



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E SOCIAIS-CCJS**  
**CURSO DE ADMINISTRAÇÃO**



**MARIANA FERREIRA PESSOA**

**PLANEJAMENTO ÓTIMO DA AGRICULTURA IRRIGADA: Um estudo de caso no**  
**Perímetro de São Gonçalo no Sertão Paraibano**

**SOUSA – PB**  
**2013**

**MARIANA FERREIRA PESSOA**

**PLANEJAMENTO ÓTIMO DA AGRICULTURA IRRIGADA: Um estudo de caso no  
Perímetro de São Gonçalo no Sertão Paraibano**

Monografia apresentada ao Curso de Administração da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Administração.

**Orientador:** Professor Dr. Allan Sarmiento Vieira;  
**Co-orientador:** Professor Esp. Raul Ventura Júnior.

**SOUSA – PB  
2013**

**MARIANA FERREIRA PESSOA**

**PLANEJAMENTO ÓTIMO DA AGRICULTURA IRRIGADA: Um estudo de caso no  
Perímetro de São Gonçalo no Sertão Paraibano**

Esta monografia foi julgada adequada para obtenção do grau de Bacharel em Administração, e aprovada na forma final pela Banca Examinadora designada pela Coordenação do Curso de Administração do Centro de Ciências Jurídicas e Sociais da Universidade Federal de Campina Grande-PB, Campus Sousa.

Monografia aprovada em: 20 de setembro de 2013

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Doutor Allan Sarmento Vieira - Orientador. UFCG.

---

Professor Esp. Alexandre Wállice Ramos Pereira - UFCG.

---

Professora Esp. Cristiane Queiroz Reis – UFCG.

**SOUSA – PB  
2013**

As pessoas que me dão amor puro e verdadeiro: meus pais, Gilberto de Abreu Pessoa e Raimunda Nonata F. Pessoa, minhas irmãs, Gabriela Maria F. Pessoa e Sarah Gitana F. Pessoa. Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus, minha força maior, pelo dom da vida, por segurar minha mão e guiar-me pelo caminho certo, por todas as vezes que sinto sua presença dentro de mim, e por transmitir força e fé para eu enfrentar os obstáculos.

Aos meus pais, por me proporcionarem uma boa educação, pelo amor e carinho, por acreditarem em mim em todos os momentos, e passarem uma segurança de que eu sou capaz de realizar meus sonhos.

As minhas irmãs, pelo carinho, fidelidade e companheiro de todos os dias.

Ao meu orientador, professor Dr. Allan Sarmiento, pela paciência e compreensão, pela confiança depositada em mim, pelo conhecimento transmitido, pelas palavras de incentivo e perseverança, enfim, por ter me guiado na realização desta tão sonhada conquista.

Aos meus amigos, colegas de todos os dias, Rozângela, Douglas, Mayara, Cynthia, Cleyane, Bárbara, Ingrid, Roberto, Luciene, pela fidelidade, confiança, carinho, pelos risos e estudos realizados juntos, por tornarem minhas noites muito alegres e especiais.

A minha querida Universidade Federal de Campina Grande, Campus Sousa, e aos professores da UACC, por me proporcionarem momentos inesquecíveis, pela formação acadêmica e pela experiência humana e profissional.

*“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar, não apenas planejar, mas também acreditar.”  
(Anatole France)*

## RESUMO

PESSOA, M. F. **Planejamento Ótimo da Agricultura Irrigada:** Um estudo de caso no Perímetro de São Gonçalo no Sertão Paraibano. 2013. 61p. Monografia (Administração). Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, 2013.

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado no Distrito de São Gonçalo, na cidade de Sousa, Estado da Paraíba. A agricultura irrigada é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no sertão paraibano, proporcionando a produção de alimentos e a geração de emprego e renda para as famílias desta região. Assim, o principal objetivo desta pesquisa foi propor um planejamento ótimo para o perímetro em estudo, que considere um sistema de irrigação eficiente, culturas aptas à região, rentáveis e que consomem menor quantidade de água possível. Com a visita *in loco*, foi observado que o perímetro não dispõe de ações e planejamento sustentáveis a fim de fortalecer a prática dessas atividades. Para a realização desse planejamento, foi utilizado um modelo matemático, que utiliza técnicas de programação linear, que visa à obtenção de uma solução ótima para o problema, levando em consideração restrições como: a limitação da área total, a quantidade de água disponível, e a rotatividade das culturas. Em seguida foram definidos três cenários distintos, para uma melhor análise dos dados, ficando subdivididos por sistemas de irrigação (inundação, microaspersão e gotejamento) e por regimes hidroclimáticos (seco, médio e chuvoso). Os resultados mostraram que o sistema de irrigação por gotejamento é o mais eficiente, conseqüentemente obtém uma área irrigável maior. Verificou-se que as soluções propostas são propositivas, e que, se implementadas, vão proporcionar uma maior rentabilidade para os agricultores da região, aliadas as práticas sustentáveis.

**Palavras-Chave:** Irrigação. Planejamento. Modelo Matemático. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

PESSOA, M. F. **Planejamento Ótimo da Agricultura Irrigada:** Um estudo de caso no Perímetro de São Gonçalo no Sertão Paraibano. 2013. 61p. Monografia (Administração). Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, 2013.

In this paper we present a study on the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, located in the District of São Gonçalo in Sousa city, located in the State of Paraíba. Irrigated agriculture is a major economic activities in the backcountry of Paraíba, providing food production and the creation of employment and income for the families of this region. Thus, the main objective of this research is to propose an optimal planning for the perimeter study to consider an efficient irrigation system, crop suitable region, cost- effective and that consume less water as possible. With the in loco visit, it was observed that the perimeter has no sustainable actions and planning in order to strengthen the practice of these activities. We used a mathematical model to realize this planning which uses linear programming techniques, which aims to obtain an optimal solution to the problem, taking into account constraints such as limiting the total area, the amount of water available, and rotation of crops. Then, we defined three distinct scenarios for better analysis of the information, subdivided by getting irrigation systems (flood, micro sprinkler and drip irrigation) and hydro systems (dry, medium and rainy). The results showed that the drip irrigation system is more efficient, thus obtains a larger area irrigated. However the proposed solutions are purposeful, and that, if were implemented, will provide a higher return to the farmers of the region, allied to sustainable practices.

**Keywords:** Irrigation. Planning. Mathematical Model. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Civilizações praticando a irrigação às margens do Rio Nilo	17
Figura 2 – Distribuição da água no planeta Terra	21
Figura 3 – Percentual dos usos múltiplos da água	22
Figura 4 – Irrigação por aspersão	24
Figura 5 – Irrigação localizada por gotejamento	25
Figura 6 – Irrigação localizada por microaspersão	26
Figura 7 – Irrigação por sulcos	26
Figura 8 – Irrigação do arroz por inundação	27
Figura 9 – Distribuição da área irrigada nos municípios brasileiros	30
Figura 10 – Mapa do Perímetro Irrigado de São Gonçalo	37
Figura 11 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 1	46
Figura 12 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 1	47
Figura 13 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 1	48
Figura 14 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 2	49
Figura 15 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 2	49
Figura 16 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 2	50
Figura 17 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 3	51
Figura 18 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 3	51
Figura 19 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 3	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática seca	41
Tabela 3.2 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática média	42
Tabela 3.3 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática chuvosa	42
Tabela 3.4 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 1	43
Tabela 3.5 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 1	43
Tabela 3.6 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 2	44
Tabela 3.7 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 2	44
Tabela 3.8 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 3	45
Tabela 3.9 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 3	45
Tabela 4.1 – Área máxima irrigável para cada sistema de irrigação nos três regimes pluviométricos	52
Tabela 4.2 – Lucro obtido em cada sistema de irrigação nos três regimes pluviométricos	53

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
BNB	Banco do Nordeste do Brasil
COIPI	Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMPASA	Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas
ENERGISA	Empresa de energia elétrica da Paraíba
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GEIDA	Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
IOCS	Inspetoria de Obras Contra as Secas
MIN	Ministério da Integração Nacional
PISG	Perímetro Irrigado de São Gonçalo
PL	Programação Linear
PPI	Programa Plurianual de Irrigação
PROINE	Programa de Irrigação do Nordeste
PROJIR	Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense
PUB	Preço Unitário Básico
RDH	Relatório do Desenvolvimento Humano
SUDENE	Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Geral .....	14
1.1.2 Específicos .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 A HISTÓRIA DA IRRIGAÇÃO .....	17
2.2 ESCASSEZ DA ÁGUA .....	20
2.3 AGRICULTURA IRRIGADA .....	22
2.3.1 Conceitos .....	22
2.3.2 Tipos de Sistema de Irrigação.....	23
2.4 IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL .....	28
2.5 TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA .....	30
2.5.1 Programação Linear.....	31
2.5.2 Programação Não-Linear.....	32
2.5.3 Programação Dinâmica.....	33
2.6 MODELOS UTILIZADOS NA OTIMIZAÇÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA ....	33
2.7 PLANEJAMENTO NA AGRICULTURA IRRIGADA.....	35
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
3.1 QUANTO AOS PROCEDIMENTOS.....	36
3.2 QUANTO AOS FINS .....	36
3.3 DESCRIÇÃO DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO - PB .....	36
3.4 COLETA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
3.4.1 Quanto à abordagem.....	38
3.4.2 Quanto à descrição da análise.....	38
3.4.3 Quanto à descrição dos cenários e dados utilizados .....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
4.1 CENÁRIO 1 – Sistema de irrigação por inundação.....	46
4.2 CENÁRIO 2 – Sistema de irrigação por microaspersão .....	48
4.3 CENÁRIO 3 – Sistema de irrigação por gotejamento.....	50
4.4 RECEITA LÍQUIDA E ÁREA MÁXIMA IRRIGÁVEL POR REGIMES HIDROCLIMÁTICOS .....	52
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>54</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO E PROBLEMÁTICA

Sendo a água essencial para a vida humana e para os demais seres vivos, é necessário um uso consciente e correto da mesma, já que a água está se tornando escassa no meio ambiente, em virtude do mau uso, do crescimento populacional e da produção de alimentos. Como a irrigação é um dos setores que mais consome água, é necessária a utilização de práticas adequadas e eficientes do uso da água, para que esta atividade se torne sustentável.

A irrigação é uma atividade que vem sendo praticada pelo homem há muito tempo, a fim de garantir a subsistência familiar, à produção e à reprodução social. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), no ano de 1999, a irrigação era praticada em todos os continentes numa área de 274.166 milhões de hectares, representando apenas 18,15% da área total cultivada no planeta. Atualmente, só no Brasil a área irrigada corresponde a 5,5 milhões de hectares.

A agricultura irrigada é uma das atividades econômicas mais importantes desenvolvidas pelo homem, proporcionando uma variedade de alimentos, ao mesmo tempo em que gera emprego e renda. Para tanto, devido às constantes secas, que ocorrem principalmente nas regiões áridas e semiáridas, o desenvolvimento desta atividade, e até mesmo o uso doméstico da água pelo homem, associado ao crescimento populacional está enfrentando um problema grave de escassez da água. É estimado que em 2025, a população do planeta utilize 75% das reservas de água potável (FARIAS, 2004).

A irrigação tem como principal função, disponibilizar água para a planta, por meio de vários métodos de irrigação, mantendo o solo com umidade adequada, aumentando, assim, a produção. Para o sucesso de um sistema de irrigação, é fundamental que seja realizado um dimensionamento correto e um manejo eficiente deste sistema (ARMINDO *et al.*, 2012). É essencial que, antes de decidir o tipo de irrigação que vai ser utilizado em determinada região seja feito um planejamento, para que não ocorram prejuízos e desperdícios de água.

Na agricultura irrigada brasileira existem inúmeros projetos de irrigação, públicos ou privados, sem planejamento adequado e sem a preocupação com o manejo e operações adequadas, o que resulta em uma baixa eficiência e compromete a expectativa de aumento da produção (FERREIRA, 1993). Com a

crescente demanda por água pelos vários setores da sociedade, e com a população cada vez mais consciente sobre a importância da conservação do meio ambiente e o uso adequado da água, com certeza haverá pressão para que a irrigação cause menos impactos ao meio ambiente e utilize práticas racionais (BERNARDO *et al.*, 2008).

Segundo Camara Junior (2005), para implementar no projeto de irrigação um planejamento racional que visa maximizar os benefícios e minimizar os custos, a utilização dos modelos matemáticos é uma ferramenta imprescindível na busca destes objetivos, pois permite ao usuário atingir resultados ótimos e prever possíveis falhas durante sua execução.

Conforme Lima *et al.* (2011), devido à irrigação ser o setor que mais consome água no mundo, é cada vez mais importante a necessidade de uma irrigação sustentável, o que exige a encontrar soluções tecnológicas eficazes na elaboração do projeto, no manejo e na gestão dos sistemas de irrigação, permitindo, assim, a maximização da produtividade por unidade de volume de água consumida e a minimização dos impactos negativos.

Diante do problema mundial de escassez de água, é necessária também a adoção de novas políticas no uso dos recursos hídricos. A melhoria na condução da água em projetos de irrigação e o aumento de eficiência de aplicação nas parcelas são algumas destas soluções. Para isto, é preciso que seja feito investimentos em pesquisas, visando o melhor aproveitamento do recurso disponível (MENDOZA *et al.*, 2012).

É conhecimento de todos que o Sertão da Paraíba é um exemplo típico, que convive com baixos índices volumétricos, principalmente no período de seca. E possui um grande projeto público de irrigação no distrito de São Gonçalo, na cidade de Sousa-PB, que utilizam práticas de irrigação por inundação e por microaspersão, gerenciado pelo DNOCS. Diante desta situação, é notório que é necessário um planejamento ótimo para utilização dessa água, principalmente no setor da irrigação que consomem grandes volumes de água. A escolha inadequada do tipo de sistema de irrigação pode causar sérios problemas como: desperdícios de água, perda de fertilidade do solo, diminuição na produtividade, salinidade do solo, entre outros.

Assim são necessárias de medidas de planejamento urgentes que venham modernizar este perímetro irrigado e promova a utilização racional da água, trabalhando com eficiência, sem prejudicar sua produção e nem causar impactos, de

forma negativa, ao meio ambiente. As autoridades competentes sabem que precisam evidenciar este problema e procurar soluções ótimas. Com base neste contexto, o presente trabalho abre a discussão sobre a seguinte problematização: Será que o planejamento e as práticas adotadas para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo são sustentáveis?

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

O objetivo principal deste trabalho é propor um planejamento ótimo para o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado na cidade de Sousa-PB, que vise um sistema de irrigação mais adequado, culturas mais rentáveis e que consumam a menor quantidade de água possível.

### 1.1.2 Específicos

- Identificar a situação real do Perímetro Irrigado de São Gonçalo;
- Fazer um levantamento sobre as características dos métodos de irrigação, culturas, produtividade, custo de produção, consumo de água;
- Utilizar um modelo matemático que incorporem as limitações do Perímetro Irrigado de São Gonçalo;
- Propor cenários de operação que visem o planejamento sustentável da região.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Como a agricultura é a principal atividade econômica desenvolvida na região do sertão, esta região vem apresentando problemas de escassez de água, devido ao grande consumo de recursos hídricos por parte desta atividade. Ocorre também uma perda considerável da água por evaporação, chegando os índices a 2.937 mm/ano (FARIAS, 2004).

Segundo Christofidis (2002), no ano de 2000 o consumo de água utilizada na produção agrícola correspondeu a 9.436 m<sup>3</sup>/ha/ano, e estima-se que em 2025 este

consumo diminua para 8.100 m<sup>3</sup>/ha/ano por causa da utilização de tecnologias mais eficientes nos sistemas de irrigação. Assim, neste mesmo período, três bilhões de pessoas sofrerão com a falta de água, em todo o mundo, e enquanto a demanda deste recurso aumentará, sua disponibilidade será inferior a 1.700 m<sup>3</sup>/ha/ano.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2004), existem diversos fatores que podem ser analisados em relação aos impactos causados na irrigação. Tais fatores são: modificação do regime hídrico (qualidade, quantidade e disponibilidade da água), modificação do manejo do solo, modificação do sistema de produção, modificação do comportamento de pragas e doenças, modificação da infraestrutura, modificação das relações trabalhistas, modificação da base econômica e sustentabilidade do sistema.

Devido ao crescimento das atividades dos diferentes setores da sociedade, o aumento do consumo de água cresce de forma assustadora, seja para consumo pessoal, como para consumo na agricultura, pecuária; e em contrapartida a falta de chuvas vem tornando a água um elemento raro na região semiárida. É importante que seja evidenciado em todos os aspectos que o uso racional da água é uma iniciativa importante, principalmente, para quem busca o desenvolvimento sustentável de uma região.

A irrigação por inundação consiste na aplicação de água em bacias ou tabuleiros intermitente ou permanentemente mantida sobre a superfície do solo praticamente durante todo o ciclo da cultura. A substituição deste sistema de irrigação para microaspersão ou gotejamento seria uma solução que poderia resolver o problema de desperdícios de água na região. Em virtude do tipo de sistema de irrigação utilizado no perímetro em estudo ser ultrapassado, exigindo assim, grande quantidade de água para o seu funcionamento, e vários outros problemas que este tipo de irrigação causa, é necessário fazer um planejamento ótimo, para apresentar soluções a cerca da problemática.

O planejamento na agricultura irrigada é imprescindível para avaliar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, melhorando assim, os níveis de eficiência de seu uso e também para harmonizar os vários usos da água, cada qual se adequando aos diferentes setores produtivos. A otimização do uso da água e busca de melhor rentabilidade da atividade agrícola, devem inteirar as tecnologias de irrigação com sistemas de alta eficiência, visando à redução dos custos para o produtor. Para atingir esta otimização, é preciso utilizar técnicas que auxiliem na

tomada de decisão, e a Programação Linear (PL) é uma das ferramentas mais utilizadas para a alocação ótima desses recursos (FRIZZONE, 2009).

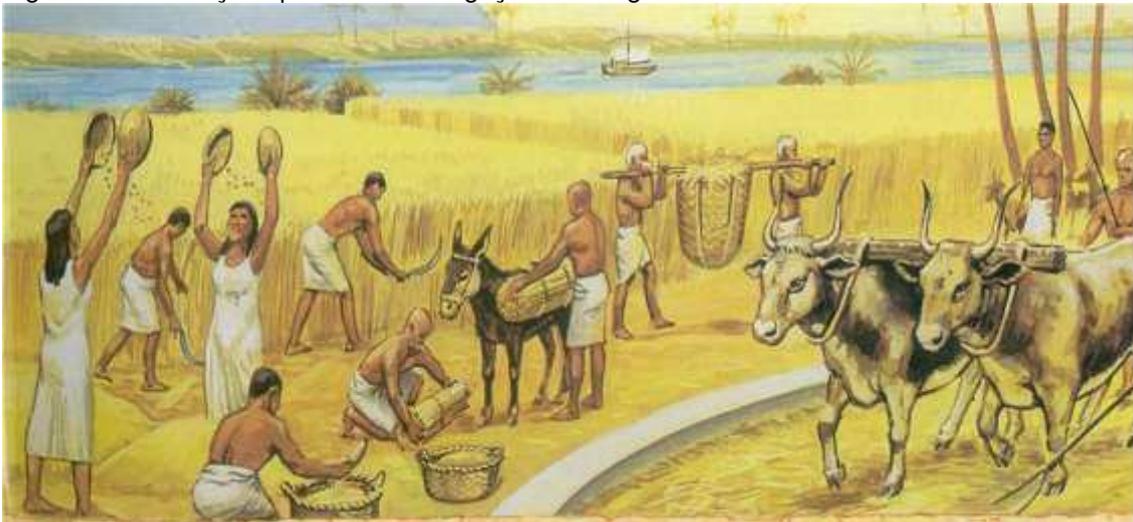
Com intuito de minimizar o problema do desperdício da água e maximizar a lucratividade dos produtores, está justificável, que a utilização de um modelo matemático adequado poderá promover um planejamento ótimo e fortalecer o desenvolvimento sustentável do Perímetro Irrigado de São Gonçalo no Sertão da Paraíba.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A HISTÓRIA DA IRRIGAÇÃO

As primeiras atividades registradas da agricultura irrigada datam de tempos antigos, há cerca de 4000 anos. As antigas civilizações habitaram primeiramente em regiões áridas, próximas às margens “dos rios Huang Ho e Yang-tse-Kiang, no vasto império da China; do Nilo, no Egito; do Tigre e do Eufrates, na Mesopotâmia e do Ganges, na Índia”, e a sobrevivência desse povo se deu pela utilização destas águas (Figura 1). Logo depois, por volta de 1500 anos, quando o homem procurou se fixar em regiões mais úmidas, a irrigação foi perdendo sua utilidade fundamental, passando a ser pouco praticada. No entanto, com o crescimento da população, o homem volta a praticar a irrigação, tanto para inteirar as chuvas nas regiões úmidas, como também, para fazerem-se agricultura nas zonas áridas e semiáridas do planeta (DAKER, 1988, p. 11).

Figura 1 – Civilizações praticando a irrigação às margens do Rio Nilo



Fonte - Ferreira, 2011.

O Nilo foi o primeiro rio que os agricultores utilizaram para desenvolver a irrigação. Eles perceberam que o ideal para o crescimento da plantação era quando o nível do rio estava baixo, pois quando o nível aumentava, toda a plantação era perdida. O objetivo então era controlar a água do Nilo, desviando parte dela, através de canais, a fim de utilizar a quantidade racional de água na lavoura (FERREIRA, 2011).

Sousa (2005) relata que a irrigação na América Latina, mais precisamente na Argentina e no Chile, também é muito antiga, remonta ao período pré-colonial, onde os primeiros canais de irrigação foram construídos pelos índios, e mais tarde os colonizadores espanhóis utilizaram e aperfeiçoaram estes meios. A atividade de irrigação é tida como uma das primeiras práticas desenvolvidas pelo homem para sustentar sua família, ao mesmo tempo em que produzia para vender, e foi evoluindo à medida que a população crescia, proporcionando além de excedentes alimentares, trabalho e renda monetária.

Na maioria dos países, a irrigação foi se desenvolvendo junto com os primeiros povos que os habitaram. Desde então, esta atividade não parou de ser executada e cada vez mais o homem procurava desempenhá-la com mais precisão, com o objetivo de aumentar sua produtividade, gerando, assim, mais alimentos e mais trabalho para a comunidade. No entanto, a agricultura irrigada no Brasil teve início tardio, se comparada com as atividades realizadas a nível mundial. O Rio Grande do Sul foi o primeiro estado brasileiro que começou a desenvolver as práticas agrícolas, com o cultivo do arroz.

A escassez de chuvas que vinha acontecendo em algumas regiões brasileiras não era tida como problema e não havia a preocupação do governo em debater e procurar tomar providências diante destes acontecimentos. Foi então, com a seca que ocorreu no ano de 1877 no Brasil, que a falta de chuva começou a ser vista não só como um fenômeno natural, e sim como um fenômeno social, afetando a economia nacional. Com isso, o governo federal concentrou estudos sobre o solo e o clima do semiárido nordestino e realizou a construção de poços e açudes, com o intuito de armazenar água das chuvas para a população utilizar nos períodos de seca (SOUSA, 2005).

De acordo com Daker (1988), o governo federal brasileiro instituiu em 1909 o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com o objetivo de combater a seca do Nordeste. Este órgão construiu centenas de grandes açudes públicos, com a finalidade da obtenção de energia elétrica, do funcionamento dos perímetros irrigados e do abastecimento de água para populações urbanas e rurais. Várias outras atividades foram realizadas pelo DNOCS, como por exemplo: abertura de estradas, perfuração de poços, construção de portos, ferrovias e usinas hidrelétricas, rede de observações pluviométricas, pesquisas agrônômicas e de mecânica dos solos.

Antes de ser chamado de DNOCS, este órgão foi denominado primeiramente de Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) no ano de 1909, e depois de Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), em 1919, só depois permaneceu como DNOCS. É considerada a primeira instituição federal que deu ênfase aos estudos sobre o semiárido nordestino, e a partir de então, muitas instituições e programas foram criados em todo o país, uns com progresso e outros não, mas todos com o mesmo objetivo de tentar desenvolver projetos voltados para minimizar as dificuldades do povo nordestino, com períodos de seca (DNOCS, 2013).

Além do DNOCS, foi criada a SUDENE (Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste), em 1959, pelo Governo Federal que tinha como um dos objetivos o planejamento da agricultura irrigada. Já no final do ano de 1968, foi criado o GEIDA (Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola), mais um órgão federal, com as funções básicas de planejar, dirigir, supervisionar e integrar todas as atividades do Governo Federal relacionadas com a irrigação. De início, o GEIDA estudou todos os projetos de irrigação e selecionou os mais urgentes, os prioritários, para que fossem colocados em prática (DAKER, 1988).

Para Sousa (2005), o GEIDA publicou em 1969 o PPI (Programa Plurianual de Irrigação), com o objetivo de aproveitar os vales úmidos e elevar a produtividade da agricultura no semiárido. É claro que a maior parte dos seus investimentos foi destinada ao Nordeste, por ser a região mais seca do Brasil e por considerar a irrigação como meio para o crescimento econômico. Outro programa destinado ao Nordeste foi criado em 1986, com o nome de PROINE (Programa de Irrigação do Nordeste) e administrado pelo Banco do Brasil e Banco do Nordeste. Caberia ao PROINE expandir a irrigação no Nordeste através de projetos públicos oferecidos pelas entidades executoras federais ou estaduais, ou por meio da concessão de financiamentos junto à iniciativa privada.

A utilização dos recursos hídricos e exploração do solo para a prática da irrigação são ações reguladas por vários instrumentos legais no Brasil. A Lei de número 6.662, chamada de Lei de Irrigação, foi editada no dia 25 de junho de 1979, e tem como objetivo principal estabelecer normas para aproveitar água do solo, respeitando a legislação dos recursos hídricos, para a implementação de projetos públicos de irrigação (MIN, 2008).

Na época da ditadura militar, a irrigação passa a ser atividade efetiva do governo, intervindo, assim, na economia do Nordeste brasileiro. A execução de vários projetos contou com investimentos públicos e empréstimos do Banco Mundial, atingindo uma quantia de aproximadamente, quatro a cinco bilhões de dólares somente no período compreendido entre 1970 e 1989(SOUSA, 2005).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) foi instituída em 16 de outubro de 1945, com o objetivo principal de combater a fome e a miséria dos países integrantes, principalmente na zona rural, setor que mais sofre com a seca; e desenvolver uma agricultura irrigada sustentável, com o intuito de aumentar a produção para que todas as pessoas tenham uma alimentação saudável. A FAO possui 191 países membros, inclusive o Brasil. Foi implementada no Brasil em 1979, e atua junto ao governo prestando assessoria sobre política e planejamento agrícola e apoiando os programas promovidos pelo governo (FAO, 2009).

## 2.2 ESCASSEZ DA ÁGUA

O planeta Terra compreende mais de 90% das suas águas nos oceanos e mares, o restante corresponde às geleiras da Antártida e aos rios e lagos (Figura 2).Devido à porcentagem da água, utilizada para o abastecimento humano ser muito pequena comparada a agricultura irrigada e, associado ao crescimento populacional e a produção de alimentos, milhões de pessoas em vários países do mundo estão vivenciando a escassez de água; que é entendida como a ausência de água para atender as necessidades de uma população (RDH, 2006).

Figura 2 – Distribuição da água no planeta Terra



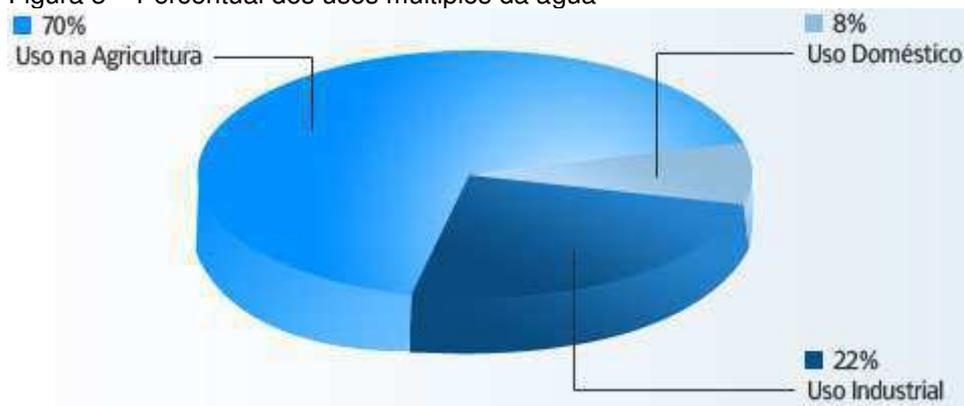
Fonte - Águas de Guará, 2013.

A maior parte da superfície do nosso planeta, cerca de 70%, é coberta por água, porém, isto não significa que este recurso seja um bem inesgotável, como muitas pessoas pensam. Já que a predominância da água mundial é salgada, sendo esta inadequada para o consumo humano, o consumo na irrigação ou na indústria. Então, a pequena quantidade de água doce é concorrida para suprir as necessidades humanas e animais.

Os principais motivos que elevam os níveis da escassez de água são devidos: ao seu uso inadequado, ao desperdício nas redes de abastecimentos, ao aumento da população, na qual apresenta um consumo exponencial na produção de alimentos, e também à má gestão, por parte do governo.

A agricultura irrigada é a atividade desenvolvida pelo homem que mais consome água, cerca de 70%, e quanto menos eficiente for o seu método de irrigação, mais água é desperdiçada (Figura 3). Obviamente que a pressão, para evitar o desperdício dos recursos hídricos, é maior em cima da atividade de irrigação. Depois vem uso da água na indústria, que atinge 22%, e por fim o uso doméstico correspondendo a 8%.

Figura 3 – Percentual dos usos múltiplos da água



Fonte -Águas de Guará, 2013.

Segundo a Lei 9.433/97 a prioridade de atendimento hídrico é o abastecimento humano e animal, em seguida é para a produção de alimentos. A irrigação depende totalmente da água para sua prática, sem este recurso não há a realização desta atividade. Como esta atividade consome muita água, é preciso uma racionalização deste recurso como, por exemplo: o uso eficiente da água associado ao emprego de tecnologias de produção eficazes (MIN, 2008).

A aplicação da gestão dos recursos hídricos no Brasil estabelece algumas medidas no processo de tomada de decisão, para minimizar o problema de escassez da água, tais como: planejar e gerenciar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos do país de forma sustentável, a fim de garantir água para futuras gerações, desenvolver políticas públicas direcionadas à população para evitar o desperdício e a poluição da água, realizar auditorias nacionais para definir o sistema de regulação para evitar e domesticar o desperdício da água (RDH, 2006).

## 2.3 AGRICULTURA IRRIGADA

### 2.3.1 Conceitos

A irrigação não é tão simples quanto parece, não consiste apenas na atividade de levar a água de açudes ou de poços, por meio de canos, para a planta. É preciso que a quantidade de água fornecida à cultura seja ajustada de acordo com suas necessidades hídricas, para não prejudicar seu rendimento, levando em consideração o tipo de solo e de clima da região (SILVA NETO *et al.*, 2012).

Segundo Costa (1991), a agricultura irrigada é uma técnica que tem como objetivo o aumento da produtividade das culturas e é praticada principalmente em regiões áridas e semiáridas; entretanto, devido ao grande requerimento de água, esta técnica apresenta grandes impactos nas disponibilidades hídricas. Para Daker (1988), a quantidade de água é essencial para desenvolver a irrigação e depende de vários fatores, tais como: cultura, clima, tipo de solo, competência do agricultor no manejo da água e na preparação do terreno e o tipo de sistema de irrigação utilizado.

### **2.3.2 Tipos de Sistema de Irrigação**

De acordo com Sousa (2005), há dois tipos de iniciativas para praticar a irrigação no Brasil: a pública e a privada. A irrigação pública é tida como aquela praticada para uso coletivo, instalada principalmente nas terras do Nordeste do Brasil e utiliza recursos do governo federal. Já a irrigação privada é a atividade praticada em terras particulares, onde os proprietários são responsáveis pela implementação de obras hidráulicas e da mecânica dos sistemas de irrigação. Concentra-se principalmente nas regiões do Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde apresentam maiores ofertas hídricas.

Na atividade agrícola, a aplicação de água é realizada por sistemas ou métodos de irrigação que são definidos como um conjunto de técnicas e equipamentos que são responsáveis por levar água às plantas em quantidade adequada, visando o aumento da produtividade. Para se obter o resultado desejado na irrigação, é essencial que: o método de irrigação escolhido seja o correto, sua implementação e manutenção sejam adequadas e que os equipamentos utilizados sejam de boa qualidade (CAMARA JUNIOR, 2005).

Daker (1988) afirma que existem algumas maneiras para levar água às plantas; uma delas é pelo método de irrigação por pressão, onde a água é distribuída por meio de tubulações fixas ou móveis; ou pela irrigação por superfície, conhecida também de irrigação por gravidade, que distribui a água para a superfície do terreno por meio de canais. Na irrigação por pressão existem dois tipos: por aspersão e por gotejamento. Já na irrigação por superfície há três tipos: infiltração, inundação e sulcos.

Conforme Gomes (1994), a irrigação por aspersão (Figura 4) é um dos métodos que conduz água para as culturas em forma de chuva artificial, através de dispositivos especiais, chamados aspersores. Esses aspersores conseguem assegurar uma distribuição adequada de água sobre todo o terreno e também pulverizam os jatos d'água que saem das tubulações. Deve ser feita uma escolha criteriosa com relação aos tubos utilizados no sistema, levando em conta alguns fatores, como: custo dos tubos, de instalação e de manutenção, pressões de trabalho, diâmetros, qualidade da água e características do terreno.

Figura 4 – Irrigação por aspersão



Fonte - Marouelli, 2011.

De acordo com Vieira (1989), a vantagem do método por aspersão, do ponto de vista econômico, é a minimização da mão-de-obra, pois permite a aplicação de defensivos agrícolas junto com a água de irrigação. Outra vantagem é que este sistema se adapta muito bem aos diferentes tipos de culturas e terrenos, não causando erosão. Para se obter sucesso na irrigação por aspersão é preciso que seja realizado um adequado dimensionamento do sistema e que seu manejo seja eficiente.

Existem vários tipos de sistemas por aspersão, alguns deles são: sistema com canhão hidráulico, sistema portátil, semiportátil, pivô central e fixo. Os principais componentes utilizados para a realização deste método são: conjunto moto-bomba, acessórios tipo conexões, tubulações e aspersores (BNB, 2013).

Ferreira (2011) apresenta algumas vantagens, do ponto de vista ambiental, proporcionadas pelo sistema de irrigação por aspersão, tais como: economia de água, não há desperdício de água por evaporação, quando comparado com o

sistema por inundação e pode atingir grandes áreas para o cultivo, pois suas tubulações podem ser enterradas. Enquanto que suas desvantagens compreendem: pode apresentar algumas doenças, devido às folhas das plantas ficarem molhadas; e o vento pode atrapalhar a distribuição da água pelos aspersores.

O sistema de irrigação do tipo localizada compreende dois tipos: por gotejamento e por microaspersão. É um sistema de alta frequência, onde só a raiz da planta recebe água, mas com a quantidade ideal para seu desenvolvimento. Pode ser considerado o método mais eficiente de aplicação da água, caso seja bem projetado e manejado (CAMARA JUNIOR, 2005).

O gotejamento é o sistema de irrigação que aplica a água em gotas sobre a zona radicular da planta (Figura 5), através dos gotejadores, que estão localizados juntos aos pés das culturas. Durante este processo, forma-se um bulbo molhado no solo, proporcionando uma umidade adequada a raiz da planta. É o método mais adequado e mais econômico também, porém seu principal problema é no que se refere ao entupimento dos gotejadores e no alto custo que este sistema requeira, pois são utilizados muitos gotejadores (GOMES, 1994).

Figura 5 – Irrigação localizada por gotejamento



Fonte - Sato, 2012.

Segundo Daker (1988), as vantagens apresentadas pelo método de irrigação por gotejamento são: maior produtividade, maior economia de água, mão-de-obra e energia, não causa erosão aos solos, pode ser realizada em todos os tipos de solos e proporciona melhor qualidade ao produto. Enquanto que as desvantagens são: possui um alto custo de instalação e manutenção e problema de entupimento nos gotejamentos.

O método de irrigação por microaspersão (Figura 6) é intermediário entre a irrigação por aspersão e a irrigação por gotejamento. Neste sistema utiliza-se um microaspersor para cada planta, e suas perdas de água por evaporação são maiores se comparada ao sistema por gotejamento (GOMES, 1994).

Figura 6 – Irrigação localizada por microaspersão



Fonte - Oliveira, 2013.

Ferreira (2011) destaca como vantagens do sistema por microaspersão: proporciona uma alta produtividade com qualidade, possibilita uma economia de água e de energia e diminui o surgimento de doenças nas plantas. E apresenta como desvantagens: manutenção constante do sistema e elevado custo de instalação.

Conforme Daker (1988), na irrigação por infiltração (Figura 7), ou por sulcos, como é mais conhecida, a água é conduzida para penetrar nas fileiras das plantas, em pequenos sulcos abertos, permitindo que o solo fique umedecido. Este método pode ser usado para quase todos os tipos de solos e cultivos.

Figura 7– Irrigação por sulcos



Fonte - Marouelli, 2011.

Para Ferreira (2011), a irrigação por superfície é o método mais tradicional e mais simples de manusear, pois aplica a água diretamente na superfície do solo. Possui um investimento inicial baixo, não exige tubos para sua implementação e apresenta uma economia de equipamentos, consequentemente de energia. Compreende a irrigação por sulcos, já comentada, e também a irrigação por inundação (Figura 8), onde a água, pelo efeito da gravidade, é inserida diretamente no solo. Este método é muito utilizado para a cultura do arroz na região do Sul do Brasil. Porém, o sistema de irrigação por superfície apresenta algumas limitações, tais como: possui baixa eficiência na distribuição da água, consome muita água no seu manejo e os terrenos devem apresentar declividades suaves.

Figura 8 – Irrigação do arroz por inundação



Fonte - Borges, 2012.

Oliszeski (2011) afirma que no Brasil são irrigados 3,44 milhões de hectares, compreendendo 5,9% da área cultivada em todo o país. A região Sul possui a maior área irrigada do país, devido ao seu cultivo do arroz por inundação.

A agricultura irrigada exige que o planejamento seja eficiente, visando minimizar o impacto ambiental, maximizar o rendimento e a qualidade da produção e utilizar tecnologias de baixo custo de produção, operação e manutenção. Para a escolha correta de determinado sistema de irrigação, é necessário conhecer sua eficiência, referente ao sistema e à aplicação da água no solo. Entende-se por eficiência de irrigação, a relação entre a quantidade de água que a planta exige para suprir suas necessidades e a quantidade total aplicada pelo sistema. É notório que,

quanto menos água se perder, devido à evaporação e escoamento, num sistema, maior será sua eficiência e sua área irrigada (SOUSA, 2005).

Existem vários fatores que devem ser analisados antes de fazer a escolha de um método de irrigação, são eles: topografia do terreno, tipo de solo, déficit hídrico, clima, custo de sistema de irrigação e capacidade de investimento do produtor (MANTOVANI, 2001). Para Oliszeski (2011) o método de irrigação é considerado como ideal, quando conseguir adequar às condições locais de terreno, do clima, tipo de culturas e de solo com a disponibilidade de água em quantidade e qualidade, a mão-de-obra e disponibilidade de energia.

De acordo com Mantovani *et al.* (2003) para atingir o sucesso da irrigação é necessário uma adequada implementação do sistema, que a aplicação e a quantidade de água sejam racionalizadas e utilizem equipamentos de boa qualidade e que as manutenções no sistema de irrigação sejam periódicas.

## 2.4 IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL

Entende-se por desenvolvimento sustentável, a satisfação das necessidades da população atual sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Em virtude aos problemas de escassez de água que o mundo vem enfrentando, os estudos sobre a gestão de recursos hídricos e sobre o uso correto da água estão crescendo significativamente, levando até mesmo a criação de leis específicas sobre este tema. (SILVA, 2007)

A distribuição hídrica no Brasil é um pouco irregular, pois existem regiões onde o número da população é superior à quantidade de água disponível, já em outras regiões, a água se encontra em abundância e a população com um número pequeno. Esta irregularidade é responsável também pela escassez dos recursos hídricos em algumas regiões brasileiras.

Segundo Silva (2007), a população, principalmente que ocupa a zona urbana, possui um conhecimento parcial sobre a disponibilidade dos recursos naturais e dão pouca importância a estes elementos. Não existe um conhecimento de como utilizar os recursos hídricos de forma sustentável, seja na agricultura ou até mesmo no consumo doméstico, pensando o homem muitas vezes que a água é um elemento inesgotável.

No mundo, a expansão da agricultura irrigada, é vista como uma atividade fundamental para a produção alimentícia e tornou-se uma questão preocupante pelo fato dos recursos hídricos se tornarem escassos. É estimado que em 2020, na América do Sul, Austrália e África, o consumo da água para a irrigação sejam os mais elevados. Levando em consideração a necessidade de água nos cultivos, em termos médios, verificou-se que, para produzir uma tonelada de grão, são necessárias mil toneladas de água, sem considerar em alguns casos, a ineficiência dos métodos de irrigação e do manejo (PAZ *et al.*, 2000).

Para Silva (2007), a água está sendo considerado um recurso finito e escasso em quantidade e qualidade, deixou de ser considerada uma riqueza e passou a ser vista como um bem econômico. Por isso é preciso que se dê a devida importância à economia de água na irrigação, para que esta atividade seja realizada de forma sustentável. A falta de água ou o seu excesso tem efeito decisivo no desenvolvimento das culturas, com isso seu manejo precisa ser racionalizado. Já que grande parte da água utilizada na agricultura irrigada é desperdiçada pelo processo de transpiração.

A planta exige muita água para se desenvolver normalmente, devido ao seu metabolismo. Esta água é absorvida do solo pelas raízes das plantas, sendo que apenas uma parte dela é penetrada no organismo da planta, o restante é perdida na atmosfera em forma de vapor de água (PIRES, *et al.*, 2008).

O uso eficiente da água na irrigação é de fundamental importância, já que esta atividade é a maior consumidora dos recursos hídricos, e necessita de cuidados e técnicas especiais para que estes recursos sejam aproveitados de forma eficiente com o mínimo de desperdício e também para não afetar a qualidade dos solos. A quantidade de água disponível, o tipo de solo, e o clima da região, são os principais fatores que influenciam no desenvolvimento de uma cultura (CAMARA JUNIOR, 2005).

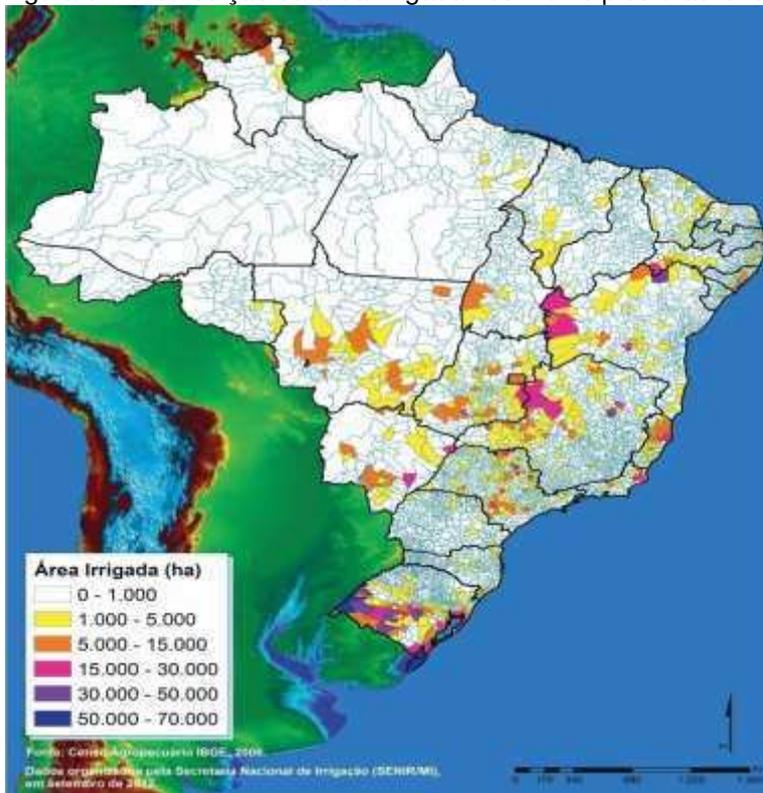
De acordo com Paz *et al.* (2000), o desenvolvimento sustentável na agricultura só será possível se for feito um planejamento ótimo desta atividade e também da água, recurso indispensável para a sua realização.

Conforme Carvalho *et al.* (2000), devido à escassez da água, a irrigação está sendo pressionada para melhorar suas práticas do uso da água, a fim de promover uma atividade sustentável. O principal problema que acontece na agricultura irrigada

é no que se refere ao uso incorreto dos recursos hídricos. Então, esta atividade se tornará eficiente se seus fatores de produção forem utilizados de forma racional.

No Brasil, a agricultura irrigada possui uma área de 5.400 milhões de ha, compreendendo 7% do território nacional (Figura 9). Esta atividade é praticada principalmente nas regiões Sudeste e Sul e em quase todos os estados brasileiros. No entanto, na região Norte a agricultura irrigada é pouco praticada, e esta região é a que apresenta o maior índice de recursos hídricos do país (MIN, 2013).

Figura 9 – Distribuição da área irrigada nos municípios brasileiros



Fonte - MIN, 2012.

## 2.5 TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

Na Matemática existem dois tipos de modelos básicos, utilizados para estudar sistemas de recursos hídricos, são os modelos de otimização e de simulação. A finalidade do modelo de otimização é maximizar ou minimizar uma determinada função objetivo, enquanto que o modelo de simulação, sendo mais flexível o seu algoritmo, permite analisar o sistema de acordo com cenários de operação propostos (FARIAS, 2004).

Os modelos de otimização tem a finalidade de otimizar uma função objetivo, representada por uma expressão matemática, levando em consideração suas variáveis e restrições. Estes modelos podem ser classificados como: programação linear, programação não-linear ou programação dinâmica (VIEIRA, 2011). Segundo Jain *apud* Farias (2004) é consenso, que os modelos de otimização são mais apropriados para obter a solução ótima, enquanto que os modelos de simulação, além de promover uma maior flexibilidade, obtêm uma solução ideal, próximo da solução ótima, mostrando detalhes da realidade em sistemas complexos.

Para a solução de determinados problemas existentes na agricultura irrigada, e para que seu planejamento seja ótimo, o caminho é a utilização de modelos matemáticos, capazes de determinar uma solução ótima, levando em consideração os recursos limitados ou escassos. Alguns desses recursos escassos incluem: mão-de-obra, máquinas, água e matéria-prima.

Os modelos matemáticos são formados por variáveis de decisão, função objetivo e por restrições (SILVA *apud* TAVARES, 2010).

Conforme Santos *et al.* (2009), os modelos são estruturas matemáticas que representam a realidade e são importantes quando utilizados no planejamento, no caso específico da irrigação, pois apresentam estratégias ótimas aos agricultores. Essas estratégias podem ser identificadas, na utilização de culturas mais rentáveis até as que consumem menos água, situação ideal para o Sertão Paraibano.

### **2.5.1 Programação Linear**

Foi a partir de 1947 que a Programação Linear foi desenvolvida em termos matemáticos por George Dantzig, com o intuito de solucionar os problemas do setor de logística da Força Aérea Americana. Com sua popularização e facilidade de utilização, as programações lineares vêm sendo utilizadas por várias empresas de diferentes ramos, para encontrar a melhor solução diante dos problemas enfrentados no dia a dia (ALENCAR, 2009).

Oenning *et al.* (2004) afirma que a programação linear é um método da Pesquisa Operacional, que visa otimizar um dado problema com intuito de encontrar várias soluções, por meio da maximização ou minimização de uma função linear.

A programação linear geralmente é utilizada para identificar uma alocação ótima, como por exemplo, a determinação da área ótima a ser irrigada, e contém três elementos principais: uma função objetivo que vai ser minimizada (custo) ou maximizada (lucro), um conjunto de variáveis e um conjunto de restrições (STEFFENS *apud* TAVARES, 2010).

Conforme Vieira (2011), esta técnica é bastante utilizada para o planejamento e manejo dos recursos hídricos e da agricultura irrigada, nos transportes, na indústria petrolífera, na área de telecomunicações e no setor financeiro e hidroelétrico.

A Programação Linear tem por objetivo encontrar o valor ótimo de uma função linear, tendo como base um conjunto de restrições lineares. Segundo Frossard (2009), um roteiro básico de perguntas para facilitar a formulação matemática deste tipo de problema são: Quais são as variáveis de decisão? Qual é o objetivo do modelo? Quais são as restrições?

Para Baio *et al.* (2004), num problema que utiliza a programação linear, onde todas as restrições são atendidas, pode-se encontrar várias soluções, porém só uma solução é considerada ótima.

## **2.5.2 Programação Não-Linear**

A programação não-linear, diferentemente da programação linear, gera soluções a cada passo, e não apresenta um método geral para resolver os seus problemas. Neste método não existem critérios absolutos utilizados para comparar os vários algoritmos, e também a representação matemática do seu sistema ocorre de forma mais realista, se comparada com a programação linear (FARIAS, 2004).

O objetivo da programação não-linear é definir o valor ótimo da função não-linear, podendo este valor ser máximo ou mínimo, de acordo com um conjunto de restrições apresentadas. A utilização de um método de programação não-linear decorre de como o problema se apresenta (FROSSARD, 2009).

De acordo com Santos (2007), este método não é muito utilizado para os sistemas de recursos hídricos, seus modelos são mais complicados do que os modelos de programação linear. As desvantagens apresentadas por este método compreendem: a solução ótima encontrada pode não ser a melhor (local), dentre todas as soluções obtidas no modelo.

Para Vieira (2011), os recursos computacionais têm contribuído bastante para o desenvolvimento da programação não-linear em solucionar problemas relacionados aos sistemas de recursos hídricos, porém com o problema ainda de que a solução encontrada não seja a ótima.

### 2.5.3 Programação Dinâmica

Conforme Barros *apud* Vieira (2011), a técnica de programação dinâmica pode ser utilizada para solucionar os problemas de recursos hídricos, onde suas atividades ou processos de decisão são divididos em vários estágios. Apresenta como vantagem, a possibilidade de utilizar em um grande número de problemas de programação discreta, não requerendo muita precisão numérica.

De acordo com Frossard (2009, p. 28), a programação dinâmica, “é uma programação aplicável a otimização de eventos que sofrem uma sequência de estados, podendo ser aplicada a sistemas lineares ou não lineares.”

A desvantagem que a programação dinâmica apresenta é a chamada “maldição da dimensionalidade”, uma subdivisão de estágios, que ocorre com sistemas de múltiplos reservatórios (YEH *apud* SANTOS, 2007).

## 2.6 MODELOS UTILIZADOS NA OTIMIZAÇÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA

Conforme Santos *et al.* (2009), os modelos matemáticos são muito utilizados na agricultura irrigada, pelo fato de apresentarem soluções ótimas para o desenvolvimento eficaz desta atividade. Vários pesquisadores desenvolveram diferentes tipos de modelos para determinadas áreas do conhecimento. Moore (1961) desenvolveu em um projeto de irrigação, uma forma otimizada e econômica para distribuir água.

A técnica da programação linear apresenta alguns modelos utilizados na irrigação, como: o CISDERGO (CURI e CURI, 2001a), o AgriBMPWater (TURPIN *et al.*, 2005), e o DSIRR (BAZZANI, 2005). Segundo Vieira (2011), vários autores desenvolveram modelos de programação linear em perímetros irrigados no estado da Paraíba, por exemplo: Curi *et al.* (2005), Celeste (2006), Barros (2010), Vieira *et al.* (2010). A finalidade destes estudos foi para encontrar resultados ótimos na utilização dos recursos hídricos.

Marquez *et al.* (2009) apresenta outros modelos em programação linear de alguns autores, tais como: o modelo de Pleban *et al.* (1981), que de acordo com a disponibilidade hídrica, minimiza os custos sem prejudicar a produção. Carvalho *et al.* (2000) utilizou seu modelo no perímetro irrigado de Gorotuba-MG, para otimizar o uso da água e maximizar a receita bruta. Mannoehhi e Mercarelli (1994) e Hazel (1971) também desenvolveram seus modelos para a otimização da irrigação.

De acordo com Delgado *et al.* (2012), Frizzone *et al.* (1997) utilizou um modelo de programação linear que teve como função objetivo a maximização da receita líquida. O modelo foi aplicado em Petrolina-PE, no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, com o intuito de identificar o uso racional da água. No projeto PROJIR, no Estado do Rio de Janeiro, foi aplicado uma programação não-linear para modelar a geração de padrões de cultivos.

Barboza *et al.* (1997), Rotz (1986), Mercante *et al.* (2001), Lopes *et al.* (1995), desenvolveram modelos computacionais visando minimizar os custos operacionais e de produção. Enquanto que Feyet *et al.* (2002) desenvolveu um modelo para maximizar o lucro em um sistema agrícola (BAIO *et al.*, 2004).

Segundo Vieira (2011), modelos de programação não-linear também foram utilizados para resolver problemas na agricultura irrigada e nos sistemas de reservatórios. Alguns desses trabalhos foram desenvolvidos por: Azevedo *et al.* (1997), Yeh (1985), Simonovic (1992), Wurbs (1993), Labadie (2004) e Lima e Lanna (2005).

O modelo proposto por Juan (1996) permite ao agricultor aprimorar a rotação de culturas, produção e renda. Já o modelo de Jiracheewee (1996), através de um banco de dados, possibilitava o melhoramento dos sistemas de irrigação. Utilizando a programação dinâmica, Hajilal (1998) desenvolveu um modelo para operação em canais de irrigação que minimiza a função de déficit de água (ALENCAR, 2009).

Alguns autores como Lima e Lanna (2005), Labadie (2004), Mujumdar e Ramesh (1997), Perera e Codner (1996), Young (1967), Lima e Lanna (2001), desenvolveram estudos de Programação Dinâmica em sistemas de recursos hídricos, dando destaque aos problemas de operação de reservatórios (VIEIRA, 2011).

## 2.7 PLANEJAMENTO NA AGRICULTURA IRRIGADA

Para desenvolver um planejamento na agricultura, é necessário um estudo cuidadoso a fim de solucionar a equação do balanço hídrico entre a oferta e a demanda, tanto ainda no que se refere à quantidade como a sua repartição espacial e temporal (FRIZZONE, 1996).

Segundo Curi *et al.* (2002), um planejamento eficiente na agricultura irrigada proporciona um aumento na produtividade e na geração de emprego e renda, promovendo, assim, uma vida melhor para os agricultores. Geralmente no semiárido paraibano é utilizada nos perímetros irrigados a água dos açudes ou poços como abastecimento hídrico. Uma otimização do uso da água, é capaz de identificar quais são as culturas que devem ser irrigadas, e determinar a quantidade de água que deve ser utilizada no cultivo. Estas informações são de suma importância para que os produtores consigam produzir mais utilizando menos água, realizando assim, uma atividade eficiente.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Serão abordados nesta seção, os dados e a metodologia aplicados para o desenvolvimento desta pesquisa, que mostrarão os meios necessários para atingir os objetivos propostos e obter conseqüentemente os resultados deste trabalho.

#### 3.1 QUANTO AOS PROCEDIMENTOS

De acordo com os objetivos, a pesquisa é definida como descritiva, já que a mesma descreve as características da área de estudo. Conforme Siena (2007), a pesquisa descritiva visa apresentar as características de determinada população ou fenômeno, estabelecendo as relações entre variáveis. Para o levantamento, utiliza-se a técnica de coleta de dados ou uma observação sistemática.

É tida também como uma pesquisa exploratória, pois segundo Gil (2008) o objetivo principal desta temática é apresentar conceitos e idéias, visando à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses.

#### 3.2 QUANTO AOS FINS

O método utilizado nesta pesquisa é o hipotético-dedutivo. Para Santos (2012), este método possui as etapas de conhecimento prévio, problema, hipóteses e falseamento, e é por meio da experimentação que os erros são detectados e eliminados. Gil (2008) afirma que o método hipotético-dedutivo procura evidências empíricas para derrubar as hipóteses, e que estas hipóteses são feitas para tentar explicar o problema em estudo.

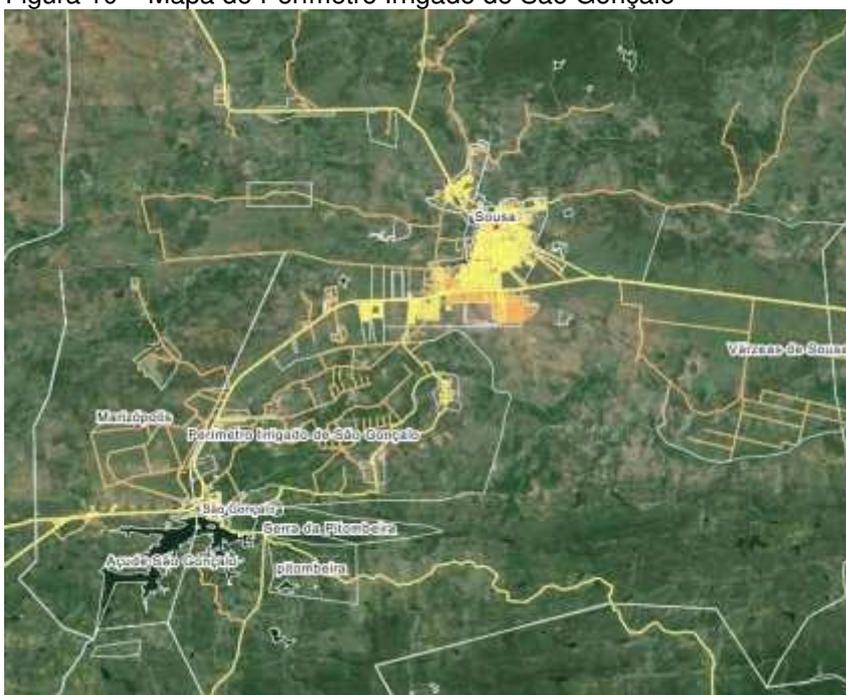
#### 3.3 DESCRIÇÃO DO PERÍMETRO IRRIGADO DE SÃO GONÇALO - PB

O Perímetro Irrigado de São Gonçalo está localizado na bacia hidrográfica do Alto Piranhas, e esta localiza-se na região sudoeste do Estado da Paraíba, no Nordeste brasileiro, entre as coordenadas geográficas de 6°50' e 7°25' de latitude sul e 38°10' e 38°40' de longitude a oeste de Greenwich (FARIAS, 2004). Os solos predominantes na região são: aluvionais, vertissolos e podzólicos, todos com textura

argilosa. O clima apresenta-se semiárido quente. Em relação à temperatura anual, a mínima apresenta 22°C, a média 27°C e a máxima 38°C (DNOCS, 2013).

O Perímetro Irrigado de São Gonçalo foi fundado em 1973, localiza-se no Distrito de São Gonçalo, próximo a cidade de Sousa, no Estado da Paraíba (Figura 10). Possui atualmente 2.402 ha de área irrigada, dividida em 482 lotes de área média de 4,27 ha (SILVA NETO *et al.*, 2012).

Figura 10 – Mapa do Perímetro Irrigado de São Gonçalo



Fonte - Wikimapia, 2013.

De acordo com Farias (2004), a umidade média relativa do ar da região é em torno de 62%. A vegetação natural predominante é a do tipo hiperxerófila, conhecida como caatinga. As espécies mais comuns na área são: catingueira, ipê, jurema, pereiro, baraúna, angico, macambira, xiquexique e umbuzeiro. Seu relevo apresenta-se plano, suave ondulado e ondulado.

Além disso, possui um reservatório com uma capacidade de armazenamento de 44.600.000 m<sup>3</sup> e foi construído em 1936, com a finalidade de abastecer as cidades de Sousa e Marizópolis e o distrito de São Gonçalo, como também o Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), que utiliza em prática 50% do volume máximo. Os agricultores deste perímetro convivem com alguns problemas ambientais, tais como: salinização do solo, escassez e degradação da água disponível, incidência muito grande de pragas e doenças, e perda de fertilidade do

solo (FARIAS, 2004). De acordo com a AESA (2013), o açude de São Gonçalo atualmente conta com apenas 14.306.160 m<sup>3</sup>, representando 32,1% da capacidade total. Em relação à área irrigada, o PISG, possui uma área máxima irrigável de aproximadamente 4.100 ha, e sua área implantada é de 2.402 ha.

As culturas produzidas no perímetro atualmente compreendem: coco, banana, arroz, feijão, milho, maracujá, goiaba, algodão e tomate. E com relação aos métodos de irrigação, o mais utilizado é por inundação, chegando a irrigar uma área de 83,88% do perímetro e o método por microaspersão, com uma área de 16,12%. É desenvolvida também a atividade da pecuária (DNOCS, 2013).

Para Silva Neto *et al.* (2012), existe a possibilidade da agricultura irrigada no perímetro está sendo manejada de forma incorreta, já que 82% dos agricultores não possuem assistência técnica para executar suas atividades e apenas 18% recebem esta assistência. Estas práticas podem contribuir consequentemente para degradação dos recursos naturais.

### 3.4 COLETA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.4.1 Quanto à abordagem

Esta pesquisa é caracterizada como quali-quantitativa. Conforme Gerhardt *et al.* (2009), a pesquisa qualitativa, enfoca a compreensão e caracterização da realidade da área estudada, sem se preocupar com dados numéricos. Para Siena (2007), a pesquisa quantitativa leva em consideração os dados que podem ser tratados através de técnicas estatísticas e matemáticas obtendo consequentemente os resultados por meio de números.

#### 3.4.2 Quanto à descrição da análise

Para por em prática os objetivos especificados deste trabalho, foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica e exploratória para entender os conceitos e técnicas da agricultura irrigada e levantar os dados disponíveis do perímetro em estudo. Para Severino (2007) a pesquisa bibliográfica e exploratória é feita com os dados já trabalhados e registrados por outros autores, por meio de documentos impressos, como teses, artigos, livros, etc.

Assim, inferiu-se a seguinte hipótese: “Será que o Perímetro Irrigado de São Gonçalo possui um planejamento adequado que induzam os irrigantes a utilizar técnicas sustentáveis?”. Com o intuito de averiguar a veracidade da hipótese, optou inicialmente por uma coleta de dados do perímetro estudado a partir do arcabouço literário disponível.

A fim de atingir o planejamento mais adequado para área em estudo, foi utilizado um modelo matemático que utiliza técnica de programação linear. Essa modelagem tem como base os trabalhos de Farias (2004) e Santos (2007), que delinearão as seguintes equações e fundamentou este trabalho. Assim temos:

A função da renda bruta anual  $Rb_{jt}$  em R\$/ano/cultura é dada por:

$$Rb_{jt} = \sum_{j=1}^{nc} Pd_{jt} * Pr_{jt} * Ac_{jk} \quad (3.1)$$

sendo:  $j$  - indica o tipo de cultura,  $j=1, \dots, nc$ ;  $t$  - indica o ano,  $t=1, \dots, na$ ;  $k$  - indica o perímetro irrigado,  $k=1, \dots, ni$ ;  $ni$  - número de perímetros irrigados;  $nc$  - número de culturas;  $na$  - número de anos em estudo;  $Pd_{jt}$  - produtividade da cultura  $j$  por unidade de área no ano  $t$  de irrigação;  $Pr_j$  - valor atualizado do preço de comercialização da cultura  $j$  e  $Ac_{jk}$  - área plantada com a cultura  $j$  no perímetro  $k$ .

A função do custo de produção anual,  $Cp_{jt}$  em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas é representada por:

$$Cp_{jt} = \sum_{j=1}^{nc} Cprod_{jt} * Ac_{jk} \quad (3.2)$$

sendo:  $Cprod_{jt}$  - valor atualizado do custo de produção por unidade de área da cultura  $j$  referentes a gastos relativos ao ano  $t$ .

A função do custo de energia anual,  $Ce_{jt}$  em R\$/ano/KW, é obtida por:

$$Ce_{jt} = \sum_{j=1}^{nc} Cener_{jt} * Ac_{jk} \quad (3.3)$$

sendo:  $Cener_{jt}$  – valor atualizado do custo de energia por unidade de área da cultura j referentes a gastos relativos ao ano t.

A função do custo de água anual,  $Ca_{jt}$  em R\$/ano/cultura, aduzida para os perímetros é obtida por:

$$Ca_{jt} = \sum_{k=1}^{nc} Pr a_k * Qirr_{ijk} * Ac_{jk} \quad (3.4)$$

sendo:  $Pr a_k$  – preço da água por unidade de volume, aduzida para o perímetro k;  
 $Qirr_{jk}$  - é lâmina de água por ha e cultura j;

Assim, a função objetivo é maximizar a receita líquida total,  $RL$  em R\$, que é dada por:

$$RL = \sum_{j=1}^{nc} [Rb_{jt} - (Cp_{jt} + Ce_{jt} + Ca_{jt})] \quad (3.5)$$

Sujeito às restrições do perímetro, que compreendem:

Limitação da área total a ser cultivada:

$$\sum_{j=1}^n Ac_{jk} \leq A_{maxk} \quad (3.6)$$

sendo:  $A_{maxk}$  - é a área máxima irrigável de 4.100 ha no perímetro k;

Limitação do volume de água disponível:

$$\sum_{j=1}^n Q_{irrjk} * A_{cjk} \leq \alpha * V_{max} \quad (3.7)$$

sendo:  $\alpha$  - a fração do volume máximo do reservatório São Gonçalo, utilizado 50% do volume;

Rotatividade das culturas:

$$A_{minjk} \leq A_{jk} \leq A_{maxjk} \quad (3.8)$$

sendo:  $A_{minjk}$  - é área mínima a ser plantada de uma determinada cultura  $j$  e;  $A_{maxjk}$  - é área máxima de uma determinada cultura  $j$ .

### 3.4.3 Quanto à descrição dos cenários e dados utilizados

Para avaliar o Perímetro Irrigado de São Gonçalo - PB foram idealizados três cenários, que foi levado em consideração os tipos de sistemas de irrigação (inundação, microaspersão e gotejamento), e os regimes hidroclimáticos (seco, médio e chuvoso).

Na Tabela 3.1 mostra a precipitação média mensal e evaporação média mensal, para a situação climática seca.

Tabela 3.1 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática seca

Situação Climática Seca													
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Precipitação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	102,8	93,3	83	317,3	42,4	41,9	10,3	0	0	9,7	0	25,2	725,9
Evaporação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	182,6	157,2	141,6	136	144,8	144,9	168,6	200,1	215,9	223,2	216,2	205,9	2137

Fonte - SUDENE, 1990.

Já na Tabela 3.2 mostra a precipitação média mensal e evaporação média mensal, para a situação climática média.

Tabela 3.2 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática média

Situação Climática Média													
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Precipitação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	96	176	247,2	175,6	68,8	34,5	15,8	5,6	4,5	11,6	18,5	41,1	914,4
Evaporação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	182,6	157,2	141,6	136	144,8	144,9	168,6	200,1	215,9	223,2	216,2	205,9	2137

Fonte - SUDENE, 1990.

Enquanto que na Tabela 3.3 mostra a precipitação média mensal e a evaporação média mensal, para a situação climática chuvosa.

Tabela 3.3 - Precipitação e evaporação média mensal, para a situação climática chuvosa

Situação Climática Chuvosa													
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Precipitação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	179,9	315,9	225,7	445,7	144,6	124,9	57	4,6	22,6	0,6	2	147,1	1670
Evaporação média mensal													
Perímetro de São Gonçalo	182,6	157,2	141,6	136	144,8	144,9	168,6	200,1	215,9	223,2	216,2	205,9	2137

Fonte - SUDENE, 1990.

Nesta pesquisa, foram selecionadas quatorze culturas, dentre elas, oito perenes e semi-perenes (coco, banana, goiaba, acerola, uva, manga, maracujá, graviola) e seis culturas sazonais (feijão, milho, tomate, melão, melancia, algodão), onde as culturas sazonais ou temporárias são cultivadas duas vezes ao ano, na safra (s) e na entressafra (es).

Na Tabela 3.4 estão expostos os dados levantados para o planejamento do perímetro. Os valores da produção e do custo de produção das culturas foram adquiridos na Planilha de Orçamento de Culturas Agrícolas do Banco do Nordeste do Brasil (2012). Os preços médios de comercialização referente às culturas foram coletados no site da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA, 2013). O consumo médio de energia foi obtido através da Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó (COIPI, 2003), e o seu respectivo custo foi obtido na Empresa de energia elétrica da Paraíba (ENERGISA, 2013). Os dados relativos à eficiência do sistema de irrigação foram adquiridos no livro de Gomes (1999), enquanto que a eficiência de aplicação foi obtida de acordo com a Resolução nº 687 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2004). Foi adotado um preço unitário básico (PUB) de R\$ 0,005 recomendado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2011). O consumo de água das culturas consideradas foi estimado, levando

em consideração os regimes hidroclimáticos e o balanço hídrico simplificado do solo, recomendado no trabalho de Curi *et al.* (2005).

### 3.4.3.1 Cenário 1

Neste cenário será considerado o Sistema de Irrigação por Inundação e os regimes hidroclimáticos: seco, médio e chuvoso, conforme as Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 1

CULTURAS	Produção (Kg/ha/ano)	Preço (R\$/Kg)	Custo de Produção (R\$/ha/ano)	Custo de Energia (R\$/KW/ha/ano)	Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema	Eficiência de Aplicação
<b>Perenes e Semiperenes</b>							
Coco	40.000	2,20	4.644,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Banana	40.000	2,30	13.515,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Goiaba	18.000	2,25	6.097,56	0,00	Inundação	0,6	0,6
Acerola	20.000	2,60	6.752,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Uva	40.000	2,90	34.221,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Manga	15.000	1,40	4.198,20	0,00	Inundação	0,6	0,6
Maracujá	14.000	2,50	15.197,40	0,00	Inundação	0,6	0,6
Graviola	7.000	4,00	5.975,36	0,00	Inundação	0,6	0,6
<b>Sazonais ou Temporárias</b>							
Feijão (s) e (es)	1.200	3,20	1.920,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Milho (s) e (es)	8.000	0,93	2.072,50	0,00	Inundação	0,6	0,6
Tomate (s) e (es)	40.000	1,50	15.711,80	0,00	Inundação	0,6	0,6
Melão (s) e (es)	20.000	1,50	6.162,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Melância (s) e (es)	25.000	0,55	4.708,00	0,00	Inundação	0,6	0,6
Algodão (s) e (es)	3.000	4,50	4.781,85	0,00	Inundação	0,6	0,6

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Tabela 3.5 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 1

CULTURAS	Consumo de Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)
<b>Perenes e Semiperenes</b>						
Coco	38.416,51	33.650,92	25.446,26	192,083	168,255	127,231
Banana	42.672,11	37.605,37	29.066,39	213,361	188,027	145,332
Goiaba	34.160,91	29.971,24	21.826,13	170,805	149,856	109,131
Acerola	38.416,51	33.650,92	25.446,26	192,083	168,255	127,231
Uva	19.266,32	17.300,79	11.918,80	96,332	86,504	59,594
Manga	35.049,46	31.495,26	23.457,90	175,247	157,476	117,289
Maracujá	29.905,31	26.351,11	18.579,17	149,527	131,756	92,896
Graviola	46.927,71	41.756,05	32.686,52	234,639	208,780	163,433
<b>Sazonais ou Temporárias</b>						
Feijão (s) e (es)	20.965,24	17.836,02	16.313,85	104,826	89,180	81,569
Milho (s) e (es)	24.508,70	18.326,42	18.551,29	122,543	91,632	92,756
Tomate (s) e (es)	17.637,89	16.039,60	10.605,40	88,189	80,198	53,027
Melão (s) e (es)	15.882,72	14.368,82	12.846,65	79,414	71,844	64,233
Melância (s) e (es)	14.407,25	13.284,85	11.762,67	72,036	66,424	58,813
Algodão (s) e (es)	20.672,86	17.232,54	15.787,32	103,364	86,163	78,937

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

### 3.4.3.2 Cenário 2

Neste cenário será considerado o Sistema de Irrigação por Microaspersão e os regimes hidroclimáticos: seco, médio e chuvoso, conforme as Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.6 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 2

CULTURAS	Produção (Kg/ha/ano)	Preço (R\$/Kg)	Custo de Produção (R\$/ha/ano)	Custo de Energia (R\$/KW/ha/ano)	Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema	Eficiência de Aplicação
<b>Perenes e Semiperenes</b>							
Coco	40.000	2,20	4.644,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Banana	40.000	2,30	13.515,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Goiaba	18.000	2,25	6.097,56	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Acerola	20.000	2,60	6.752,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Uva	40.000	2,90	34.221,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Manga	15.000	1,40	4.198,20	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Maracujá	14.000	2,50	15.197,40	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Graviola	7.000	4,00	5.975,36	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
<b>Sazonais ou Temporárias</b>							
Feijão (s) e (es)	1.200	3,20	1.920,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Milho (s) e (es)	8.000	0,93	2.072,50	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Tomate (s) e (es)	40.000	1,50	15.711,80	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Melão (s) e (es)	20.000	1,50	6.162,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Melância (s) e (es)	25.000	0,55	4.708,00	241,45	Microaspersão	0,75	0,9
Algodão (s) e (es)	3.000	4,50	4.781,85	241,45	Microaspersão	0,75	0,9

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Tabela 3.7 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 2

CULTURAS	Consumo de Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)
<b>Perenes e Semiperenes</b>						
Coco	25.088,33	21.976,11	16.617,96	125,4416667	109,8805556	83,08981481
Banana	27.867,50	24.558,61	18.982,13	139,3375	122,7930556	94,91064815
Goiaba	22.309,17	19.573,06	14.253,80	111,5458333	97,86527778	71,26898148
Acerola	25.088,33	21.976,11	16.617,96	125,4416667	109,8805556	83,08981481
Uva	12.582,08	11.298,47	7.783,70	62,91041667	56,49236111	38,91851852
Manga	22.889,44	20.568,33	15.319,44	114,4472222	102,8416667	76,59722222
Maracujá	19.530,00	17.208,89	12.133,33	97,65	86,04444444	60,66666667
Graviola	30.646,67	27.269,26	21.346,30	153,2333333	136,3462963	106,7314815
<b>Sazonais ou Temporárias</b>						
Feijão (s) e (es)	13.691,59	11.648,01	10.653,94	68,45793981	58,24006944	53,26969907
Milho (s) e (es)	16.005,68	11.968,27	12.115,13	80,02840278	59,84136574	60,575625
Tomate (s) e (es)	11.518,62	10.474,84	6.925,98	57,59310185	52,37421296	34,62988426
Melão (s) e (es)	10.372,39	9.383,72	8.389,65	51,86194444	46,91861111	41,94824074
Melância (s) e (es)	9.408,82	8.675,82	7.681,75	47,04409722	43,37909722	38,40872685
Algodão (s) e (es)	13.500,64	11.253,90	10.310,09	67,50321759	56,26951389	51,55043981

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

### 3.4.3.3 Cenário 3

Para este cenário será considerado o Sistema de Irrigação por Gotejamento e os regimes hidroclimáticos: seco, médio e chuvoso, conforme as Tabelas 3.8 e 3.9.

Tabela 3.8 – Dados financeiros e técnicos das culturas analisadas no Cenário 3

CULTURAS	Produção (Kg/ha/ano)	Preço (R\$/Kg)	Custo de Produção (R\$/ha/ano)	Custo de Energia (R\$/KW/ha/ano)	Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema	Eficiência de Aplicação
<b>Perenes e Semiperenes</b>							
Coco	40.000	2,20	4.644,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Banana	40.000	2,30	13.515,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Goiaba	18.000	2,25	6.097,56	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Acerola	20.000	2,60	6.752,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Uva	40.000	2,90	34.221,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Manga	15.000	1,40	4.198,20	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Maracujá	14.000	2,50	15.197,40	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Graviola	7.000	4,00	5.975,36	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
<b>Sazonais ou Temporárias</b>							
Feijão (s) e (es)	1.200	3,20	1.920,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Milho (s) e (es)	8.000	0,93	2.072,50	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Tomate (s) e (es)	40.000	1,50	15.711,80	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Melão (s) e (es)	20.000	1,50	6.162,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Melância (s) e (es)	25.000	0,55	4.708,00	241,45	Gotejamento	0,85	0,95
Algodão (s) e (es)	3.000	4,50	4.781,85	241,45	Gotejamento	0,85	0,95

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Tabela 3.9 – Dados financeiros e técnicos, considerando os regimes hidroclimáticos no Cenário 3

CULTURAS	Consumo de Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Consumo de Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Seco (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Médio (m³/ha/ano)	Custo da Água - Regime Chuvoso (m³/ha/ano)
<b>Perenes e Semiperenes</b>						
Coco	20.971,67	18.370,12	13.891,18	104,8583591	91,8506192	69,45588235
Banana	23.294,81	20.528,87	15.867,41	116,4740712	102,6443498	79,3370743
Goiaba	18.648,53	16.361,38	11.914,94	93,24264706	81,80688854	59,5746904
Acerola	20.971,67	18.370,12	13.891,18	104,8583591	91,8506192	69,45588235
Uva	10.517,53	9.444,54	6.506,50	52,5876548	47,22271672	32,53250774
Manga	19.133,59	17.193,34	12.805,73	95,66795666	85,96671827	64,02863777
Maracujá	16.325,39	14.385,14	10.142,41	81,62693498	71,92569659	50,7120743
Graviola	25.617,96	22.794,74	17.843,65	128,0897833	113,9736842	89,21826625
<b>Sazonais ou Temporárias</b>						
Feijão (s) e (es)	11.444,98	9.736,73	8.905,77	57,22490325	48,68364938	44,52885062
Milho (s) e (es)	13.379,36	10.004,44	10.127,19	66,89680728	50,02219427	50,63597136
Tomate (s) e (es)	9.628,57	8.756,06	5.789,52	48,14284056	43,78030186	28,94758127
Melão (s) e (es)	8.670,42	7.843,98	7.013,02	43,35208978	39,21989164	35,06509288
Melância (s) e (es)	7.864,96	7.252,23	6.421,27	39,32478715	36,26116486	32,1063661
Algodão (s) e (es)	11.285,37	9.407,29	8.618,34	56,42683824	47,03643576	43,09169892

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

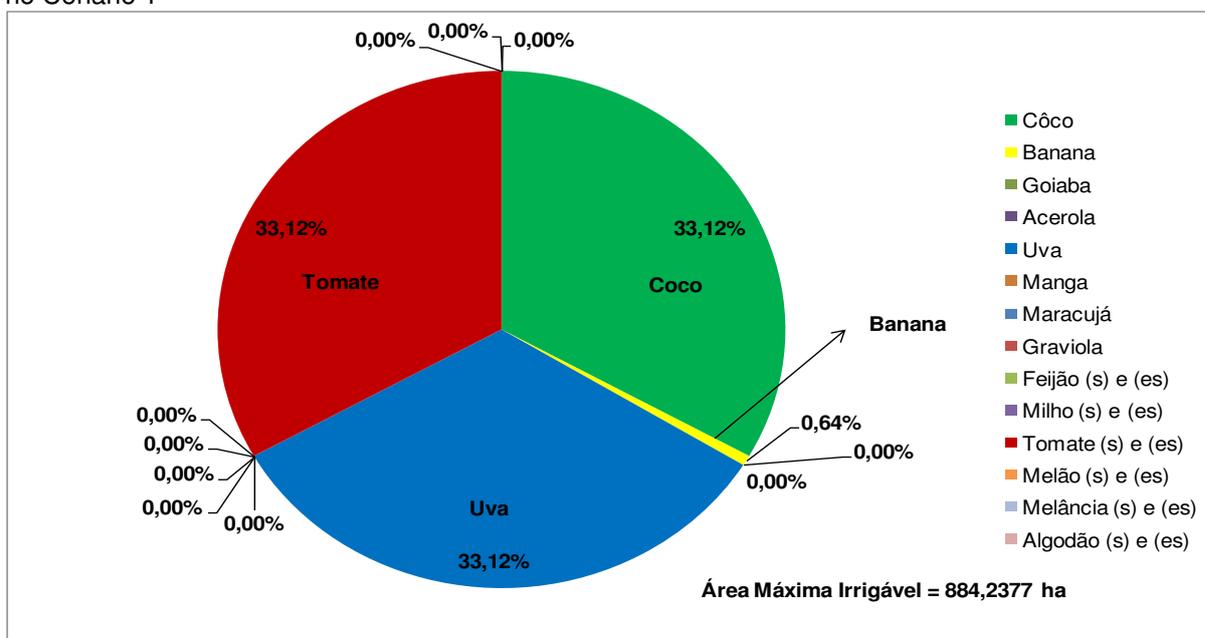
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de um estudo detalhado e a disposição de algumas informações sobre o tema desta pesquisa, dentro do referencial teórico, nesta seção serão discutidos os resultados obtidos para o Perímetro estudado, a partir da aplicação do modelo linear proposto. Que seguirá a sistemática dos cenários de operação proposto.

### 4.1 CENÁRIO 1 – Sistema de irrigação por inundação

A Figura 11 mostra as culturas selecionadas e o percentual da área a ser plantada de cada cultura. As culturas foram escolhidas levando em consideração a rentabilidade, o consumo de água e também a rotatividade de cultura. Considerando o regime hidroclimático seco e o sistema de irrigação por inundação, as culturas selecionadas, para o perímetro estudado foram: coco (33,12%), tomate (33,12%), uva (33,12%) e banana (0,64%) perfazendo uma área máxima irrigável de 884,24 ha.

Figura 11 - Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 1

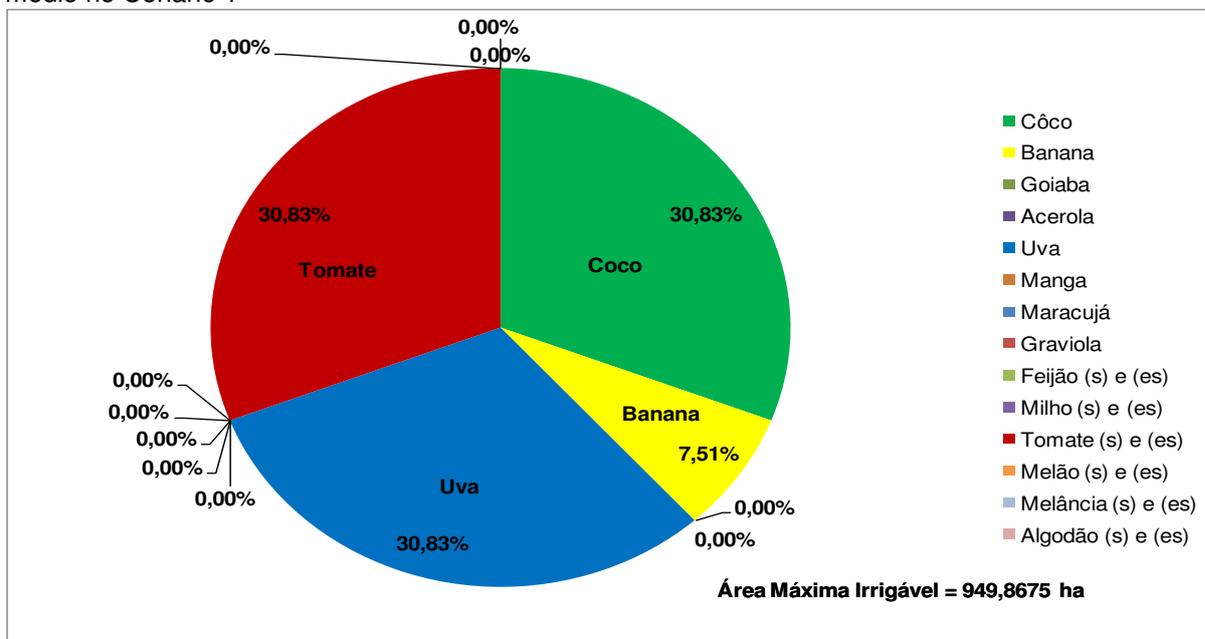


Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Na Figura 12 mostra, considerando o regime hidroclimático médio e o sistema de irrigação por inundação, que as culturas propostas para o perímetro estudado

foram: coco (30,83%), tomate (30,83%), uva (30,83%) e banana (7,51%) perfazendo uma área máxima irrigável correspondente a 949,87 ha.

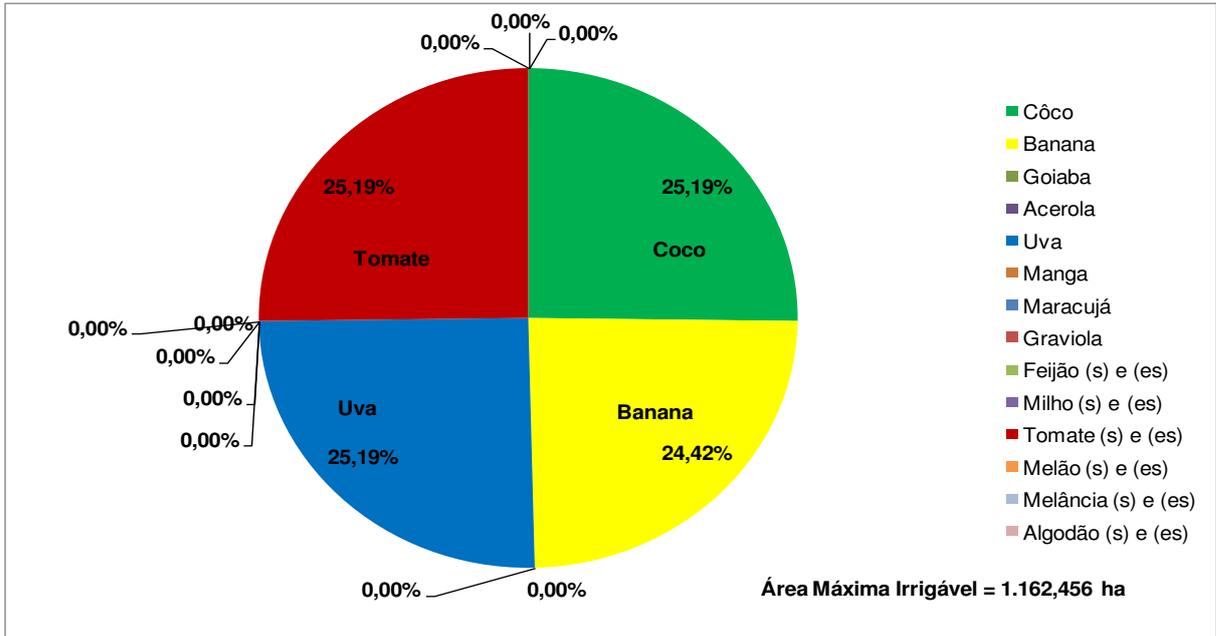
Figura 12 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 1



Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Já na Figura 13 mostra, considerando o regime hidroclimático chuvoso e o sistema de irrigação por inundação, que as culturas selecionadas foram: coco (25,19%), tomate (25,19%), uva (25,19%) e banana (24,42%) permitindo irrigar uma área máxima de 1.162,46 ha.

Figura 13 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 1

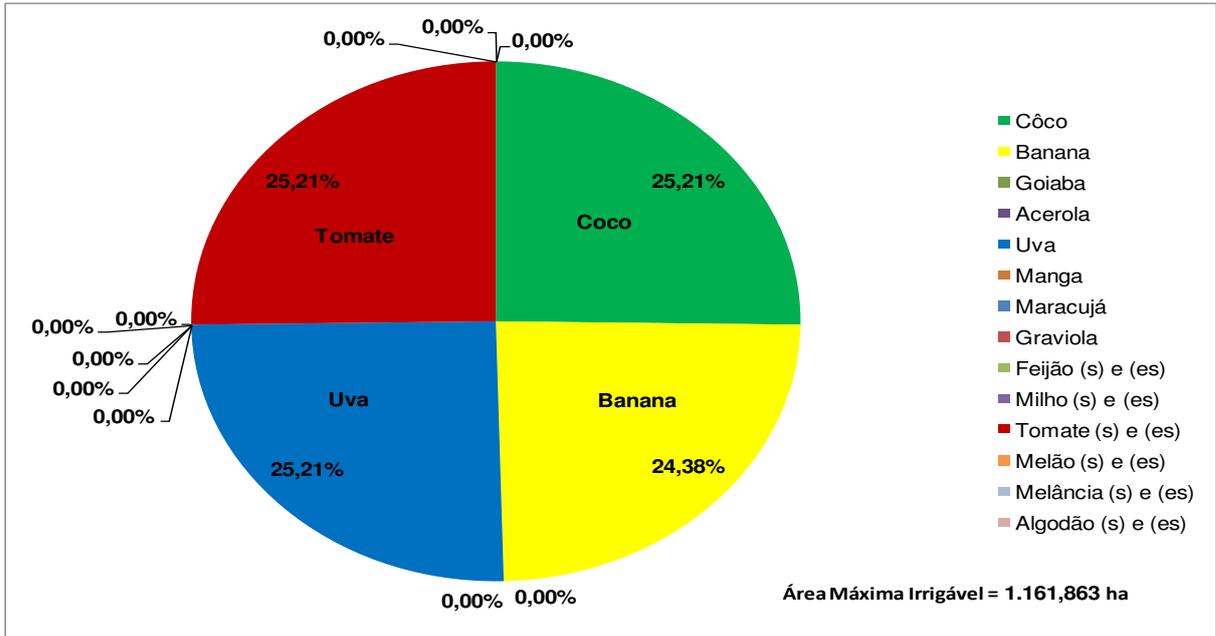


Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

#### 4.2 CENÁRIO 2 – Sistema de irrigação por microaspersão

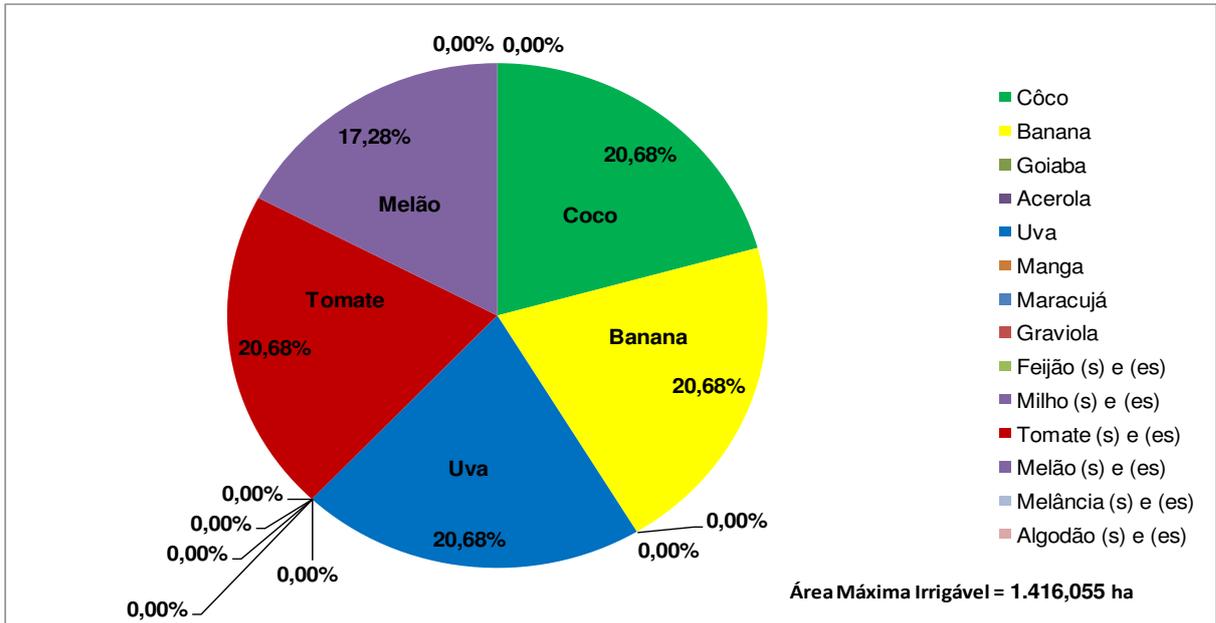
A Figura 14 mostra, considerando o regime hidroclimático seco e utilizando o sistema de irrigação por microaspersão, que as culturas selecionadas foram: coco (25,21%), tomate (25,21%), uva (25,21%) e banana (24,38%), contabilizando uma área máxima irrigável de 1.161,86 ha. Analisando a Figura 15, considerando o regime hidroclimático médio, as culturas selecionadas foram: coco (20,68%), melão (17,28%), tomate (20,68%), uva (20,68%) e banana (20,68%). Sua área máxima irrigável corresponde a 1.416,06 ha.

Figura 14 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 2



Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

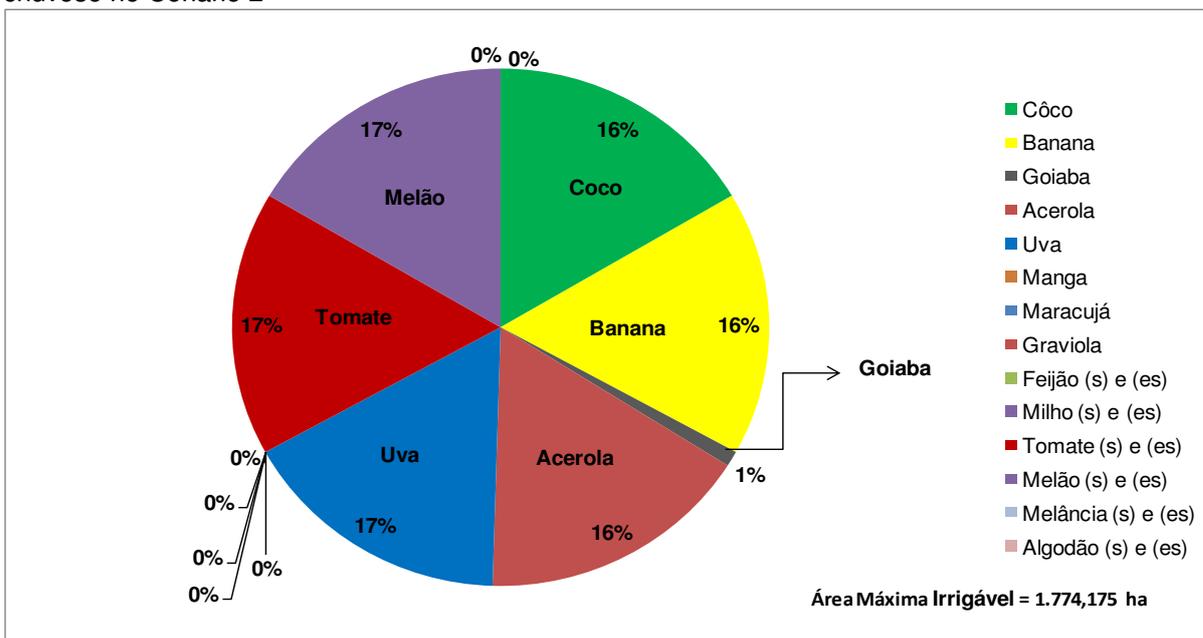
Figura 15 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 2



Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Já na Figura 16 mostra, considerando o regime hidroclimático chuvoso e o sistema de irrigação por microaspersão, que as culturas selecionadas foram: coco (16%), melão (17%), tomate (17%), uva (17%), acerola (16%), goiaba (1%) e banana (16%), podendo irrigar uma área máxima de 1.774,18 ha.

Figura 16 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 2



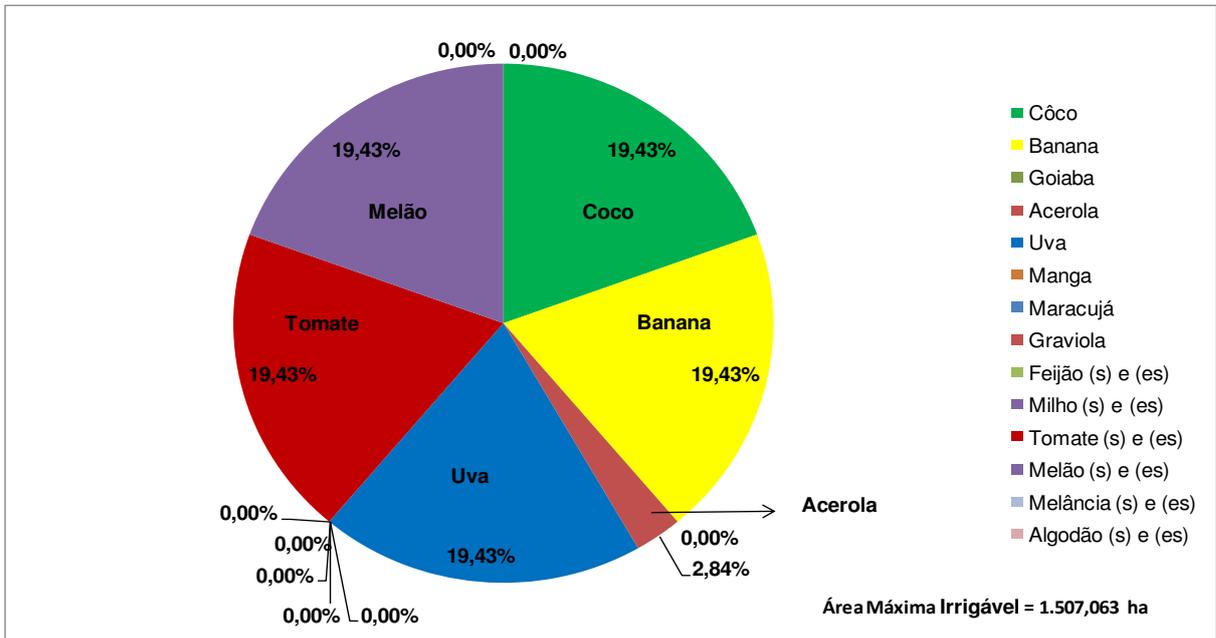
Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

#### 4.3 CENÁRIO 3 – Sistema de irrigação por gotejamento

Analisando este cenário observou-se, e quando comparados com os outros cenários, que a quantidade de culturas selecionadas aumentou. Isso deve ter ocorrido, provavelmente, pelo fato deste sistema de irrigação possuir uma maior eficiência de aplicação na irrigação do que os outros sistemas de irrigação estudados anteriormente. Para tanto, com a mesma quantidade disponível, a área máxima irrigável irá aumentar.

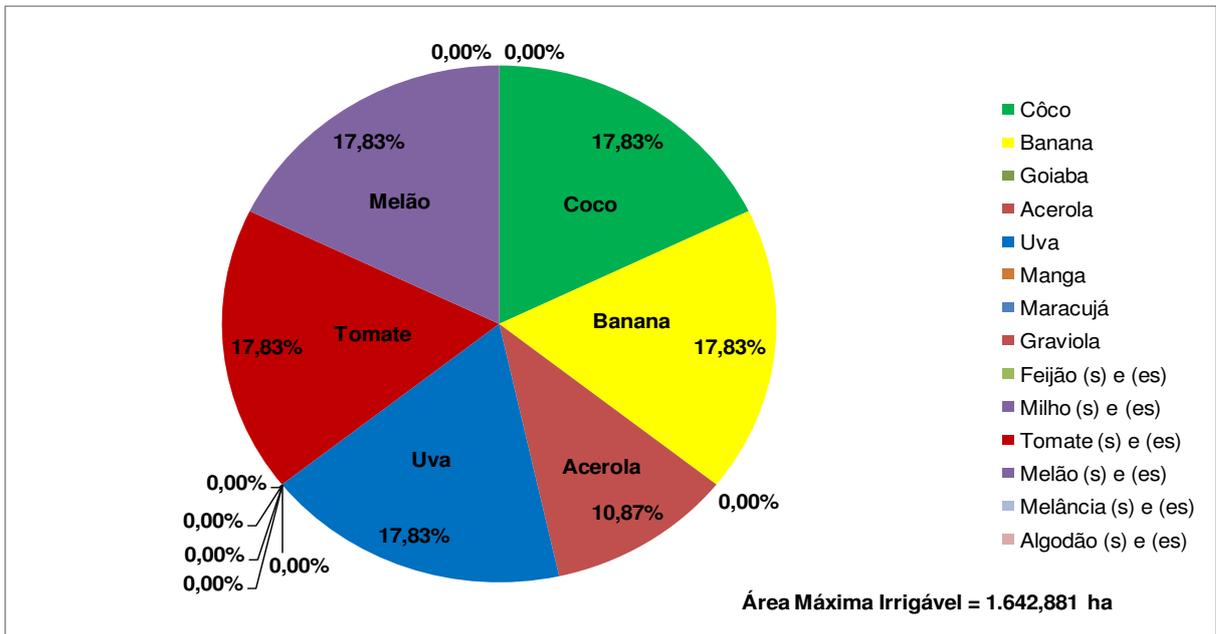
Na Figura 17 mostra, considerando o regime hidroclimático seco e o sistema de irrigação por gotejamento, que as culturas selecionadas foram: coco (19,43%), melão (19,43%), tomate (19,43%), uva (19,43%), acerola (2,84%) e banana (19,43%), compreendendo uma área máxima irrigável de 1.507,06 ha. Já na Figura 18 mostra para o regime hidroclimático médio, que as culturas selecionadas foram: coco (17,83%), melão (17,83%), tomate (17,83%), uva (17,83%), acerola (10,87%) e banana (17,83%) perfazendo uma área irrigável de 1.642,88 ha.

Figura 17 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 3



Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Figura 18 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 3

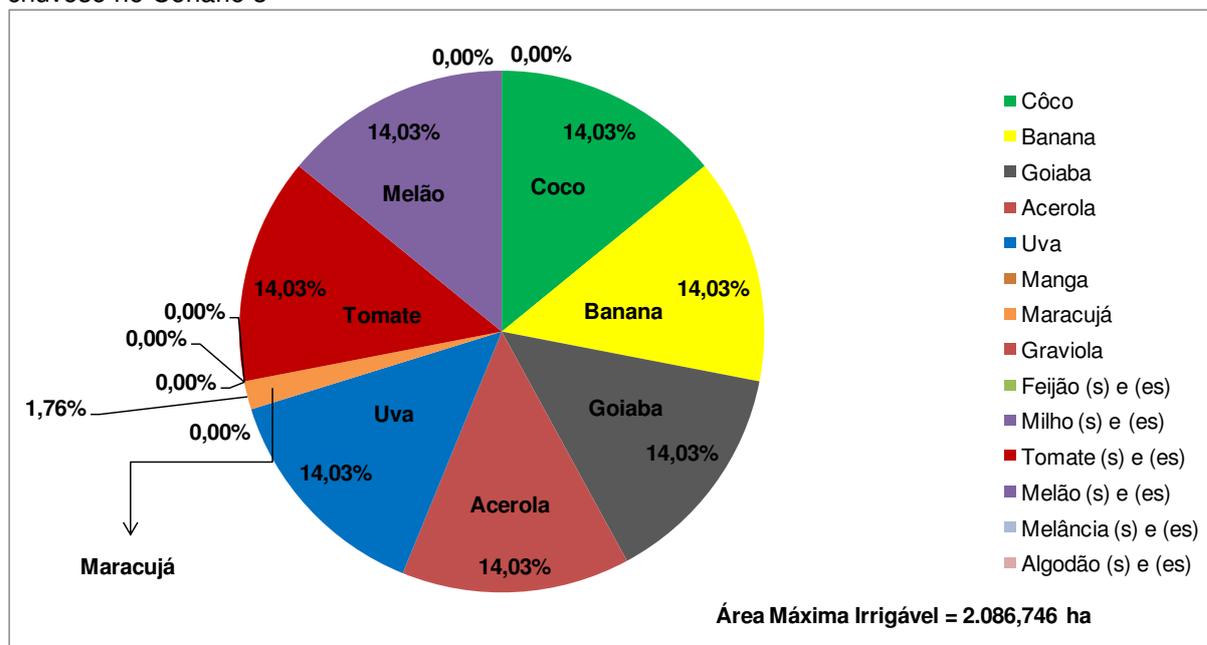


Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

A Figura 19 mostra, considerando o regime hidroclimático chuvoso e o sistema de irrigação por gotejamento, que as culturas selecionadas foram: coco (14,03%), melão (14,03%), tomate (14,03%), maracujá (1,76%), uva (14,03%),

acerola (14,03%), goiaba (14,03%) e banana (14,03%) contabilizando uma área máxima irrigável de 2.086,75 ha.

Figura 19 – Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 3



Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

#### 4.4 RECEITA LÍQUIDA E ÁREA MÁXIMA IRRIGÁVEL POR REGIMES HIDROCLIMÁTICOS

A Tabela 4.1 mostra o total da área irrigável em hectares, para cada sistema de irrigação, nos regimes hidroclimáticos considerados: seco, médio e chuvoso. E observou-se que o sistema de irrigação por gotejamento é considerado o mais eficiente, pois apresenta uma maior área irrigável nos três regimes.

Tabela 4.1 – Área máxima irrigável para cada sistema de irrigação nos três regimes pluviométricos

Sistema de Irrigação	Regimes Pluviométricos		
	Seco	Médio	Chuvoso
Inundação	824,24	949,87	1.162,46
Gotejamento	1.507,06	1.642,88	2.086,75
Microaspersão	1.161,86	1.416,05	1.774,17

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

Enquanto que na Tabela 4.2, apresenta o lucro obtido em cada sistema de irrigação de acordo com o regime pluviométrico. O método por gotejamento apresenta novamente como o sistema mais rentável, nos três regimes.

Tabela 4.2 – Lucro obtido em cada sistema de irrigação nos três regimes pluviométricos

<b>Sistema de Irrigação</b>	<b>Regimes Pluviométricos</b>		
	<b>Seco</b>	<b>Médio</b>	<b>Chuvoso</b>
Inundação	61.664.296,30	66.815.255,16	83.500.291,18
Gotejamento	92.757.331,47	98.860.992,82	114.735.621,87
Microaspersão	83.173.221,76	89.603.967,14	104.594.362,63

Fonte - Dados da pesquisa, 2013.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento adequado é fundamental para a realização eficiente de qualquer atividade, pois permite a obtenção de melhores resultados com o menor prejuízo possível. A agricultura irrigada é uma atividade que vem sendo praticada pelo homem há muitos anos, em todo o mundo, mas mesmo com tanta experiência nesta atividade, ela continua, em muitas regiões, sendo realizada de forma incorreta e sem um planejamento ótimo. A irrigação é de extrema importância para as regiões áridas e semiáridas, onde a ocorrência de chuvas é precária, sendo esta a principal atividade desenvolvida para a produção de alimentos e a geração de emprego e renda para as famílias que habitam a zona rural. Em meio à escassez de chuvas, é notório que a utilização dos recursos hídricos deve ser feita de forma sustentável, para que não ocorram sérios problemas ambientais.

O Perímetro Irrigado de São Gonçalo possui uma produção de grande importância para a economia da região, mas enfrenta muitos problemas na sua execução, justamente pela falta de um planejamento adequado e a utilização de técnicas sustentáveis, ocasionando conseqüentemente impactos negativos em todo o perímetro. O sistema de irrigação por inundação, por exemplo, utilizado no PISG é muito ultrapassado, e mais de 80% da área total do perímetro é irrigada por este tipo de sistema. A mudança por um método mais eficiente, como o sistema de irrigação por gotejamento, é uma ótima solução, como foi comprovada neste estudo.

Na literatura apresenta inúmeros modelos matemáticos, que podem ser utilizados em vários setores da agricultura irrigada, com o intuito de fornecer uma solução ótima para a tomada de decisão. Assim, nesta pesquisa foi utilizado um modelo com técnicas em programação linear, cujo objetivo é maximizar a receita líquida do perímetro, informando ainda às culturas que consomem menos água, com as suas respectivas áreas irrigáveis. Para tanto, foram estabelecidos três cenários pelo tipo de sistema de irrigação (inundação, microaspersão e gotejamento), considerando ainda os regimes hidroclimáticos: seco, médio e chuvoso.

Analisando os resultados de cada cenário, foram observados que as culturas mais rentáveis, que consomem menos água e submetidas ao processo de rotatividade foram: coco, tomate, uva, banana. Foi averiguado ainda que o sistema de irrigação por gotejamento é o mais adequado para ser instalado na região, já que

o mesmo proporciona um aumento na área máxima irrigável e conseqüentemente um aumento na receita líquida do perímetro, nos diferentes regimes hidroclimáticos.

Contudo foi possível observar nesta pesquisa que as mudanças precisam ser feitas no perímetro analisado para que ocorram resultados progressivos, cabendo as autoridades competentes aplicarem as soluções propostas, e desenvolverem, também, projetos de conscientização dos irrigantes, no que concerne a utilização do uso racional da água. Pois o planejamento deveria ser feito antes mesmo dos problemas aparecerem, e não quando o problema se torna complexo, como é o caso da utilização dos recursos hídricos na agricultura irrigada.

## 6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de aprimorar esta pesquisa recomendo algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Analisar outras culturas perenes e/ou sazonais aptas para o perímetro estudado;
- Utilizar modelo multiobjetivo que considere critérios: social (mão-de-obra) e ambiental (defensivos e fertilizantes químicos);
- Propor políticas sustentáveis para a agricultura irrigada do perímetro.

## REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <[www.aesa.pb.gov.br](http://www.aesa.pb.gov.br)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

Águas de Guará Ltda. Disponível em: <<http://www.aguasdeguara.com.br/index.php>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

ALENCAR, V. C. de. **Análises multiobjetivo, baseada em programação linear, e comparativas para agriculturas de manejo convencional e orgânico.** Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2009.

ARMINDO, R. A. et al. Perfil radial, uniformidade e simulação de espaçamentos de aspersores que compõem sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza. v.6, n. 2, p. 63-73., 2012.

BAIO, F. H. R. et al. Modelo de Programação Linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.24, n.2, p.355-363, maio/ago. 2004.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/publicacoes7>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional. **A irrigação no Brasil: Situação e Diretrizes.** Brasília, 2008. Disponível em: <[www.integracao.gov.br/pt/c/document\\_library/get\\_file?uuid=4acec1ad-1463-40fd-8a71-e05f6a29d55c&groupId=10157](http://www.integracao.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=4acec1ad-1463-40fd-8a71-e05f6a29d55c&groupId=10157)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

BERNARDO, S. et al. **Manual de Irrigação.** 8 ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

Caderno de Recomendações Técnicas. Banco do Nordeste, 2013.

CÂMARA JÚNIOR, A. C. **Suporte à decisão para o planejamento agrícola utilizando algoritmos genéticos.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CARVALHO, D. F. de. et al. Otimização do uso da água no Perímetro Irrigado do Gorutuba, utilizando-se a técnica da programação linear. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.203-209, 2000.

COSTA, M. H. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para a irrigação, conforme a época de plantio.** Dissertação (Mestrado) 111p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos.** Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.

CURI, R. C. et al. Alternativas de operação de perímetros irrigados com base no uso da água de reservatórios superficiais e subterrâneos. **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2002.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem**: a água na agricultura. 7. ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos. Revista e ampliada, v. 3. 1988.

DELGADO, A. R. S. et al. **Planejamento da agricultura irrigada no norte fluminense, utilizando diferentes técnicas de programação matemática**. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, Rio de Janeiro, v.4, n.3, p. 249-256, set./dez., 2012.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Disponível em: <[www.dnocs.gov.br/](http://www.dnocs.gov.br/)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

EMPASA. Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. Disponível em: <[http://www.empasa.pb.gov.br/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=104](http://www.empasa.pb.gov.br/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=104)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Disponível em: <[www.fao.org.br](http://www.fao.org.br)>. Acesso em: 03 jul. 2013.

FARIAS, S. R. A. **Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia de Recursos Hídricos), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2004.

FERREIRA, E. J. **Análise técnica e econômica do projeto de irrigação do Jaíba, MG**. 159p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1993.

FERREIRA, V. M. **Irrigação e Drenagem**. Florianópolis, 2011. Disponível em: <[www.ifpr.edu.br/pronatec/wp-content/uploads/2013/06/Irrigacao\\_e\\_Drenagem.pdf](http://www.ifpr.edu.br/pronatec/wp-content/uploads/2013/06/Irrigacao_e_Drenagem.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

FRIZZONE, J. A. **Modelo de programação linear para otimizar o uso da água em Perímetros Irrigados e sua aplicação no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho**. 57p. Tese (Livre Docente) – ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

\_\_\_\_\_. Otimização em irrigação com déficit. In: PAZ, V. S. P.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; GHEYI, H. G. **Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semi-áridas**. Cruz das Almas: UFRB, Núcleo de Engenharia de Água e Solo, p. 273-308, 2009.

FROSSARD, A. C. P. Programação Linear: Maximização de Lucro e Minimização de Custos. **Revista Científica da Faculdade Lourenço Filho**. v.6, n.1, 2009.

GERHARDT, T. E. et al. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, H. P. **Engenharia da Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994.

\_\_\_\_\_. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. Campina Grande: Ed. Universitária/UFPB, 3. ed., 1999.

Governo do Estado do Tocantins. Disponível em:  
<<http://seagro.to.gov.br/noticia.php?id=2573>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

Guia Rio Claro. Disponível em:  
<<http://www.guiarioclaro.com.br/materia.htm?serial=151003920>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

LIMA, J. P. P. et al. Aspectos quantitativos da inovação tecnológica na irrigação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza. v.4, n. 3, p.296–309, 2011.

MANTOVANI, E. C. A Irrigação do cafeeiro. In: **Simpósio Brasileiro de Pesquisa em cafeicultura irrigada**. Araguari, MG. Universidade Federal de Viçosa – Resumos expandidos (Boletim técnico n. 4). Viçosa, p.2-23. 2001.

\_\_\_\_\_. et al. Irrigação de fruteiras tropicais: utilização do sistema “Irriga” In: ZAMBOLIM, L. **Manejo Integrado de Doenças e Pragas: Produção Integrada, Fruteiras Tropicais**. Viçosa, 2003.

MARQUES, P. A. A. et al. Estudo de ocupação econômica em área agrícola na região de piracicaba-sp, incluindo risco através de programação linear. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 25, n. 1, p. 30-41, jan./fev. 2009.

MENDOZA, C. J. C. et al. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza v.6, n. 3, p.184–197, 2012.

OENNING, V. et al. Teoria das Restrições e Programação Linear. Uma análise sobre o enfoque de otimização da produção. **XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção** - Florianópolis - SC, , nov. 2004.

OLISZESKI, C. A. N. **Modelos de planejamento agrícola: um cenário para otimização de processos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

PAZ, V. P. S. et al. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

Planilha de Orçamento das Culturas Agrícolas. Banco do Nordeste do Brasil. Plano de Orçamentos para o Estado da Paraíba – CENOP – JPA, 2012.

PIRES, R. C. M. et al. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. Junho de 2008. Disponível em: <[www.apta.sp.gov.br](http://www.apta.sp.gov.br)>. Acesso em: 03 jul. 2013.

Relatório do Desenvolvimento Humano. **Escassez de água – riscos e vulnerabilidades associados**. Cap. 4, 2006. Disponível em: <[http://hdr.undp.org/en/media/05-Chapter4\\_PT.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/05-Chapter4_PT.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2013.

RODRIGUES, G. S. et al. **Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada**. Circular Técnica 7. Embrapa. Jaguariúna-SP jul., 2004.

SANTOS, I. E. dos. **Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica**. 9. ed., Niterói: Impetus, 2012.

SANTOS, M. A. L. dos. et al. Modelo de Programação Linear para otimização econômica do projeto de irrigação Baixo Acaraú – CE. **Revista Caatinga, Mossoró-RN**, v. 22, n.1, p. 06-19, 2009.

SANTOS, V. S. **Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2007.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIENA, O. **Metodologia da pesquisa científica: elementos para elaboração e apresentação de trabalhos acadêmicos**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho – RO, 2007.

SILVA NETO, M. F. da et al. Análise do perfil agrícola do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.2, p. 155-172, 2012.

SILVA, W. A. da. **Modelagem Matemática Aplicada no Planejamento da Agricultura Irrigada, Utilizando Informações Georreferenciadas**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

SOUSA, E. M. O. **O “Novo modelo de irrigação” e os colonos de Moradia Nova: Política para que público?** Dissertação (Mestrado Acadêmico em Políticas Públicas e Sociedade) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – CE, 2005.

SUDENE – Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste, Recife-PE, 1990.

TAVARES, B. S. **Planejamento em empreendimento de agricultura irrigada visando à otimização do retorno financeiro e uso da água**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife-PE, 2010.

VIEIRA, A. S. **Modelo de Simulação Quali-quantitativo Multiobjetivo para o Planejamento Integrado dos Sistemas de Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2011.

VIEIRA, D. B. **As técnicas de irrigação**. São Paulo: Globo, 263p.,1989.

Wikimapia. **Perímetro Irrigado de São Gonçalo**. Disponível em: <<http://wikimapia.org/17269925/pt/Per%C3%ADmetro-Irrigado-de-S%C3%A3o-Gon%C3%A7alo>>. Acesso em: 01 ago. 2013.