	13,8	6,4	0,3	0,8	0,6
Média	74,07	47,00	66,70	57,10	39,30	50,67	50,91	22,13	10,27	5,88	7,66	10,34

Fonte: AESA (2012).

Tabela 5.3 – Dados de precipitação mensal para análise dos Cenários 2 e 3 (1976-1985).

Precipitação Mensal (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	0,0	65,4	42,6	95,6	60,2	20,4	25,8	11,6	1,4	51,5	0,6	13,7
1977	60,8	24,4	15,8	322,2	154,8	145,7	80,8	12,3	48,1	18,5	3,6	9,3
1978	1,0	61,6	159,8	84,2	92,4	39,3	50,2	20,0	31,8	0,0	5,1	10,2
1979	13,8	22,6	53,3	39,0	65,6	43,8	67,4	0,5	7,0	0,0	19,2	0,4
1980	33,1	67,0	76,0	17,2	30,8	49,0	1,2	2,6	0,0	26,8	0,0	5,8
1981	73,5	21,8	284,5	18,2	13,6	52,1	0,0	0,0	3,8	0,0	9,1	16,0
1982	6,6	97,7	7,2	136,2	59,2	140,2	27,0	37,0	2,3	0,0	0,0	2,8
1983	70,2	117,5	44,0	47,3	43,6	32,4	29,0	30,8	1,0	15,2	0,0	0,0
1984	2,2	0,2	132,0	147,4	121,3	30,5	94,8	56,0	20,6	10,3	5,4	0,6
1985	16,2	228,2	111,2	244,3	30,4	43,8	54,8	36,9	20,6	0,0	4,8	20,6
Média	27,74	70,64	92,64	115,16	67,19	59,72	43,10	20,77	13,66	12,23	4,78	7,94

Fonte: ANA (2001).

5.3.2 Evaporação

Os dados referentes à evaporação mensal no reservatório Epitácio Pessoa e os coeficientes do tanque evaporimétrico (kt) foram disponibilizados pela AESA (2007). A Tabela 5.4 mostra os dados de evaporação média mensal e os coeficientes do tanque (kt).

Tabela 5.4 Evaporação média mensal no reservatório Epitácio Pessoa (mm).

Evaporação Média Mensal (mm)												
Reservatório/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Epitácio Pessoa	192	155	195	163	178	130	109	143	166	237	212	228
kt	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60

Fonte: AESA (2007).

5.3.3 Vazões Afluentes

Os dados das séries de vazões afluentes para os dois períodos, foram obtidas da AESA (2007). As séries de afluências empregadas para análise dos cenários correspondem ao mesmo período das séries de precipitação utilizadas. As Tabelas 5.5 e 5.6 exibem os dados de vazões afluentes correspondentes aos cenários analisados.

Tabela 5.5 – Dados de vazões afluentes para análise do Cenário 1 (1995-2004).

Vazões Afluentes (m ³ /s)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	0,00	7,37	22,54	9,96	18,35	1,09	0,13	0,28	0,03	0,30	1,37	0,30
1996	2,49	0,36	10,80	13,42	4,73	0,00	0,05	0,03	0,00	0,10	0,58	0,05
1997	1,25	0,05	14,36	2,21	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
1998	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1999	0,00	0,03	3,96	0,03	1,88	0,10	0,20	0,00	0,03	0,03	0,00	1,88
2000	3,58	11,46	8,00	9,10	0,58	0,46	0,64	0,43	0,38	0,00	0,00	0,15
2001	0,10	0,00	5,36	0,91	0,05	0,46	0,41	0,25	0,18	0,15	0,00	0,00
2002	11,31	7,32	1,14	0,91	1,25	0,48	0,38	0,23	0,05	0,00	0,05	0,05
2003	0,05	1,04	2,34	1,52	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2004	0,18	32,07	63,50	119,76	127,33	63,14	23,78	0,39	0,14	0,07	0,00	0,00
Média	1,93	5,97	13,20	15,78	15,34	6,57	2,56	0,16	0,08	0,04	0,20	0,24

Fonte: AESA (2007).

Tabela 5.6 – Dados de vazões afluentes para análise dos Cenários 2 e 3 (1976-1985).

Vazões Afluentes (m ³ /s)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1976	0,00	3,02	0,43	8,69	0,99	0,02	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00
1977	1,45	0,00	0,10	31,05	76,67	44,01	35,96	5,08	0,05	0,00	0,00	0,00
1978	0,00	2,54	39,90	11,26	12,93	1,12	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,23	0,02	1,30	4,88	0,02	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,05	2,62	1,19	0,02	0,00	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,94	0,43	38,32	77,89	17,41	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
1982	0,00	0,00	0,00	3,20	10,42	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	4,57	0,43	0,23	0,15	0,08	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
1984	0,00	0,00	4,42	30,09	15,68	1,75	1,04	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	0,15	31,03	62,51	118,26	120,53	64,04	24,98	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	0,26	4,44	14,73	28,20	25,97	11,22	6,31	0,60	0,01	0,12	0,00	0,03

Fonte: AESA (2007).

5.3.4 Relações Cota x Área x Volume do Reservatório

Os valores referentes à cota x área x volume para o reservatório em estudo foram obtidos de (SEMARH, 2004). Seus valores estão disponíveis no Anexo A.

5.3.5 Dados da Agricultura Irrigada

Os dados referentes às culturas agrícolas exploradas nas unidades de irrigação do açude de Boqueirão, utilizados para alimentação do modelo estudado, abrangem aspectos como: tipo de cultura explorada, coeficientes de cultivo (kc), tipos de sistemas de irrigação utilizados e suas eficiências de aplicação de água, as áreas máximas estabelecidas para cada cultivo, índices de produtividade das culturas, custos de produção e preço de venda dos produtos agrícolas.

As culturas selecionadas, que refletem o estado atual da prática da agricultura familiar no município de Boqueirão, estado da Paraíba, foram: culturas anuais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface, cebola) e culturas perenes (banana, goiaba, mamão, limão e coco).

5.3.5.1 Plano de Cultivo

É a seleção das espécies de plantas a serem cultivadas em épocas pré-definidas em função das condições climáticas locais. Para tal, há necessidade da aquisição das variáveis climáticas, principalmente, temperaturas máximas, mínimas e médias e precipitação, para alocar corretamente as épocas de plantio e colheita para cada uma delas, possibilitando assim, obter o máximo de rendimento com o menor custo (IRRIGAZINE, 2007). O plano de cultivo foi obtido da AIAB (2008), como mostra o Anexo E.

5.3.5.2 Coeficiente de Cultivo (kc)

O coeficiente de cultivo (kc) reflete as necessidades hídricas de cada espécie vegetal em seus diferentes estádios de desenvolvimento. O kc está relacionado com o consumo de água a partir da germinação até a fase de maturação fisiológica do fruto, sendo que os maiores consumos de água ocorrem durante a fase reprodutiva.

Para análise do Cenário 1, realizado somente com as culturas perenes, foi considerado ainda a utilização de coeficientes de cultivo (kc) com base no déficit hídrico tolerável de cada cultura, tendo o intuito de avaliar o potencial de produção, a rentabilidade e o uso dos recursos hídricos do reservatório em anos com ocorrências de secas, no plantio de culturas perenes. Os coeficientes de cultivos são apresentados nas Tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 5.7 – Tabela de coeficientes mensais de cultivo (kc) utilizados no modelo.

Culturas	Meses do Ano											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tomate		0,50	0,75	1,15	0,80			0,50	0,75	1,15	0,80	
Pimentão		0,30	0,40	1,10	0,30			0,30	0,40	1,10	0,30	
Feijão		0,70	1,10	0,90				0,70	1,10	0,90		
Repolho		0,40	0,60	0,33				0,40	0,60	0,33		
Alface		0,25	0,35	0,20				0,25	0,35	0,20		
Cebola		0,20	0,45	0,20	0,10			0,20	0,45	0,20	0,10	
Mamão	0,40	0,40	0,40	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90
Banana	0,70	0,70	0,70	0,90	0,90	0,90	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Limão	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65
Goiaba	0,45	0,45	0,45	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70
Coco	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Fonte: Gomes (1999).

Tabela 5.8 – Coeficientes mensais de cultivo (kc) das culturas perenes com base no déficit hídrico tolerável.

Culturas	DHT* (%)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mamão	20	0,32	0,32	0,32	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,72	0,72	0,72
Banana	30	0,49	0,49	0,49	0,63	0,63	0,63	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Limão	25	0,49	0,49	0,49	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,49	0,49	0,49
Goiaba	30	0,32	0,32	0,32	0,49	0,49	0,49	0,56	0,56	0,56	0,49	0,49	0,49
Coco	30	0,42	0,42	0,42	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56

Fonte: Adaptado de Sousa (2009).

(*) DHT - Déficit Hídrico Tolerável.

5.3.5.3 Áreas das Culturas

As áreas máximas estipuladas para cada cultivo foram obtidas através da Associação dos Irrigantes do Município de Boqueirão (AIAB, 2012). A área máxima total de produção é de 1700 ha, sendo 700 ha disponibilizados para o plantio das culturas agrícolas sazonais (safra e entressafra) e 1000 ha para a produção de culturas perenes (fruteiras).

Tabela 5.9 – Áreas máximas estipuladas para as culturas em hectares.

Culturas	Áreas Máximas (ha)
Tomate (s)	150
Pimentão (s)	150
Feijão (s)	150
Repolho (s)	100
Alface (s)	50
Cebola (s)	100
Tomate (es)	150
Pimentão (es)	150
Feijão (es)	150
Repolho (es)	100
Alface (es)	50
Cebola (es)	100
Mamão (p)	100
Banana (p)	600
Limão (p)	100
Goiaba (p)	100
Coco (p)	100

Fonte: AIAB (2012).

Legenda: (s) safra; (es) entressafra; (p) perene.

5.3.5.4 Dados do Sistema de Irrigação

Os sistemas de irrigação comumente empregados nas áreas irrigadas do município de Boqueirão são: sulcos, microaspersão e gotejamento.

A Tabela 5.10 mostra os tipos de sistemas de irrigação empregados para cada tipo de cultivo, suas eficiências de aplicação de água e pressões de serviço requeridas por sistema.

Tabela 5.10 – Dados do sistema de irrigação e suas eficiências de aplicação.

Culturas	Sistema de Irrigação	Eficiência de Aplicação (%)	Pressão de Serviço (mca)
Tomate	Gotejamento	90	10
Pimentão	Gotejamento	90	10
Feijão	Sulco	50	0
Repolho	Gotejamento	90	10
Alface	Sulco	50	0
Cebola	Gotejamento	90	10
Mamão	Microaspersão	85	15
Banana	Microaspersão	85	15
Limão	Microaspersão	85	15
Goiaba	Microaspersão	85	15
Coco	Microaspersão	85	15

Fonte: Gomes (1999).

5.3.5.5 Mão de Obra

Os dados referentes à mão de obra empregada por hectare e por cultura, no sistema convencional e orgânico de produção, podem ser visualizados na Tabela 5.11. Houve um acréscimo de 20% na mão de obra para o manejo orgânico das culturas agrícolas em relação ao manejo convencional. O valor de 20% foi determinado como uma média de valores obtidos via revisão bibliográfica e entrevistas com agricultores (ALENCAR, 2009; NGUYEN e HAYNES, 1995; ALTIERI, 1989; OLHEAF, 1978; LOCKERETZ *et al.*, 1975).

Na agricultura orgânica não há aplicação de defensivos químicos, como método de controle de pragas e doenças, exigindo-se um número maior de mão de obra para realização dos tratamentos culturais.

Tabela 5.11 – Média de mão de obra empregada por hectare (diárias).

Culturas	Mão de Obra - Manejo Convencional (1 Ano)	Mão de Obra - Manejo Orgânico (1 Ano)
Tomate	237	284
Pimentão	133	160
Feijão	45	54
Repolho	107	128
Alface	176	211
Cebola	119	143
Mamão	164	197
Banana	160	192
Limão	88	106
Goiaba	95	114
Coco	76	91

Fonte: BNB (2012).

5.3.5.6 Fertilizantes e Defensivos Químicos

As quantidades médias anuais (por hectare) de fertilizantes e defensivos químicos, empregados para cada cultura no manejo de produção convencional, são expostos na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Quantidades de defensivos e adubação química utilizados no manejo convencional.

Culturas	Defensivos (Kg)	Adubação NPK* (T)
Tomate	30,00	1,40
Pimentão	35,00	1,40
Feijão	5,00	0,47
Repolho	5,00	1,17
Alface	7,00	0,93
Cebola	12,00	0,70
Mamão	17,67	0,93
Banana	7,00	0,70
Limão	8,67	0,93
Goiaba	13,00	0,93
Coco	9,00	0,88

Fonte: BNB (2012).

(*) Formulação: Nitrogênio (N) - Fósforo (P₂O₅) - Potássio (K₂O).

5.3.5.7 Preço de Venda dos Produtos

Os preços de venda dos produtos agrícolas, em R\$/kg (Tabela 5.13), foram obtidos através da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA, 2012) por meio de consulta realizada em seu próprio estabelecimento, em maio de 2012, reduzindo-se 30% do preço dos produtos convencionais, para contabilizar o ganho do atravessador e adicionando-se 20% no preço dos produtos de entressafra, simulando um provável aumento de preço nesse período.

Com base em pesquisas de variação de preços de produtos orgânicos em relação aos preços dos produtos convencionais, adotou-se um acréscimo de 50% nos preços das culturas sazonais e 25% nos preços das culturas perenes, quando cultivadas sob o manejo orgânico de produção (ALENCAR, 2009).

Tabela 5.13 – Preço médio de venda dos produtos convencionais e orgânicos (R\$/kg).

Culturas	Preço do Prod. Convencional (R\$/kg)*	Preço do Prod. Orgânico (R\$/kg)*
Tomate	1,49	2,24
Pimentão	1,07	1,61
Feijão	4,20	6,30
Repolho	0,70	1,05
Alface	0,63	0,95
Cebola	1,23	1,85
Tomate (es)	1,79	2,69
Pimentão (es)	1,28	1,92
Feijão (es)	5,04	7,56
Repolho (es)	0,84	1,26
Alface (es)	0,76	1,14
Cebola (es)	1,48	2,21
Mamão	1,05	1,31
Banana	0,91	1,14
Limão	0,56	0,70
Goiaba	1,12	1,40
Coco	1,09	1,36

Fonte: EMPASA (2012).

(*) Preço de venda no atacado.

5.3.5.8 Produtividade

As Tabelas 5.14 e 5.15 apresentam os valores de produtividade (kg/ha) das culturas convencionais e orgânicas, respectivamente, de acordo com as planilhas de orçamentos agrícolas do Banco do Nordeste do Brasil S/A (BNB, 2012).

Para as culturas orgânicas foi utilizado um decréscimo de 25% na produtividade, considerando o rendimento inferior que os sistemas agroecológicos têm em relação ao sistema convencional, conforme relata Gliessman (2009).

Tabela 5.14 – Produtividade das culturas convencionais em kg/ha.

Culturas	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Tomate	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000	45000
Pimentão	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Feijão	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Repolho	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000
Alface	27550	27550	27550	27550	27550	27550	27550	27550	27550	27550
Cebola	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Mamão	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Banana	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000
Limão	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Goiaba	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
Coco	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000

Fonte: BNB (2012).

Tabela 5.15 – Produtividade das culturas orgânicas em kg/ha (com decréscimo de 25%).

Culturas	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Tomate	33750	33750	33750	33750	33750	33750	33750	33750	33750	33750
Pimentão	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250
Feijão	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Repolho	18750	18750	18750	18750	18750	18750	18750	18750	18750	18750
Alface	20663	20663	20663	20663	20663	20663	20663	20663	20663	20663
Cebola	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250
Mamão	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250
Banana	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Limão	22500	22500	22500	22500	22500	22500	22500	22500	22500	22500
Goiaba	13500	13500	13500	13500	13500	13500	13500	13500	13500	13500
Coco	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000

Fonte: Planilhas BNB (2012) + decréscimo de 25% na produtividade das culturas orgânicas Gliessman (2009).

5.3.5.9 Custos de Produção

Os custos de produção em (R\$/ha) das culturas agrícolas convencionais e orgânicas, calculados com base nas planilhas orçamentárias do Banco do Nordeste do Brasil S/A (BNB, 2012) mais a metodologia de adubação orgânica de Santos e Santos (2008), estão disponíveis nas Tabelas 5.16 e 5.17, respectivamente.

Tabela 5.16 – Custos de produção das culturas convencionais em R\$/ha.

Culturas	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4 ao Ano 10
Tomate	13.040,00			
Pimentão	7.564,00			
Feijão	2.679,61			
Repolho	5.407,41			
Alface	6.946,52			
Cebola	6.519,00			
Mamão	7.490,02	8.281,02	6.033,02	
Banana	13.097,00	5.669,00		
Limão	6.582,52	4.260,22	4.260,22	4.711,02
Goiaba	6.706,58	4.725,02		
Coco	4.037,00			

Fonte: BNB (2012).

Tabela 5.17 – Custos de produção das culturas orgânicas em R\$/ha.

Culturas	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4 ao Ano 10
Tomate	10.136,44			
Pimentão	4.706,44			
Feijão	1.882,88			
Repolho	3.655,30			
Alface	5.453,66			
Cebola	4.842,02			
Mamão	5.635,16	5.842,16	3.882,16	
Banana	12.056,02	4.631,02		
Limão	4.999,66	2.634,16	2.634,16	3.010,16
Goiaba	5.887,72	3.038,16		
Coco	3.593,00			

Fonte: Planilhas BNB (2012) + metodologia de adubação orgânica (SANTOS e SANTOS, 2008).

5.4 CRITÉRIOS OPERACIONAIS

Os critérios operacionais idealizados para todos os cenários observaram os seguintes pressupostos:

- O volume inicial do reservatório Boqueirão foi estabelecido como sendo 70% da capacidade do mesmo, correspondente ao menor valor do dia 1º de janeiro da série histórica dos volumes de água do reservatório;
- O volume do reservatório, ao final do período de estudo, deve ser maior ou igual ao volume inicial, garantindo a sustentabilidade hídrica das atividades econômicas;
- O volume meta do reservatório, em todos os meses, foi considerado igual à capacidade do mesmo.

Para a operação da área irrigada foram observados os seguintes pressupostos:

- O calendário agrícola estabelecido para a área irrigada é mantido invariável para todos os cenários estudados e as culturas agrícolas permanentes estão em plena capacidade de produção;
- No cálculo das demandas de irrigação considerou-se não existir dotação por capilaridade na zona radicular das plantas;
- Quanto à capacidade do sistema adutor para o perímetro irrigado considerou-se um sistema formado de 5 bombas com uma vazão de 1 m³/s trabalhando 20 horas por dia.

Para análise da operação do sistema estudado foram considerados os seguintes objetivos para todos os cenários avaliados:

- Minimização do déficit do atendimento das demandas de abastecimento urbano através das tomadas d'água (1ª prioridade);
- Maximização da receita líquida auferida com a agricultura irrigada no perímetro irrigado (2ª prioridade);
- Maximização da mão de obra proveniente da agricultura irrigada no perímetro irrigado (3ª prioridade);
- Minimização do uso de adubos e defensivos químicos da agricultura irrigada no perímetro irrigado (4ª prioridade); e
- Minimização do déficit do atendimento do volume meta do reservatório Epitácio Pessoa (5ª prioridade).

CAPÍTULO VI

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo de otimização para todos os cenários estabelecidos no estudo do sistema hídrico, formado pelo reservatório Epitácio Pessoa e as áreas irrigadas em seu entorno, além de suas análises e discussões pertinentes, serão abordados no presente capítulo.

6.1 CENÁRIO 1

Neste cenário é realizado um planejamento agrícola com as culturas permanentes selecionadas neste estudo (mamão, banana, limão, goiaba e coco), com o intuito de investigar o desempenho do sistema hídrico, conforme análises referentes à minimização do déficit de atendimento das demandas de abastecimento urbano, maximização das receitas líquidas auferidas com as culturas irrigadas, maximização da mão de obra empregada nos perímetros irrigados, minimização do uso de insumos agroquímicos e minimização do déficit de atendimento do volume meta do reservatório, nesta respectiva ordem de prioridade.

O estudo do Cenário 1 tem por objetivo verificar, através do planejamento agrícola realizado, a produtividade, lucratividade e o potencial de utilização dos recursos hídricos do reservatório em anos com ocorrências de períodos de estiagens, no cultivo de culturas perenes, tendo como base a utilização de uma série pluviométrica de 10 anos, sob a prática do manejo agrícola de produção convencional.

Os dados hidroclimáticos de precipitação pluviométrica e vazões afluentes mensais utilizados para análise do Cenário 1, que serviram para calcular a precipitação efetiva disponível para as culturas perenes mensalmente, foram obtidos através da AESA (2012), correspondendo a um recorte temporal de 10 anos (1995-2004), caracterizados por períodos de secas, apresentando problemas de restrições hídricas.

A seguir, serão apresentados os resultados e análises obtidas para a agricultura irrigada no Cenário 1. A Tabela 6.1 apresenta os valores médios anuais das áreas alocadas para as culturas perenes com suas respectivas receitas líquidas, mão de obra empregada nas áreas irrigadas, os quantitativos de insumos químicos utilizados (adubos e defensivos) e o volume requerido de irrigação para cada cultura agrícola.

Tabela 6.1 – Resultados anuais da agricultura irrigada para o manejo convencional das culturas perenes no Cenário 1.

Culturas	Área Plantada (ha)	Rec. Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)	Adubos + Def. (T)	Vol. Irrigação (hm³)
Mamão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	178,41	3.768.053,10	28.546	126,14	2,29
Limão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Goiaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coco	100,00	3.233.338,09	7.600	88,90	0,95
TOTAL	278,41	7.001.391,19	36.146	215,04	3,24

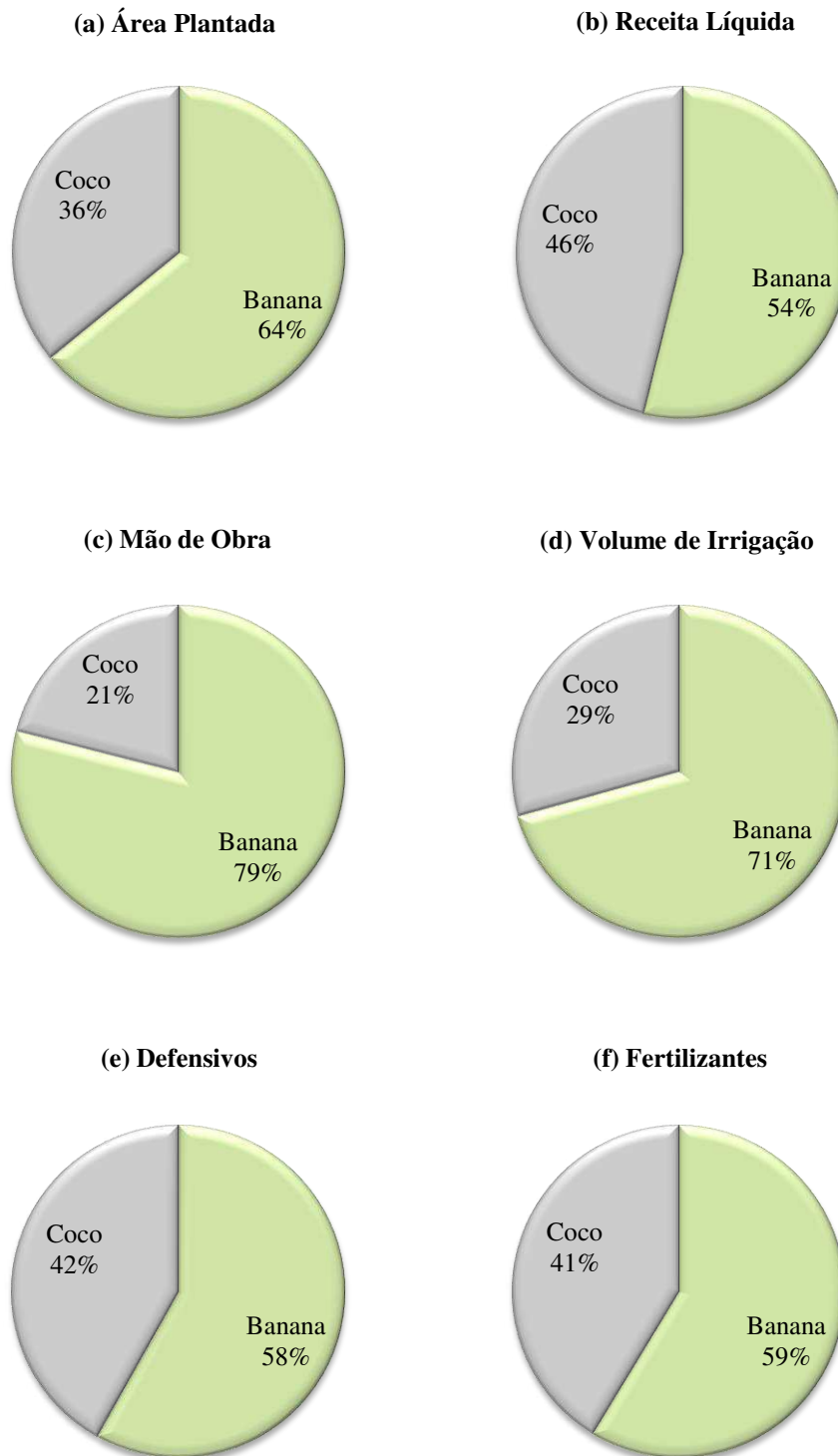
Como podemos observar na Tabela 6.1, foi disponibilizado uma área total cultivada de 278,41 ha para obtenção dos melhores resultados gerados no processo de otimização, destacando-se a seleção das culturas da banana e do coco. Devido a utilização de uma série pluviométrica com restrições hídricas para avaliação do potencial de uso dos recursos hídricos do reservatório e rentabilidade das culturas perenes no Cenário 1, o modelo alocou áreas de plantio somente para as culturas da banana e do coco. Tais culturas apresentaram-se mais tolerantes ao déficit hídrico do período estudado, mais rentáveis e com maior potencial de produção.

A receita líquida total auferida durante os 10 anos com o cultivo destas culturas foi de R\$ 7.001.391,19. A cultura da banana apresentou uma maior lucratividade, gerando uma receita líquida de R\$ 3.768.053,10, para uma área total cultivada de 178,41 ha. A cultura do coco gerou uma receita líquida de R\$ 3.233.338,09, em uma área total de 100 ha.

Quanto aos benefícios sociais, gerados através da alocação de mão de obra, a cultura da banana também se destacou com um total de 28.546 diárias em uma área total de plantio de 178,41 ha. Ao todo, foram alocadas 36.146 diárias para as áreas irrigadas do Cenário 1. O total de adubos e defensivos químicos utilizados nas áreas das culturas agrícolas foi de 215,04 toneladas/ano, com o uso de 126,14 toneladas na cultura da banana e 88,90 toneladas na cultura do coco.

A Figura 6.1, a seguir, apresenta os percentuais correspondentes das culturas agrícolas perenes (banana e coco) na área utilizada no perímetro irrigado, na geração de receita líquida, mão de obra empregada, volume de irrigação requerido e utilização de defensivos e fertilizantes químicos.

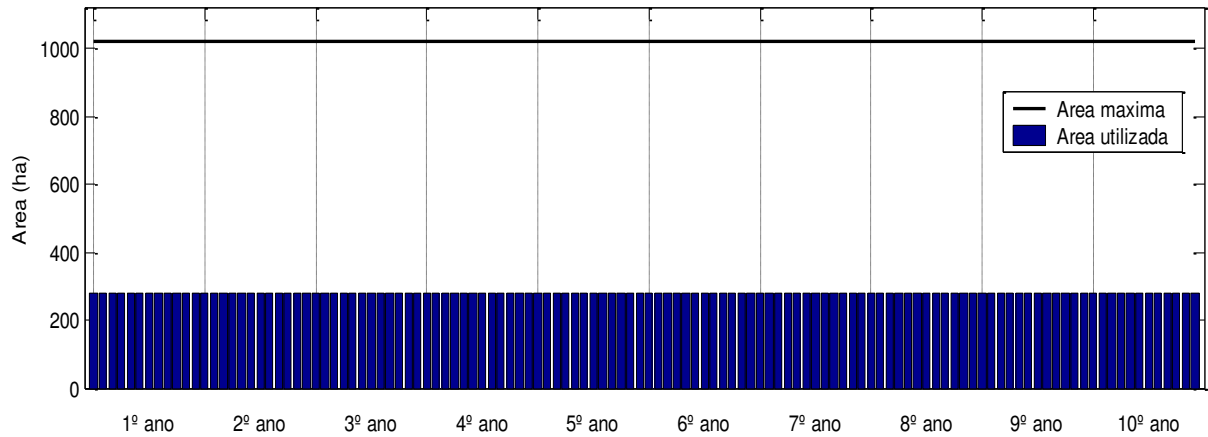
Figura 6.1 – Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra, (d) consumo hídrico, (e) defensivos e (f) fertilizantes, das culturas perenes no C1.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

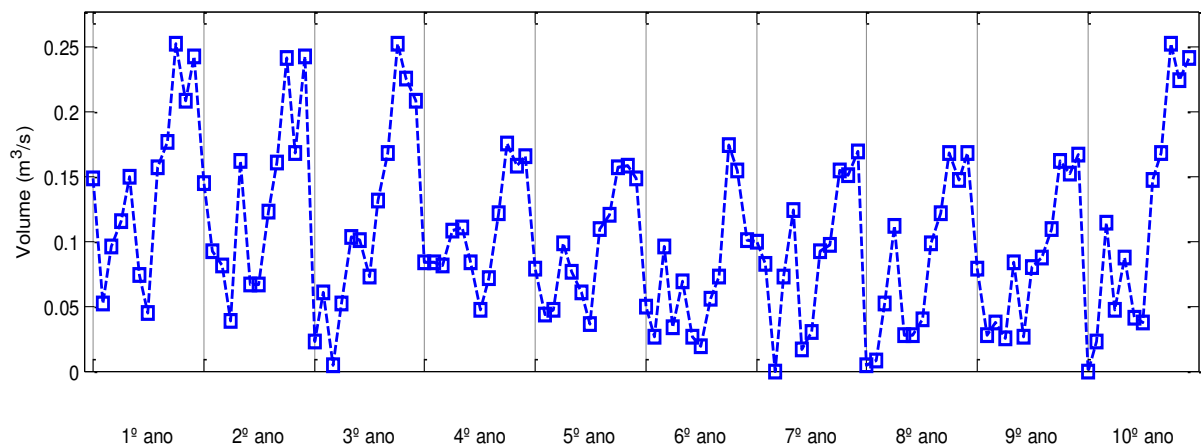
As áreas alocadas com as culturas agrícolas perenes no Cenário 1, ao longo dos 120 meses estudados, podem ser visualizadas através da Figura 6.2. O modelo apresentou, para obtenção dos melhores resultados, uma área cultivada total de 278,41 ha por ano, distribuídos anualmente com 178,41 ha para a cultura da banana e 100 ha para o cultivo do coco.

Figura 6.2 – Alocação da área plantada para as culturas irrigadas do Cenário 1.



A Figura 6.3 ilustra as vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 1, durante todo o período investigado.

Figura 6.3 – Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 1.



De acordo com a Figura 6.3, as maiores vazões requeridas para o atendimento das necessidades hídricas das culturas ocorreram no segundo período de cada ano (2º semestre), coincidindo com os meses de menor pluviosidade (estação seca). As vazões de irrigação aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 1, durante os 10 anos de estudo, apresentaram uma média mensal de 0,10 m³/s.

Os indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas no Cenário 1 estão disponíveis na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 1.

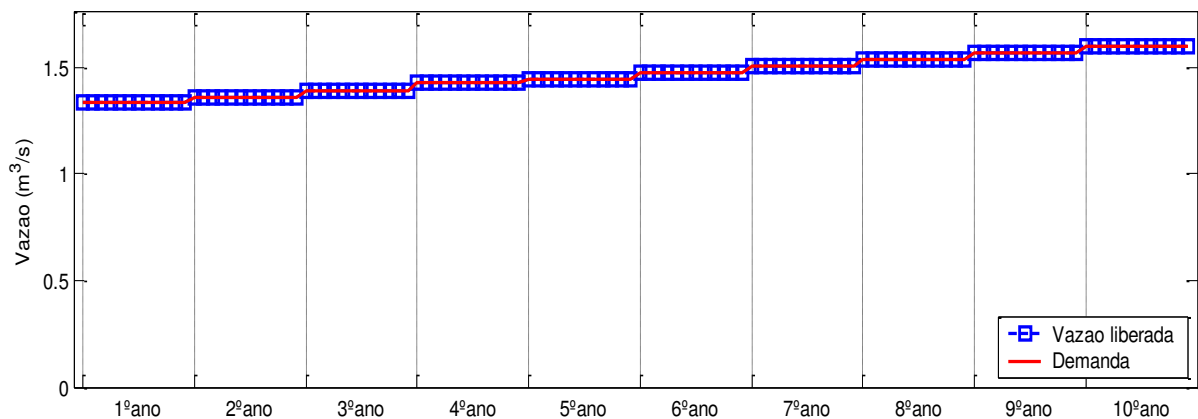
FRA	FRI	RGC	FMA	CUI
1,488	1,666	0,600	4,494	0,273

O Fornecimento Relativo de Água (FRA) indicou que, em média, a quantidade de água disponibilizada para as áreas irrigadas foi 49% superior à demanda hídrica das culturas. O Fornecimento Relativo da Irrigação (FRI) indicou que foi gasto 67% a mais da demanda suplementar hídrica da cultura. A Razão Global de Consumo foi de 60%, indicando o nível tecnológico da infraestrutura de irrigação do projeto (eficiência na aplicação e no manejo da água com métodos que usam sistemas de gotejamento e microaspersão). O Fornecimento Médio de Água (FMA) indicou que foram fornecidos, em média, 4,5 l/s para produzir um hectare de área cultivada. A Capacidade de Uso das Instalações foi de 27%.

As demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano foram atendidas plenamente no Cenário 1. Não houve falhas no atendimento às vazões requeridas ao longo dos 10 anos de operação.

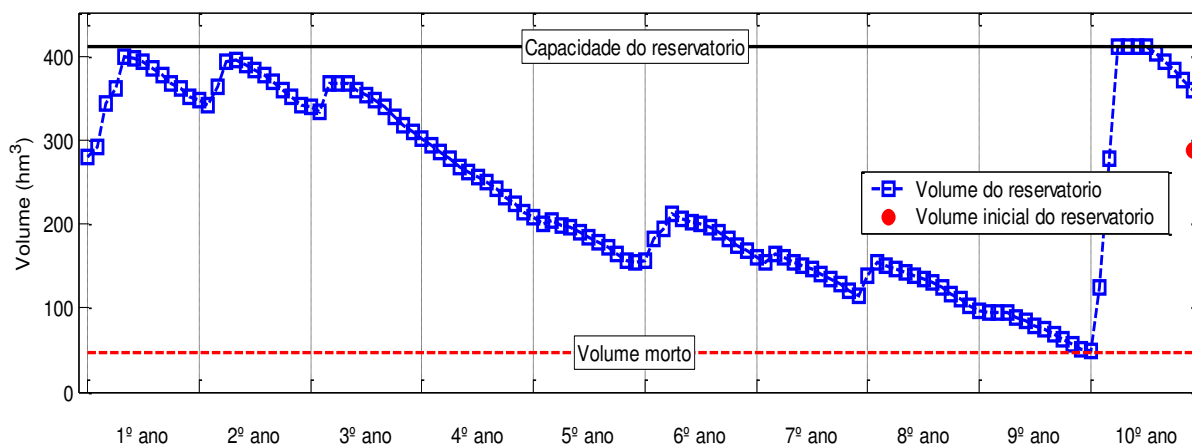
A Figura 6.4 apresenta as vazões liberadas pelo reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) para o atendimento das demandas de abastecimento urbano.

Figura 6.4 – Vazões liberadas e demandas para o atendimento da adutora de abastecimento urbano no Cenário 1.



Quanto ao comportamento hídrico do reservatório, ao longo do período estudado, observa-se através da Figura 6.5, que a sua sustentabilidade hídrica foi atendida, ficando o seu volume final maior que o volume inicial estabelecido. O volume de água do reservatório apresentou-se bastante variável ao longo dos meses, com os menores volumes registrados no segundo semestre de cada ano, coincidindo com o período de maior demanda hídrica. Como esta série pluviométrica (1995-2004) apresenta um grande período de tempo com ocorrências de secas, observa-se que em alguns anos (1998 a 2003) seus volumes operacionais ficaram bem baixos, próximos do volume morto (9º ano), normalizando-se no último ano analisado (2004), quando o açude recuperou seus níveis normais de operação e voltou a extravasar.

Figura 6.5 – Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 1.



Os indicadores de eficiência avaliam se os reservatórios estão operando com desperdícios e indicam onde estão ocorrendo suas perdas mais importantes. A Tabela 6.3 apresenta os valores dos indicadores de eficiência associados ao reservatório estudado.

Tabela 6.3 – Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 1.

IAP	IUD	IUP	η_{Vr}	η_E	η_P	η_{Qv}	η_e
0,392	0,725	0,285	0,042	0,267	0,065	0,405	0,285

O Índice de Ativação da Potencialidade (IAP) indicou que apenas 39% de todo o potencial hídrico da bacia esteve disponível para o uso, durante todo o período estudado, mostrando com isso que o potencial do açude está sendo pouco disponibilizado. O Índice de

Utilização da Disponibilidade (IUD) indicou que 72% da água disponível foi destinada ao atendimento das demandas. Segundo o Índice de Utilização da Potencialidade (IUP), que relaciona a demanda e a potencialidade hídrica da bacia, apenas 28% de toda água afluyente ao reservatório foi utilizada para o atendimento das demandas.

Percebe-se, pela análise da Tabela 6.3, que o η_{Vr} apresentou um valor positivo de 4,3%, mostrando que o volume final do reservatório, após o período estudado, ficou um pouco acima do volume inicial, ou seja, houve um pequeno acúmulo de água no reservatório. O η_E , que estabelece a eficiência quanto ao armazenamento da água, indicou que 27% de seus volumes afluentes totais foram perdidos por evaporação, representando uma perda significativa de água no açude. O percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório, representada pelo indicador η_P , foi muito pequeno, apenas 6,5%. O índice que contabiliza os desperdícios de água afluyente por vertimento (η_{Qv}) apresentou um valor de 40%, indicando também uma parcela significativa de água perdida. O valor de η_e , que estabelece a eficiência quanto ao uso da água (descarregadores e tomadas d'água), foi de 28%. Altos índices indicam que existem poucos desperdícios de água no reservatório.

Após análises do Cenário 1, percebe-se que o reservatório está operando com uma quantidade grande de desperdícios. Pela análise da tabela anterior, é possível identificar que a principal causa está na quantidade de água perdida por vertimento, representada pelo índice η_{Qv} . Outra fonte de perda é a alta taxa de evaporação na superfície líquida do reservatório, retratada pelo índice η_E .

6.2 CENÁRIO 2

No Cenário 2 as análises otimizantes e comparativas efetuadas para obtenção dos resultados ótimos foram realizadas com as culturas agrícolas anuais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) mais as culturas perenes estabelecidas no C1 (banana e coco), sob o manejo de produção convencional (uso de insumos químicos).

O objetivo do estudo deste cenário é analisar o comportamento hídrico do sistema estudado, quanto ao atendimento das demandas de abastecimento urbano, maximização das receitas líquidas auferidas com as culturas irrigadas, maximização da mão de obra utilizada nas unidades irrigadas, minimização do uso de insumos agroquímicos e atendimento do volume meta do reservatório, nesta respectiva ordem de prioridade.

Os dados de precipitação pluviométrica e vazões afluentes mensais utilizados para análise do Cenário 2 foram extraídos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2001),

abrangendo um período normal de precipitação de 10 anos (1976-1985), sem ocorrências de períodos de estiagens.

A seguir, são apresentados os resultados e análises obtidas para a agricultura irrigada no Cenário 2, realizado com as culturas sazonais (safra e entressafra) mais as culturas perenes selecionadas no C1, sob o sistema de produção convencional.

A Tabela 6.4 mostra os valores médios anuais das áreas alocadas para as culturas anuais e perenes com suas respectivas receitas líquidas, mão de obra utilizada nos perímetros, quantidades de insumos químicos utilizados (adubos + defensivos) e o volume requerido de irrigação para cada cultura.

Tabela 6.4 – Resultados anuais da agricultura irrigada para o manejo convencional no Cenário 2.

Culturas	Área Plantada (ha)	Rec. Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)	Adubos + Def. (T)	Vol. Irrigação (hm³)
Tomate	150	8.081.011,24	35.550	214,50	0,29
Pimentão	150	1.262.482,62	19.950	215,25	0,15
Feijão	150	729.519,92	6.750	70,65	0,50
Repolho	100	1.205.051,02	10.700	117,20	0,06
Alface	50	526.674,49	8.800	47,05	0,02
Cebola	100	1.190.500,36	11.900	71,20	0,03
Tomate (es)	150	10.084.478,42	35.550	214,05	0,29
Pimentão (es)	150	1.717.926,01	19.950	215,25	0,15
Feijão (es)	150	954.381,66	6.750	70,65	0,50
Repolho (es)	100	1.550.130,06	10.700	117,10	0,06
Alface (es)	50	706.837,87	8.800	47,05	0,02
Cebola (es)	100	1.560.987,87	11.900	71,20	0,03
Mamão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	178,41	5.202.013,42	28.546	126,14	2,79
Limão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Goiaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coco	100	3.840.115,62	7.600	88,90	1,15
TOTAL	1.678,41	38.612.110,56	223.446	1.686,19	6,12

Na análise da Tabela 6.4, para a agricultura irrigada de manejo convencional, pode-se verificar que foram disponibilizados, para geração dos resultados ótimos, uma área total cultivada de 1.678,41 ha, com alocação de áreas para todas as culturas agrícolas sazonais (safra e entressafra) mais as culturas permanentes estabelecidas no C1 (banana e coco).

Em relação ao aspecto econômico, destacaram-se as culturas do tomate de safra e entressafra, com uma receita líquida média anual de R\$ 8.081.011,24 e R\$ 10.084.478,42, respectivamente. A cultura da banana também se destacou, gerando uma receita líquida de R\$ 5.202.013,42, aproximadamente R\$ 29.158,00 por ha/ano. A receita líquida total auferida com as culturas agrícolas convencionais no C2 foi de R\$ 38.612.110,56.

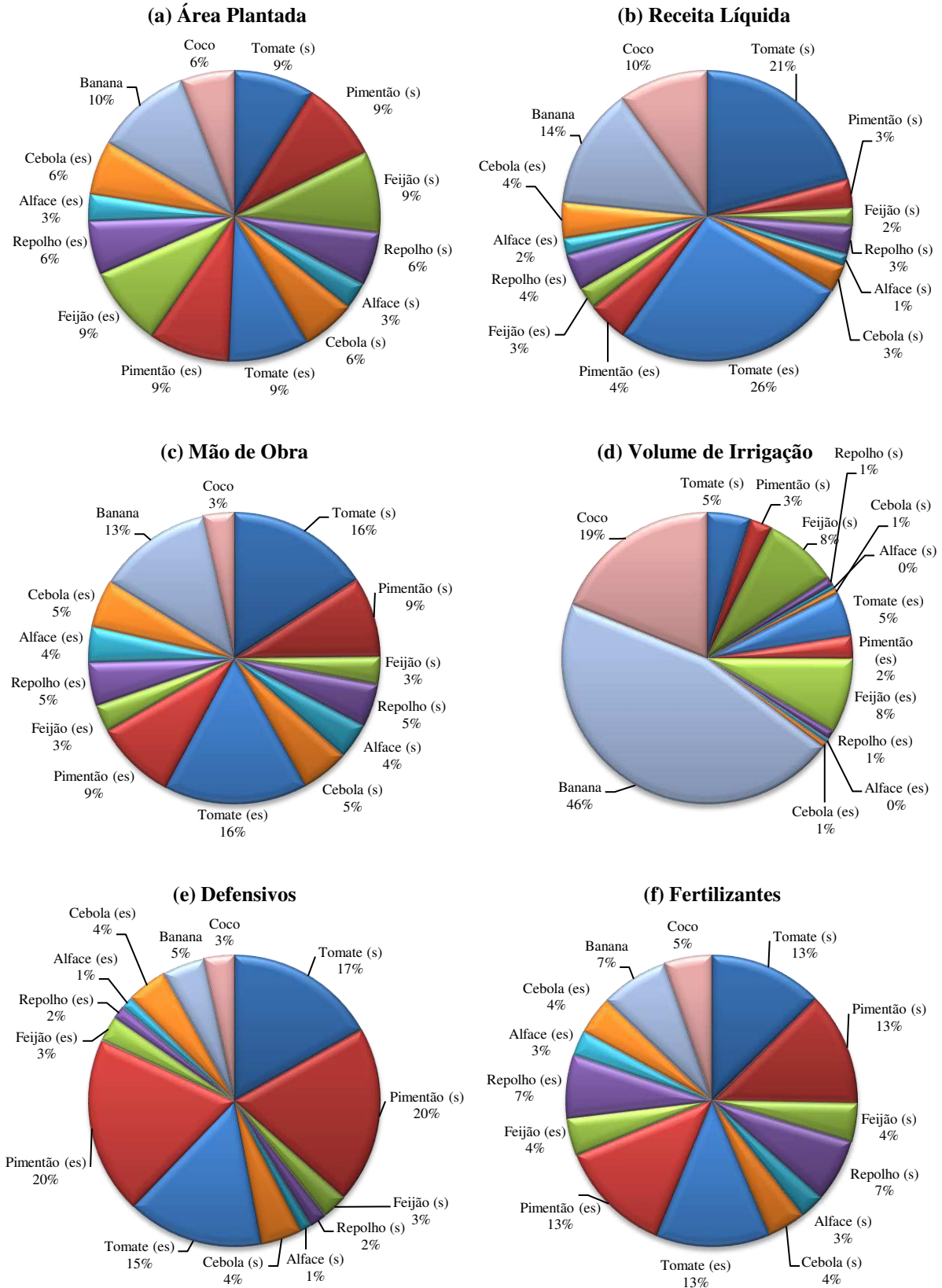
No que tange ao emprego de mão de obra a cultura do tomate, cultivada na época de safra e entressafra, proporcionou os melhores resultados com a utilização de 35.550 diárias em uma área total de 150 ha cada, seguida da banana que obteve 28.546 diárias em uma área total de 178,41 ha. Ao todo, foram alocadas 223.446 diárias para a agricultura irrigada do Cenário 2.

O total de agroquímicos (adubos + defensivos) utilizados nas áreas irrigadas foi de 1.686,19 toneladas. As culturas do pimentão e do tomate apresentaram os valores mais elevados no consumo de agroquímicos. Foram utilizados 1,43 t/ha nas culturas do pimentão e do tomate, na safra e entressafra, totalizando um uso de 215,25 t/ano em uma área de 150 ha para o pimentão e 214,50 t/ano em uma área de 150 ha para a cultura do tomate.

Com isso, as culturas do tomate (safra e entressafra) e da banana foram as que apresentaram uma maior lucratividade na geração de receita líquida e os melhores índices no emprego de mão de obra, sob o modelo de produção agrícola convencional.

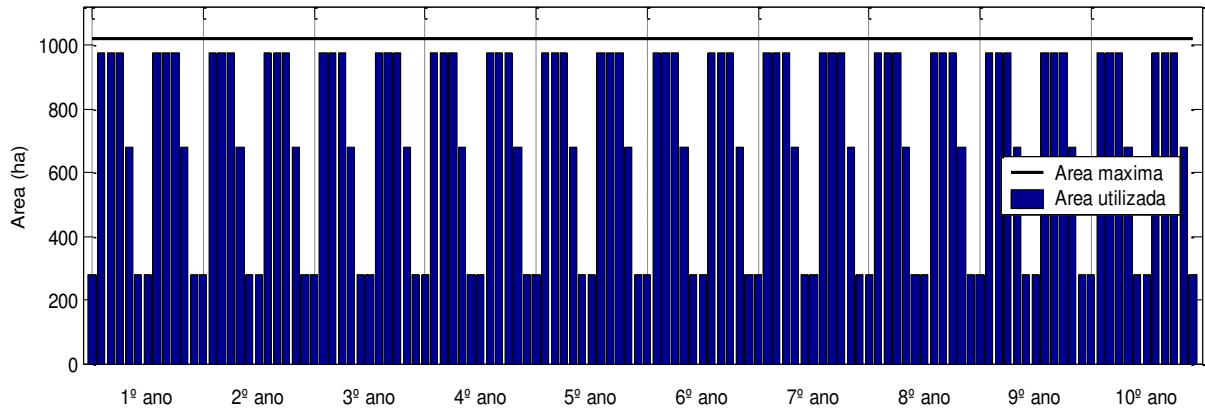
A Figura 6.6 apresenta os percentuais correspondentes de cada cultura agrícola na área utilizada no perímetro irrigado, na receita líquida auferida com os cultivos, mão de obra empregada nas áreas irrigadas, volume de irrigação para atendimento das demandas hídricas das culturas e utilização de defensivos e fertilizantes químicos.

Figura 6.6 – Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra, (d) consumo hídrico, (e) defensivos e (f) fertilizantes das culturas no Cenário 2.



As áreas alocadas para as culturas anuais (safra e entressafra) e permanentes, ao longo do período estudado, podem ser visualizadas através da Figura 6.7.

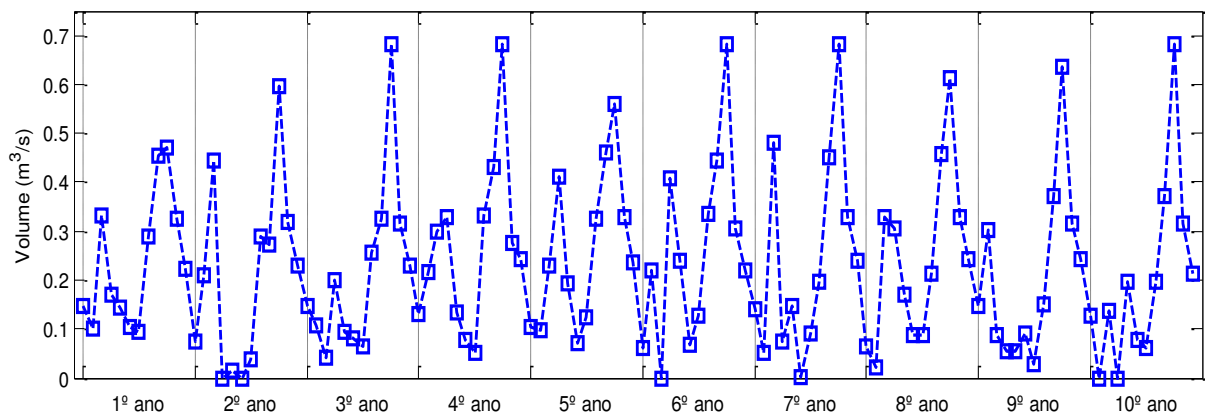
Figura 6.7 – Alocação da área plantada para as culturas irrigadas no Cenário 2.



Na Figura 6.7, observa-se que houve uma área cultivada total de 978,41 ha por ano, distribuídos anualmente com 700 ha para as culturas sazonais de safra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola), 700 ha para as culturas sazonais de entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) e 278,41 ha para as culturas permanentes (banana e coco).

A Figura 6.8 ilustra as vazões de irrigação aduzidas para as áreas irrigadas durante todo o período analisado.

Figura 6.8 – Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 2.



Observa-se através da Figura 6.8, que as vazões aduzidas para as áreas irrigadas do Cenário 2 são variáveis ao longo do tempo, sendo que os maiores volumes de irrigação, requeridos para o atendimento das necessidades hídricas das culturas, ocorreram no segundo

semestre de cada ano, coincidindo com os meses de menor pluviosidade (estação seca). As vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 2, nos 10 anos investigados, apresentaram uma média mensal de 0,23 m³/s.

Na Tabela 6.5 temos os indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 2.

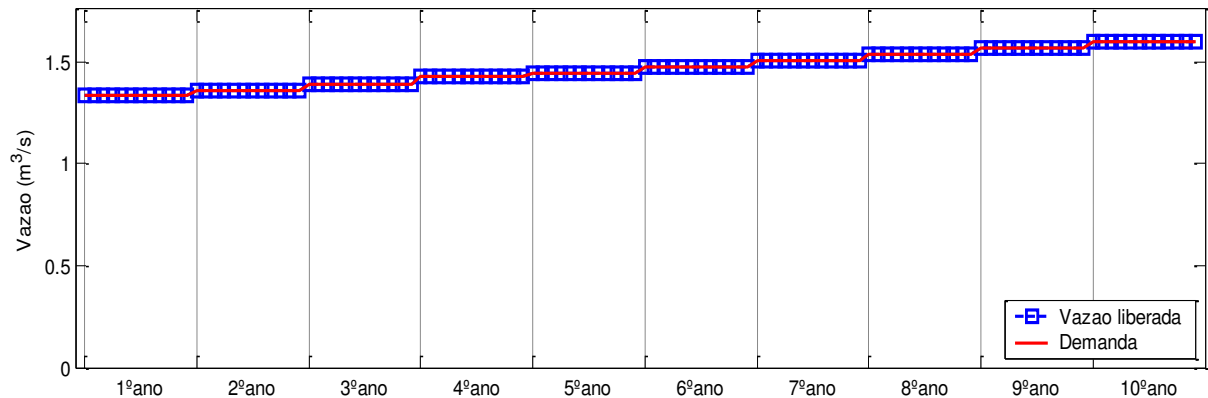
Tabela 6.5 – Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 2.

FRA	FRI	RGC	FMA	CUI
1,407	1,589	0,629	0,196	0,681

O Fornecimento Relativo de Água (FRA) indicou que a quantidade de água disponibilizada para as áreas irrigadas foi 41% superior à demanda hídrica das culturas. Comparativamente ao Cenário 1, planejado sob condições de déficits hídricos do período analisado e com um menor número de culturas cultivadas, o Fornecimento Relativo de Água foi maior que no Cenário 2, aproximadamente 49% superior à demanda hídrica das culturas. O Fornecimento Relativo à irrigação (FRI) indicou que foi gasto 59% a mais da demanda suplementar hídrica da cultura. A Razão Global de Consumo (RGC) foi de 63%, indicando o nível tecnológico da infraestrutura do projeto de irrigação (eficiência média na aplicação da água). O Fornecimento Médio de Água (FMA) indicou que foram fornecidos 0,19 l/s para produzir um hectare de área cultivada, valor bem inferior ao calculado para o C1 (4,5 l/s). A Capacidade de Uso das Instalações (CUI) foi de 68%. Em comparação com o C1, houve um aumento significativo no percentual de área irrigada no Cenário 2, devido a inclusão das culturas sazonais de safra e entressafra, aumentando com isso a Capacidade de Uso das Instalações.

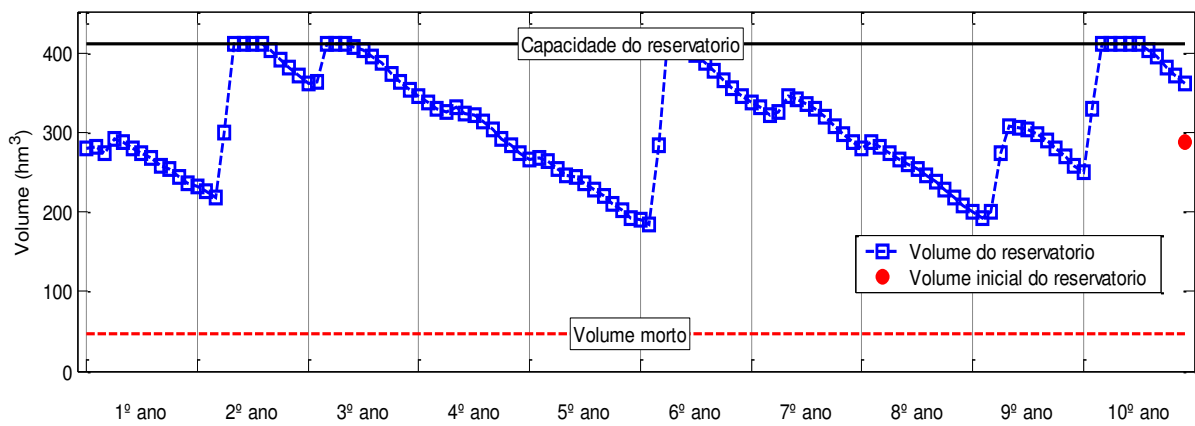
De acordo com a Figura 6.9, as demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano, no Cenário 2, foram atendidas satisfatoriamente. Não houve falhas no atendimento às demandas requeridas, mostrando que o sistema hídrico manteve-se funcionando durante todo período investigado.

Figura 6.9 – Vazões liberadas e demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano do Cenário 2.



Observa-se através da Figura 6.10, a seguir, que a sustentabilidade hídrica do reservatório foi atendida, ficando o seu volume final maior que o volume inicial estabelecido. O volume de água do reservatório apresentou uma variação média de 312 hm³/mês, com os menores volumes registrados no segundo semestre de cada ano, coincidindo com o período de maior demanda hídrica.

Figura 6.10 – Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 2.



Foram calculados pelo modelo de otimização e apresentados na Tabela 6.6 os valores dos indicadores de eficiência associados ao reservatório estudado, para o período de 120 meses analisados.

Tabela 6.6 – Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 2.

IAP	IUD	IUP	η_{Vr}	η_E	η_P	η_{Qv}	η_e
0,304	0,677	0,206	0,028	0,222	0,069	0,543	0,206

No Cenário 2, assim como ocorrido no C1, o Índice de Ativação da Potencialidade (IAP) foi muito baixo, mostrando que uma pequena parcela da potencialidade do reservatório foi ativada. O indicador IUD avaliou que 68% da água disponível foi destinada ao atendimento das demandas consuntivas. O Índice de Utilização da Potencialidade (IUP) mostra que aproximadamente 21% do potencial hídrico da bacia foi utilizado para o atendimento das demandas.

O η_{Vr} apresentou um valor positivo de 2,8%, mostrando que o volume final do reservatório, após o período de 10 anos de estudo, ficou um pouco acima do volume inicial, ou seja, com um pequeno acúmulo de água no reservatório. O índice η_E , que estabelece a eficiência quanto ao armazenamento da água, indicou que 22% de seus volumes afluentes totais foram perdidos por evaporação. O percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório (η_P) foi muito pequeno, apenas 6,9%. O índice que contabiliza os desperdícios de água afluente por vertimento (η_{Qv}) apresentou um valor de 54%, indicando uma parcela significativa de água perdida por vertimento. O valor de η_e , indicador que estabelece o quanto da água foi utilizada para perenização do rio e atendimento das demandas consuntivas, foi em torno de 21%. Baixos valores do η_e indicam, em geral, que existem grandes desperdícios de água no reservatório.

Percebe-se, através dos resultados e análises do Cenário 2, que o reservatório também está operando com uma quantidade muito grande de desperdícios, revelado pelas perdas por vertimento, representada pelo índice (η_{Qv}), e pelas perdas por evaporação na superfície líquida do reservatório, retratada pelo índice η_E .

6.3 CENÁRIO 3

Neste terceiro cenário, as análises otimizantes e comparativas foram realizadas com as culturas agrícolas sazonais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) mais as culturas permanentes estabelecidas no C1 (banana e coco), para o manejo orgânico de produção (sem a utilização de insumos agroquímicos).

O objetivo deste cenário é avaliar o desempenho do sistema hídrico estudado, referente às análises otimizantes do atendimento das demandas de abastecimento urbano, maximização das receitas líquidas auferidas com os cultivos irrigados, maximização da mão de obra empregada nas áreas irrigadas e minimização do déficit de atendimento do volume meta do reservatório, nesta respectiva ordem de prioridade, ou seja, apresenta as mesmas funções objetivos e mesma ordem de prioridade de atendimento do C2. No sistema orgânico de produção não são utilizados agrotóxicos e fertilizantes químicos, portanto, não foram realizadas análises do uso destes insumos.

Os dados de pluviometria e vazões afluentes, utilizados para o Cenário 3, foram os mesmos utilizados para o C2, obtidos por meio da ANA (2001), compreendendo um período normal de precipitação de 10 anos (1976-1985), sem ocorrências de períodos de estiagens.

A Tabela 6.7 apresenta os valores médios anuais das áreas alocadas para as culturas orgânicas sazonais (safra e entressafra) e perenes, com suas respectivas receitas líquidas, mão de obra empregada e o volume de irrigação requerido para atendimento das necessidades hídricas das culturas.

Tabela 6.7 – Resultados da agricultura irrigada para as culturas orgânicas no Cenário 3.

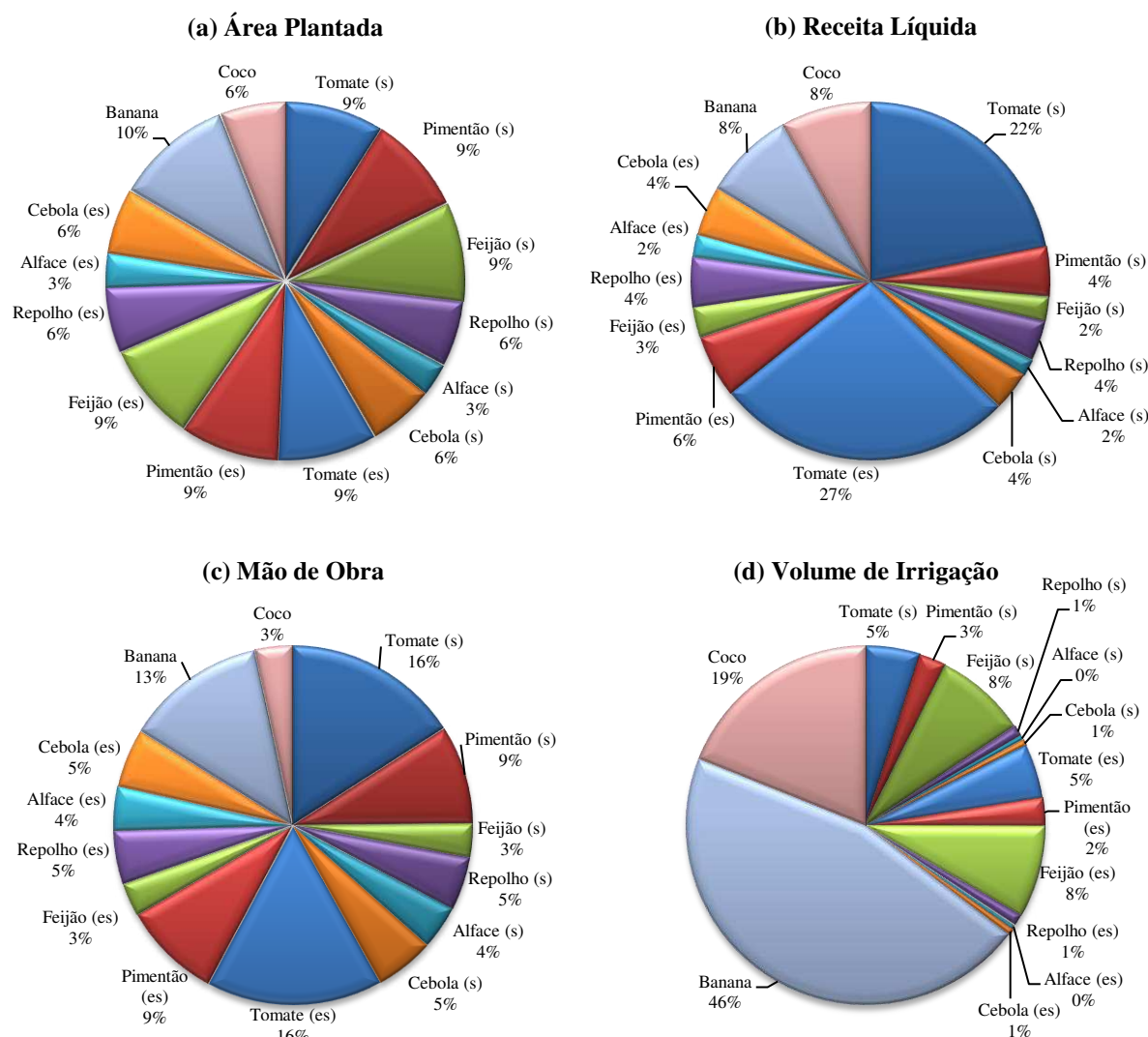
Culturas	Área Plantada (ha)	Receita Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)	Volume de Irrigação (hm³)
Tomate	150	9.773.732,74	42.660	0,29
Pimentão	150	1.992.054,12	23.940	0,15
Feijão	150	990.779,42	8.100	0,50
Repolho	100	1.599.012,02	12.840	0,06
Alface	50	710.583,12	10.560	0,02
Cebola	100	1.588.823,36	14.280	0,03
Tomate (es)	150	12.030.324,92	42.660	0,29
Pimentão (es)	150	2.506.560,01	23.940	0,15
Feijão (es)	150	1.243.991,16	8.100	0,50
Repolho (es)	100	1.987.841,06	12.840	0,06
Alface (es)	50	913.293,37	10.560	0,02
Cebola (es)	100	2.006.185,87	14.280	0,03
Mamão	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	178,41	3.656.622,43	34.255	2,79
Limão	0,00	0,00	0,00	0,00
Goiaba	0,00	0,00	0,00	0,00
Coco	100	3.612.015,62	9.120	1,15
TOTAL	1.678,41	44.611.819,20	268.135	6,12

Na análise da Tabela 6.7, realizada para a agricultura irrigada no Cenário 3, sob o sistema de produção orgânica (sem a utilização de pesticidas e adubos químicos nas parcelas irrigadas), pode-se verificar que foram disponibilizados, para geração dos resultados ótimos com as culturas agrícolas orgânicas, uma área total cultivada de 1.678,41 ha (a mesma área total cultivada no C2), com alocação de áreas para todas as culturas agrícolas sazonais (safra e entressafra) e as culturas perenes calculadas no C1 (banana e coco).

Em relação aos benefícios financeiros gerados com os cultivos orgânicos, destacaram-se as culturas do tomate (safra e entressafra), gerando uma receita líquida média anual de R\$ 9.773.732,74 e R\$ 12.030.324,92, respectivamente. A receita líquida total auferida com as culturas orgânicas no Cenário 3 foi de R\$ 44.611.819,20 (aproximadamente R\$ 6.000.000,00 a mais do que o total gerado no C2 com as culturas agrícolas convencionais), indicando o quanto os defensivos e fertilizantes químicos impactam nos custos de produção e, consequentemente, na receita líquida.

A Figura 6.11 apresenta os percentuais correspondentes das culturas agrícolas orgânicas na área utilizada no perímetro irrigado, na receita líquida gerada com os cultivos, mão de obra empregada e o volume de irrigação demandado para atendimento das necessidades hídricas das culturas.

Figura 6.11 – Percentuais de: (a) área plantada, (b) receita líquida, (c) mão de obra e (d) volume de irrigação das culturas orgânicas cultivadas na área irrigada do Cenário 3.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

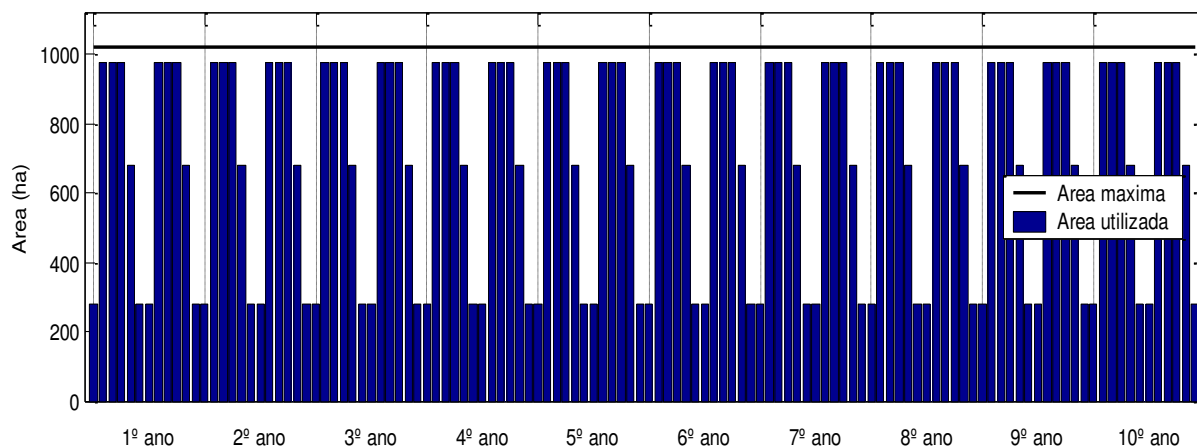
No tocante ao emprego de mão de obra, destacaram-se as culturas do tomate de safra e entressafra (42.660 diárias) e da banana (34.255 diárias), proporcionando os melhores benefícios sociais, seguidas pelas culturas do pimentão e da cebola. Ao todo, foram alocados 268.135 postos de trabalho para as unidades de produção do Cenário 3 (aproximadamente 44.700 diárias a mais que o C2), cultivadas com as culturas agrícolas orgânicas.

Nestas condições, sob a ótica do sistema de manejo agroecológico do Cenário 3 (sem a utilização de insumos agroquímicos), as culturas agrícolas do tomate (safra e entressafra) e da banana foram as que apresentaram uma maior lucratividade na geração de receita líquida e os

melhores índices no emprego de mão de obra, além dos benefícios socioambientais já elucidados.

A Figura 6.12 apresenta as áreas alocadas para as culturas sazonais e perenes do Cenário 3, ao longo do período de 10 anos de otimização.

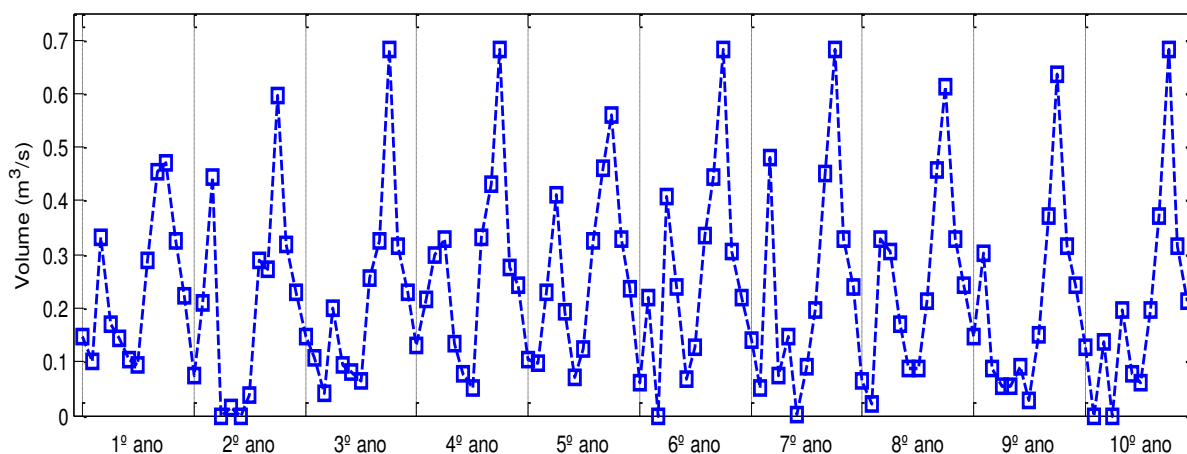
Figura 6.12 – Alocação da área plantada para as culturas irrigadas no Cenário 3.



Foram disponibilizados, para análises do cenário orgânico, uma área cultivada total de 978,41 ha por ano, distribuídos anualmente com 700 ha para as culturas sazonais de safra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola), 700 ha para as culturas sazonais de entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) e 278,41 ha para as culturas perenes (banana e coco).

A Figura 6.13, a seguir, mostra as vazões aduzidas para as áreas irrigadas, durante os 120 meses estudados.

Figura 6.13 – Vazões aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 3.



Observa-se através da Figura 6.13, que os maiores volumes de irrigação, requeridos para o atendimento das necessidades hídricas das culturas, ocorreram no segundo semestre de cada ano, onde as precipitações são bem menores (estação seca). As vazões de irrigação aduzidas para as áreas irrigadas no Cenário 3, durante os 10 anos pesquisados, apresentaram uma média mensal de 0,23 m³/s.

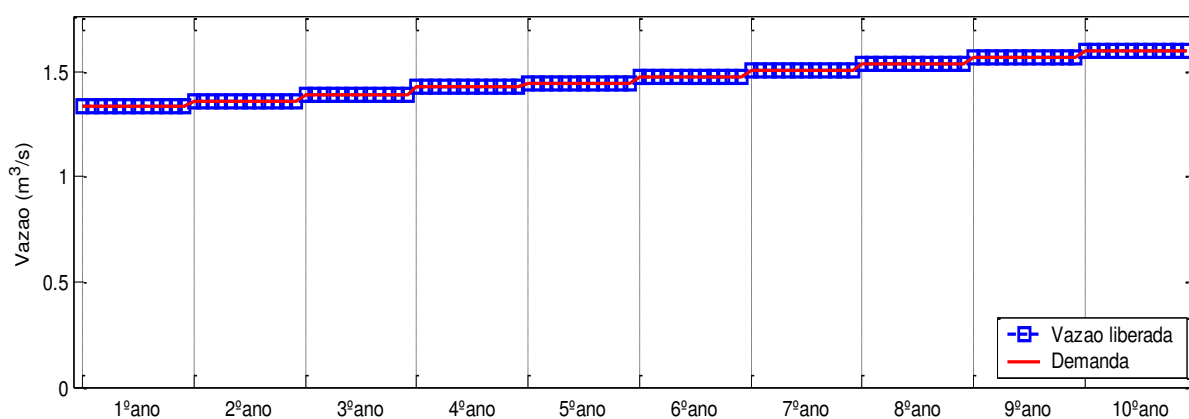
Os indicadores de desempenho associados às parcelas irrigadas no Cenário 3, podem ser visualizados a partir da Tabela 6.8. Seus valores calculados foram os mesmos valores gerados para o C2.

Tabela 6.8 – Indicadores de desempenho associados às áreas irrigadas para o Cenário 3.

FRA	FRI	RGC	FMA	CUI
1,407	1,589	0,629	0,196	0,681

As demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano, no Cenário 3, foram atendidas satisfatoriamente, como mostra a Figura 6.14. Não houve falhas no atendimento às demandas requeridas, apontando que o sistema manteve-se funcionando durante todo o período investigado.

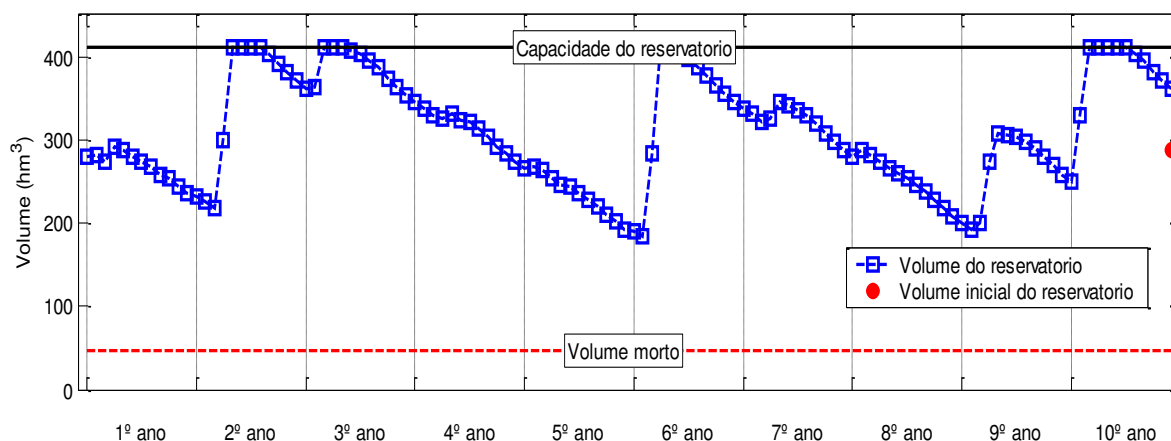
Figura 6.14 – Vazões liberadas e demandas para atendimento da adutora de abastecimento urbano do Cenário 3.



Tal como ocorrido no C2, para o mesmo período pluviométrico e de vazões afluentes (1976-1985), a sustentabilidade hídrica do reservatório foi atendida no Cenário 3, ficando o seu volume final maior que o volume inicial estabelecido, como mostra a Figura 6.15. O volume de água do reservatório apresentou uma variação média de 312 hm³/mês, com os

menores volumes registrados no segundo semestre de cada ano, coincidindo com o período de maior demanda hídrica.

Figura 6.15 – Comportamento hídrico do reservatório Epitácio Pessoa e suas variabilidades volumétricas para o Cenário 3.



Na análise do desempenho do sistema hídrico o modelo de otimização também gerou os valores dos indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 3. Os mesmos avaliam se os reservatórios estão operando com desperdícios e indicam onde estão ocorrendo suas perdas.

Os indicadores de eficiência calculados para o Cenário 3 (sistema de produção orgânico) foram os mesmos valores gerados para o C2 (sistema de produção convencional).

Tabela 6.9 – Indicadores de eficiência associados ao reservatório para o Cenário 3.

IAP	IUD	IUP	η_{Vr}	η_E	η_P	η_{Qv}	η_e
0,304	0,677	0,206	0,028	0,222	0,069	0,543	0,206

6.4 RESUMO DOS CENÁRIOS ESTUDADOS

A Tabela 6.10 apresenta um resumo dos totais gerados na agricultura irrigada em cada cenário em relação a área máxima plantada (ha), receita líquida auferida com as culturas (R\$), mão de obra empregada (diárias), uso de adubos e defensivos químicos (toneladas) e a vazão de irrigação (hm³).

Tabela 6.10 – Resumo dos totais gerados na agricultura irrigada para cada cenário estudado.

Cenários	Área Plantada (ha)	Rec. Líquida (R\$)	Mão de Obra (diárias)	Adubos + Def. (T)	Vol. Irrigação (hm ³)
Cenário 1	278,41	7.001.391,19	36.146	215,03	3,24
Cenário 2	1.678,41	38.612.110,56	223.446	1.686,18	6,12
Cenário 3	1.678,41	44.611.819,20	268.135	–	6,12

Observa-se na Tabela 6.10, para o planejamento agrícola realizado com as culturas perenes no C1, que só é possível cultivar, de maneira sustentável e garantindo o atendimento das demandas de abastecimento urbano, cerca de 100 ha de coco e 178,41 ha de banana, totalizando uma área máxima cultivada de 278,41 ha.

A maior receita líquida foi de R\$ 44.611.819,20 obtida no C3 com a exploração das culturas orgânicas (aproximadamente R\$ 6.000.000,00 a mais do que o total gerado no C2 com as culturas agrícolas convencionais), indicando o quanto os defensivos e fertilizantes químicos impactam nos custos de produção e, conseqüentemente, na receita líquida.

A alocação máxima de mão de obra ocorreu no C3 (manejo orgânico) com um total de 268.135 diárias (aproximadamente 44.700 diárias a mais que o C2 de manejo convencional). O uso de adubação e defensivos químicos mínimos esteve presente nos C1 e C2, exceto no C3 (estabelecido com as culturas agrícolas orgânicas).

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Diante da problemática da escassez e degradação dos recursos naturais na agricultura moderna, que acarretam vários custos ambientais e sociais indesejáveis, a necessidade de otimizar o uso destes insumos torna-se indispensável para um adequado e sustentável planejamento das atividades agrícolas.

O presente trabalho foi desenvolvido por meio da aplicação de um modelo de otimização, baseado em programação linear, para realização de análises otimizantes e comparativas de cenários propostos para o sistema estudado, composto pelo reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), as áreas irrigadas em seu entorno e seus manejos agrícolas de produção selecionados (convencional e orgânico).

Os resultados gerados com a aplicação do modelo de otimização contemplaram dados referentes ao sistema do reservatório, fatores hidroclimáticos, dados hidroagrícolas, agrônômicos, além de aspectos econômicos, sociais e ambientais. As análises dos resultados otimizados possibilitaram a busca dos melhores benefícios possíveis, podendo auxiliar produtores e usuários no processo de tomada de decisão em problemas envolvendo o planejamento agrícola e o gerenciamento dos recursos hídricos.

Em cumprimento aos objetivos propostos, para análise do desempenho do sistema hídrico do reservatório e do potencial dos manejos agrícolas selecionados (convencional e orgânico), conclui-se que:

Para o C1, onde foi proposta a realização de um planejamento agrícola com as culturas perenes selecionadas neste estudo (mamão, banana, limão, goiaba e coco), os melhores benefícios econômicos e sociais foram gerados com a alocação de áreas apenas para as culturas da banana e do coco, sob o sistema de produção agrícola convencional. Tais culturas, com base nas respostas geradas pelo modelo de otimização, apresentaram-se mais toleráveis ao déficit hídrico do período analisado (1994-2003), mais lucrativas e com maior potencial de produção. A lucratividade total auferida com a exploração destas culturas foi de R\$ 7.001.391,19, com um total de mão de obra empregada de 36.146 diárias/ano. Na minimização dos impactos causados com a utilização de adubos e defensivos químicos o modelo calculou um uso total de 215,04 toneladas por ano.

Apesar da utilização de uma série pluviométrica com limitações hídricas, no C1, o sistema não apresentou falhas no atendimento às demandas consuntivas (abastecimento urbano e irrigação), durante todo o período investigado (10 anos), garantindo a sua sustentabilidade hídrica. Quanto a eficiência no uso da água, foi possível verificar que a potencialidade do reservatório foi ativada em 39% para atendimento das demandas, mostrando com isso que o potencial do açude está sendo pouco utilizado, quando comparado a todo o potencial hídrico da bacia. Verificou-se também, através dos valores do ηE e ηQv , perdas significativas de água por evaporação na superfície do reservatório (27%) e por vertimento (40%), respectivamente. Quanto ao desempenho das áreas irrigadas foram verificadas algumas perdas consideráveis, identificadas pelos indicadores FRA e FRI. O FRA indicou que a quantidade de água disponibilizada para as parcelas irrigadas foi 49% superior à demanda hídrica das culturas, enquanto o FRI mostrou que foram gastos 67% a mais da demanda hídrica da cultura para atender suas necessidades hídricas.

Nos Cenários 2 e 3, onde as análises realizadas abrangeram os manejos de produção convencional e orgânico, respectivamente, foram empregadas culturas agrícolas sazonais de safra e entressafra (tomate, pimentão, feijão, repolho, alface e cebola) mais as culturas perenes estabelecidas no C1 (banana e coco), utilizando uma série pluviométrica normal de 10 anos (1976-1985), para ambos os cenários analisados.

Os resultados obtidos mostraram que a receita líquida auferida com a agricultura irrigada no C3 (manejo orgânico) superou a receita líquida do C2 (manejo convencional), correspondendo a um valor de R\$ 44.611.819,20 (14% a mais). Ao todo, foram alocados 268.135 postos de trabalho para as áreas irrigadas do C3 (aproximadamente 44.700 diárias a mais que o C2), exploradas com as culturas orgânicas. Quanto ao uso de defensivos e fertilizantes químicos no sistema de produção convencional, observou-se a grande quantidade utilizada, cerca de 1.690,00 toneladas/ano, distribuída entre as culturas agrícolas sazonais e perenes. As culturas que apresentaram uma maior lucratividade, em ambos os manejos, foram: tomate (safra e entressafra), banana, coco e pimentão (safra e entressafra).

Com a utilização de uma série pluviométrica normal, sem ocorrências de períodos de secas (1976-1985), para os Cenários 2 e 3, o sistema não apresentou falhas no atendimento as demandas de abastecimento urbano e irrigação, durante os 10 anos de otimização, garantindo sua sustentabilidade hídrica. Observou-se, quanto a eficiência no uso da água, que a potencialidade do reservatório foi ativada em 30% para as demandas, mostrando que o potencial do açude está sendo pouco utilizado, em relação a todo o potencial hídrico da bacia. Os valores do ηE e ηQv revelaram perdas significativas de água por evaporação (22%) e por

vertimento (54%), respectivamente. Quanto ao desempenho das parcelas irrigadas nos Cenários 2 e 3, também foram verificadas algumas perdas de água, reveladas pelos indicadores FRA e FRI. O FRA indicou que a quantidade de água disponibilizada para as áreas irrigadas foi 41% superior à demanda hídrica das culturas, enquanto o FRI indicou que foram gastos 59% a mais da demanda hídrica da cultura para atender suas necessidades hídricas.

Tendo em vista o exposto, é possível concluir que é de suma importância o planejamento otimizado das atividades agrícolas, evitando com isso maiores riscos e auxiliando os produtores no processo de tomada de decisão estratégica do setor.

Através da análise dos manejos de produção selecionados neste estudo, pode-se recomendar a prática da agricultura orgânica como forma de garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção agrícola, proporcionando aos produtores um aumento significativo em suas receitas líquidas, além da preservação e conservação dos recursos naturais.

7.2 RECOMENDAÇÕES

A fim de aprimorar os resultados com as análises da operação de sistemas de reservatórios, perímetros irrigados, seleção de cultivos e manejos de produção agrícola, apontam-se algumas recomendações para pesquisas futuras:

- Seleção de outras culturas a serem plantadas nos perímetros irrigados, com suas cotações de mercado atualizadas para cada cultura;
- Incluir outros indicadores de desempenho associados aos perímetros irrigados, avaliando com mais precisão a distribuição e o uso eficiente da água, sustentabilidade da irrigação, aspectos ambientais, socioeconômicos e de manejo;
- Inclusão de futuras demandas de abastecimento urbano;
- Estudar as condições de operação ótima e conjunta do sistema hídrico incluindo as vazões e demandas do projeto de transposição de águas do rio São Francisco;
- Implementação de dados de qualidade de água no modelo;
- Incluir outros objetivos/critérios, de acordo com a situação econômica e socioambiental do sistema analisado, para alimentação da matriz de avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGISA - Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba. **Sustentabilidade hídrica do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão)**. Documento de Referência. João Pessoa - PB, 2004. 54p.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Planilha com dados de precipitação para a estação do reservatório Epitácio Pessoa, período de 1994 a 2011**. Campina Grande - PB, 2012.

AIAB - Associação dos Irrigantes do Açude Boqueirão. **Cadastro dos irrigantes**. 2013. Documento não publicado.

AIAB - Associação dos Irrigantes do Açude Boqueirão. **Cadastro de áreas irrigadas**. 2012. Documento não publicado.

ALENCAR, V. C. **Análises multiobjetivo, baseada em programação linear, e comparativa para agriculturas de manejo convencional e orgânico**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009. 351p.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Editora Universitária - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2008. 117p.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Editora Expressão Popular, São Paulo - SP, 2012. 400p.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3 ed. Editora Universitária - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1995.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Projeto Tecnologias Alternativas - FASE. Rio de Janeiro. 1989. 237p.

ANA/HIDROWEB - Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 17 set. 2012.

ARAGÃO, T. G. **Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo acquanet**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008. 124p.

ARRUDA, R. C. **Agrotóxicos e saúde na versão da medicina tradicional chinesa: o caso da agricultura irrigada do açude Epitácio Pessoa**. João Pessoa - PB, 2008.

AUGUSTO, L. G. S.; CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; FARIA, N. M. X.; BÚRIGO, A. C.; FREITAS, V. M. T.; GUIDUCCI FILHO, E. **Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Dossiê ABRASCO - 2ª Parte. Rio de Janeiro - RJ, 2012. 135p.

BARROS, J. D. S.; SILVA, M. F. P. **Práticas agrícolas sustentáveis como alternativa ao modelo hegemônico de produção agrícola**. Revista, Sociedade e Desenvolvimento Rural, v. 4, n. 2, p. 89-103, 2010.

BAZZANI, G. M. **An integrated decision support system for irrigation and water policy design: DSIRR**. Environmental Modelling & Software, v. 20, p 153-163, 2005.

BNB - Banco do Nordeste do Brasil S/A. **Planilhas de orçamentos agrícolas 2012**. Disponível em meio digital. Campina Grande - PB, 2012.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. **Análise multiobjetivo**. In: PORTO, R. L. L. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. 2 ed. Editora Universitária - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2002.

BRAGA JUNIOR, B. P. F. **Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos**. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo - SP, 1987.

BRITO, F. B.; VIANA, P. C. G. **Açude do Boqueirão, dez anos de desacertos (1998/2008), da crise de abastecimento ao afogamento do conflito**. In: II Seminário Luso-Brasileiro Agricultura Familiar e Desertificação. João Pessoa - PB, 2008.

BRITO, R. A. L.; SOARES, J. M.; CAVALCANTI, E. B.; BOS, M. G. **Irrigation performance assessment for Nilo Coelho Scheme in Northeastern Brazil: A preliminary analysis.** In: Afro-Asian Regional Conference. Bali, Indonésia, 1998.

CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P.; CAMARGO, A. M. M. P.; ALVES, H. S. **Algumas considerações sobre a construção da cadeia de produtos orgânicos.** Revista Informações Econômicas, v. 34, n. 2, p. 55-69, 2004.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: aproximando conceitos com a noção de sustentabilidade.** In: RUSCHEINSKY, A. **Sustentabilidade: uma paixão em movimento.** Porto Alegre - RS, 2004.

CARVALHO, D. F. C.; SOARES, A. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. **Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorutuba, utilizando a técnica da programação linear.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4, n. 2, p. 203-209, 2000.

CELESTE, A. B. **Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó - PB e de suas potenciais demandas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006. 119p.

COLLISCHONN, B. **Estruturas de reservação de água: aspectos técnicos e legais.** In: Anais do III Simpósio Uso da Água na Agricultura. Passo Fundo - RS, 2009.

COHON, J. L.; MARKS, D. H. **A review and evaluation of multiobjective programming techniques.** Water Resources Research, v. 11, n. 2, p. 208-220, 1975.

CURI, W. F.; CURI, R. C. **CISDERGO: Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation.** In: Anais do V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Aracaju - SE, 2001.

CURI, W. F.; CURI, R. C. **Optimal Reservoir Network Analysis Program.** In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. CD-ROM, Aracaju - SE, 2001.

CURI, W. F.; CURI, R. C. **Notas de aula da disciplina Engenharia de Recursos Hídricos: introdução ao estudo de demandas d'água.** UFCG. Campina Grande - PB, 2004.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. São Paulo - SP, 2005. 116p.

DAHLQUIST, G.; BJORCK, A. **Numerical methods**. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

DAROLT, M. R. **Cenário internacional: situação da agricultura orgânica em 2003**. Editora IAPAR, Londrina - PR, 2003. 20p.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Estudo da viabilidade ambiental do açude público Epitácio Pessoa**. João Pessoa - PB, 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33. Editora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campina Grande - PB, 1994. 306p.

EHLERS, E. A. **Possíveis veredas da transição à agricultura sustentável**. Agricultura Sustentável, v. 2, n. 2, p. 12-22, 1995.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Cadastro dos irrigantes**. 2008. Documento não publicado.

EMPASA - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. **Cotação de preços dos produtos agrícolas, 2012**. Documento não publicado. Campina Grande - PB, 2012.

FEIRING, B. R.; SASTRI, T.; SIM, L. S. M. **A stochastic programming model for water resource planning**. Mathematical and Computer Modelling, v. 27, n. 3, p. 1-7, 1998.

FARIAS, E. E. V. **Distribuição da água do projeto de integração do rio São Francisco no estado da Paraíba - eixo leste: análise de perdas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009. 143p.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SRINIVASAN, V. S. **Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 3, p. 135-146, 2006.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4ª edição. Editora Universitária - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2009. 658p.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3 ed. Editora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campina Grande - PB, 1999. 412p.

HARKALY, A. **Perspectivas da agricultura orgânica no mercado e o seu desenvolvimento**. In: Anais do Seminário de Agricultura Orgânica e Familiar. Sistema de Produção: Sustentabilidade para a Agricultura Familiar. Campinas - SP, 2001. 169p.

HAYES, W. J.; LAWS, E. R. **Handbook of pesticides toxicology**. 1ª ed. Academic Press, San Diego, 1997.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. **Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation**. Water Resources Research, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil, série histórica de área plantada; série histórica de produção agrícola; safras 1998 a 2011**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 21 mar. 2012.

IRRIGAZINE, edição nº6. Votuporanga: Agros Editora, 2007.

JAMES, J. R.; TWEEDY, B. G.; NEWBY, C. **Efforts by industry to improve the environmental safety of pesticides**. Annual Review of Phytopathology, v. 31, p. 423-439, 1993.

JARDIM, S. B.; LANNA, A. E. L. **Aplicabilidade de algumas técnicas de análises multiobjetiva ao processo decisório no âmbito dos comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 4, p. 169-191, 2003.

JIRACHEEWEE, N.; ORON, G.; MURTY, V. V. N.; WUWONGSE, V. **Computerized database for optimal management of community irrigation systems in Thailand**. Agricultural Water Management, v. 31, p. 237-251, 1996.

JUAN, J. A.; TARJUELO, J. M.; VALIENTE, M.; GARCIA, P. **Model for optimal cropping patterns within the farm base don crop water production functions and irrigation uniformity I: development of a decision model.** Agricultural Water Management, v. 31, p. 115-143, 1996.

KUO, S. F.; LIU, C. W.; CHEIN, S. K. **Comparative study of optimization techniques for irrigation project planning.** Journal of the American Water Resources Association - JAWRA, v. 39, n. 1, p. 59-73, 2003.

LAMPKIN, N. **Organic farming.** Farming Press, Ipswich, Inglaterra, 1990.

LIMA, E. F. **Agricultura sustentável: origem e perspectivas.** Revista Sociedade & Natureza, v. 12, n. 23, p. 213-229, 2000.

LIMA, H. V. C.; LANNA, A. E. L. **Modelos para operação de sistemas de reservatórios: atualização do estado da arte.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 3, p. 5-22, 2005.

LOCKERETZ, W.; BLOBAUM, R. **A comparasion of the prodution, economic, returns, and energy intensiveness of corn belt farms that do and do not use inorganic fertilizers and pesticides.** St. Louis, Wash. Univ/Contr. Biol. Nat. Syst., 1975.

LYZNICKI, M. S. et al. **Educational and Information Strategies to Reduce Pesticide Risks.** Preventive Medicine, Chicago, v. 26, p. 191-200, 1997.

MACHADO NETO, J. G. **Riscos de contaminação ocupacional com agrotóxicos.** Summa Phytopathologica, v. 18, p. 63-71, 1992.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários (AGROFIT-2004).** Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 25 jul. 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio de 2009/2010 a 2019/2020.** Brasília - DF, 2010. 76 p.

MARQUES, M. N. **Avaliação do impacto de agrotóxicos em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo. Uma contribuição à análise crítica da legislação sobre o padrão de potabilidade.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 198p.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas.** Seminário Internacional sobre Potencialidades e Limites do Desenvolvimento Sustentável. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS, 1999.

MATEUS, G. R.; LUNA, H. P. C. **Programação não linear.** Editora da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte - MG, 1986. 289p.

MELO, A. D. **Operação de reservatórios no semiárido considerando critérios de qualidade de água.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005. 89p.

MIRANDA, A. C.; MOREIRA, J. C.; CARVALHO, R.; PERES, F. **Neoliberalismo, o uso dos agrotóxicos e a crise da soberania alimentar no Brasil.** Revista Ciência e Saúde Coletiva, v. 12, n. 1, p. 15-24, 2007.

MOHAN, S.; RAIPURE, D. M. **Multiobjective analysis of multireservoir system.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 118, p. 356-370, 1992.

MOREIRA, J. C.; JACOB, S. C.; PERES, F. **Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ.** Revista Ciência e Saúde Coletiva, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.

MOUSAVI, H.; RAMAMURTHY, A. S. **Optimal design of multi-reservoir systems for water supply.** Advances in Water Resources, v. 23, p. 613-624, 2000.

NAIR, P. K. R. **Soil productivity aspects of agroforestry.** Nairobi: ICRAF, 1982.

NGUYEN, M. L.; HAYNES, R. J. **Energy and labour efficiency for three pairs of conventional and alternative mixed cropping (pasture-arable) farms in Canterbury, New Zealand.** Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 52, Issues 2-3, February 1995, p. 163-17.

OLHEAF, R.C. **Organic Agriculture**. New Jersey, Allandheld; Osmun and Co. Pub. Inc., Sd. 1978.

OLIVEIRA, J. A.; LANNA, A. E. L. **Otimização de um sistema de reservatórios atendendo a múltiplos usos no nordeste brasileiro**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, p. 123-141, 1997.

ONUBR - Organização das Nações Unidas no Brasil. **Países-Membros**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/conheca-a-onu/paises-membros>>. Acesso em: 02 jun. 2013.

ORMOND, J. G. P.; PAULA, S. R. L.; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L. T. M. **Agricultura orgânica: quando o passado é futuro**. BNDES Setorial. Rio de Janeiro - RJ, n. 15, p. 3-34, 2002.

PAULUS, G.; MULLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre - RS, 2000. 86p.

PELAEZ, V.; TERRA, F. H. B.; SILVA, L. R. **A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente**. In: XIV Encontro Nacional de Economia Política. São Paulo - SP, 2009.

PERES, F.; MOREIRA, J. C.; DUBOIS, G. S. **Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema**. In: PERES, F.; MOREIRA, J. C. **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro - RJ, 2003.

PERES, F.; SILVA, J. J. O.; ROSA, H. V. D.; LUCCA, S. R. **Desafios do estudo da contaminação humana e ambiental por agrotóxicos**. Revista Ciência e Saúde Coletiva. v. 10, p. 27-37, 2005.

PINGALI, P. L.; MARQUEZ, C. B.; PALIS, F. G. **Pesticieds and philippine rice farmer health: a medical and economic analysis**. American Journal of Agricultural Economics, v. 76, p. 587-592, 1994.

RECA, J.; ROLDÁN, J.; ALCAIDE, M.; LÓPEZ, R.; CAMACHO, E. **Optimization model for water allocation in déficit irrigation systems**. Agricultural Water Management, v. 48, p. 103-116, 2001.

REDCLIFT, M.; GOODMAN, D. **The machinery of hunger: the crisis of Latin America food systems.** In: Environment and Development in Latin America, 1991.

REGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. **Uma análise da crise 1998-2000 no abastecimento d'água de Campina Grande - PB.** In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, v. 2, p. 459-468, 2000.

REGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do açude Epitácio Pessoa - Boqueirão na bacia hidrográfica do rio Paraíba em cenários de vindouros anos secos.** In: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Nov. 2012, João Pessoa.

RESENDE, F. V.; VIDAL, M. C. **Organização da propriedade no sistema orgânico de produção.** Embrapa Informação Tecnológica, Brasília - DF, 2008. 11p.

RIGOTTO, R. M. **Agrotóxicos.** Núcleo TRAMAS - Trabalho, Meio Ambiente e Saúde para a Sustentabilidade. Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza - CE, 2010. 12p.

ROS, D. A.; BARROS, M. **Estratégias operacionais de sistemas hidroenergéticos: impactos de diferentes objetivos.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. CD-ROM, Curitiba - PR, 2003.

SALDANHA, J. C.; ANTONGIOVANNI, L.; SCARIM, P. C. **Diálogos entre a multifuncionalidade da agricultura familiar e os projetos coletivos da educação do campo e da agroecologia no Norte do Espírito Santo.** In: CAZELLA, A. A.; BONNAL, P.; MALUF, R. S. **Agricultura familiar: multifuncionalidade e desenvolvimento territorial no Brasil.** Rio de Janeiro - RJ, 2009.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. **Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistema de recursos hídricos I: metodologia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, n. 4, p. 49-60, 2011.

SANTOS, V. S. **Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007. 143p.

SANTOS, J. G. R.; SANTOS, E. C. X. R. **Agricultura orgânica: teoria e prática**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba - EDUEP, Campina Grande - PB, 2008. 230p.

SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **PERH-PB - Plano estadual de recursos hídricos. Resumo executivo e atlas**. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba - AESA. Brasília - DF, 2006. 112p.

SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Levantamento batimétrico do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão - PB**, 2004.

SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Relatório de fiscalização da prática de irrigação no entorno do açude Epitácio Pessoa**. 2001. Documento não publicado.

SINDAG - Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas. **Mercado brasileiro de fitossanitários**. In: Anais do Workshop sobre Avaliação da Exposição de Misturadores, Abastecedores e Aplicadores de Agrotóxicos. Brasília - DF, 2009.

SINDAG - Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas. **Dados de produção e consumo de agrotóxicos**. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

SINDAG - Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas. **Vendas de defensivos agrícolas são recordes e vão a US\$ 8,5 bi em 2011**. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/noticia.php?News_ID=2256>. Acesso em: 22 abr. 2012.

SOBREIRA, A. G. P.; ADISSI, P. J. **Agrotóxicos: falsas premissas e debates**. Revista Ciência e Saúde Coletiva, v. 8, n. 4, p. 985-990, 2003.

SOUSA, J. S. C. **SIRRAD - Software de projetos de irrigação e recomendação de adubação para região do alto sertão paraibano**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009. 164p.

SOUTO, R. A. **A viabilidade socioeconômica e ambiental das práticas agroecológicas: estudo de caso em Lagoa Seca, Paraíba**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011. 217p.

SOUZA, N. J. **Desenvolvimento econômico**. 5 ed. Editora Atlas S/A, São Paulo - SP, 2005.

TEIXEIRA, J. C. **Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais.** Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros. Três Lagoas - MS. v. 2, n. 2, p. 21-42, 2005.

TERRAZZAN, P.; VALARINI, P. J. **Situação do mercado de produtos orgânicos e as formas de comercialização no Brasil.** Revista Informações Econômicas. São Paulo - SP. v. 39, n. 11, p. 27-41, 2009.

TURPIN, N. et al. **AgriBMPWater: systems approach to environmentally acceptable farming.** Environmental Modelling & Software, v. 20, p. 187-196, 2005.

VAZ, P. A. B. **O Direito ambiental e os agrotóxicos: responsabilidade civil, penal e administrativa.** Editora Livraria do Advogado, Porto Alegre - RS, 2006. 240p.

VIEIRA, Z. M. C. L. **Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão da demanda de água.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2008. 237p.

VIEITES, R. G. **Agricultura sustentável: uma alternativa ao modelo convencional.** Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR, v. 5, n. 2, p. 01-12, 2010.

WILLER, H.; KILCHER, L. **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2009.** IFOAM, Bonn; FiBL, Frick; ITC, Geneva, 2009. 299p.

WILLER, H.; YUSSEFI, M. **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends, 2006.** London, 2006. 213p.

WILLER, H.; YUSSEFI, M.; SORENSEN, N. **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends, 2008.** London, 2008. 272p.

WURBS, R. A. **Reservoir - system simulation and optimization models,** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 119, n. 4, p. 455-472, 1993.

ZAMBERLAM, J.; FRONCHETI, A. **Agricultura ecológica: preservação do pequeno agricultor e do meio ambiente.** Editora Vozes. Petrópolis - RJ, 2007. 214p.

ANEXOS

ANEXO A – Cota x área x volume do reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão)

Cota (m)	Área (m²)	Volume (m³)
343,00	37.223	16.994
344,00	70.593	69.800
345,00	142.867	174.286
346,00	257.180	366.771
347,00	421.869	707.956
348,00	631.536	1.230.617
349,00	873.903	1.981.542
350,00	1.158.564	2.990.176
351,00	1.506.467	4.314.820
352,00	1.866.251	5.996.469
353,00	2.261.179	8.058.687
354,00	2.697.741	10.529.191
355,00	3.217.443	13.477.904
356,00	3.859.121	17.006.273
357,00	4.556.783	21.217.917
358,00	5.260.937	26.112.154
359,00	6.158.316	31.819.531
360,00	7.030.425	38.416.664
361,00	8.029.009	45.934.680
362,00	8.999.597	54.453.579
363,00	10.013.408	63.965.416
364,00	11.031.533	74.490.376
365,00	12.260.463	86.139.409
366,00	13.693.060	99.074.597
367,00	15.486.319	113.650.769
368,00	17.365.964	130.099.018
369,00	19.443.185	148.504.719
370,00	21.743.159	169.122.415
371,00	24.290.550	192.184.935
372,00	26.752.308	217.765.387
373,00	29.120.116	245.796.027
374,00	31.256.425	276.130.869
375,00	33.046.998	308.486.064
376,00	34.539.523	342.495.505
377,00	36.142.787	377.846.134
377,55	38.135.841	397.990.704
377,90	39.623.321	411.686.287

Fonte: SEMARH (2004).

ANEXO B – Evolução das demandas e saldo para outras finalidades (Res. Boqueirão)

Ano	Abastecimento (l/s)	Saldo para outras finalidades (l/s)
2004	1131	695
2005	1155	671
2006	1179	647
2007	1204	622
2008	1229	597
2009	1254	572
2010	1280	546
2011	1306	520
2012	1333	493
2013	1360	466
2014	1387	439
2015	1415	411
2016	1444	382
2017	1473	353
2018	1503	323
2019	1533	293
2020	1564	262
2021	1596	230
2022	1629	197
2023	1662	164

Fonte: AAGISA (2004).

ANEXO C – Municípios atendidos pelo reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) segundo seus sistemas adutores

Sistema Adutor Campina Grande	
ETA - Gravatá	
Cidades	População (hab)
Alagoa Nova	19.799
Barra de Santana	8.909
Campina Grande	383.764
Caturité	4.629
Lagoa Seca	25.766
Matinhas	4.314
Pocinhos	16.538
Queimadas	40.323
São Sebastião de Lagoa de Roça	11.320
Catolé de Boa Vista*	3.254
Currálinho*	2.986
Galante*	5.379
Genipapo*	3.798
São José da Mata*	4.986
TOTAL	535.765
Sistema Adutor Cariri	
ETA - Boqueirão	
Cidades	População (hab)
Boa Vista	5.909
Boqueirão	16.360
Cabaceiras	5.112
Cubati	6.546
Juazeirinho	16.476
Olivedos	3.622
Pedra Lavrada	7.035
Seridó	10.091
Soledade	13.623
São Vicente do Seridó*	3.724
TOTAL	88.498

Fonte: Adaptado de AESA (2012).

(*) Distrito

ANEXO D – Postos pluviométricos do Alto Curso do Rio Paraíba

Nome do posto	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Olivedos	Olivedos	6° 59'	36° 15'	545
Desterro	Desterro	7° 17'	37° 6'	590
Juazeirinho	Taperoá	7° 4'	36° 35'	570
Salgadinho	Salgadinho	7° 6'	36° 51'	410
Taperoá	Taperoá	7° 12'	36° 50'	500
S. José dos Cordeiros	S. José dos Cordeiros	7° 23'	36° 49'	610
S. João do Cariri	S. João do Cariri	7° 24'	36° 32'	445
Serra Branca	Serra Branca	7° 29'	36° 40'	450
Soledade	Soledade	7° 4'	36° 22'	560
Pocinhos	Pocinhos	7° 4'	36° 4'	624
Gurjão	Gurjão	7° 16'	36° 29'	480
Boa Vista	Campina Grande	7° 16'	36° 14'	490
Boqueirão	Boqueirão	7° 29'	36° 07'	380
Prata	Prata	7° 41'	37° 06'	600
Bananeiras	Sumé	7° 31'	36° 58'	700
Coxixola	Serra Branca	7° 37'	36° 37'	465
Sumé	Sumé	7° 39'	36° 56'	510
Caraúbas	São João do Cariri	7° 43'	36° 31'	460
Congo	Congo	7° 48'	36° 40'	500
Camalau	Camalau	7° 55'	36° 52'	565
Cabaceiras	Cabaceiras	7° 30'	36° 17'	390
Barra S. Miguel	Barra S. Miguel	7° 45'	36° 20'	520
S. Sebastião Umb.	S. Sebastião Umb.	8° 09'	37° 01'	600
Santa Maria da Paraíba	S. João do Tigre	8° 02'	36° 41'	800
S. João do Tigre	S. João do Tigre	8° 04'	36° 52'	616

Fonte: AAGISA (2004).

ANEXO E – Plano de cultivo das áreas irrigadas do município de Boqueirão

Culturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tomate (s)												
Pimentão (s)												
Feijão (s)												
Repolho (s)												
Alface (s)												
Cebola (s)												
Tomate (es)												
Pimentão (es)												
Feijão (es)												
Repolho (es)												
Alface (es)												
Cebola (es)												
Mamão (p)												
Banana (p)												
Limão (p)												
Goiaba (p)												
Coco (p)												

Fonte: AIAB (2008).

Legenda: (s) - safra; (es) - entressafra; (p) - perenes