

Planejamento ótimo da água na agricultura irrigada: um estudo de caso em um perímetro paraibano

A agricultura irrigada é uma das atividades econômicas mais importantes desenvolvidas pelo homem e também a que mais consome água. Este trabalho consiste em um estudo no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado no distrito de São Gonçalo, na cidade de Sousa, Estado da Paraíba, tendo como principal objetivo, propor um planejamento ótimo, para o objeto de estudo, que considere um sistema de irrigação eficiente, culturas aptas à região, rentáveis e que consomem a menor quantidade de água possível. 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, consequentemente 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.

Optimum planning water in agriculture irrigated: a case study in a perimeter paraibano

Irrigated agriculture is one of the most important economic activities developed by man and also that consumes more water. This work is a study in the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, located in the district of São Gonçalo, in the city of Sousa, State of Paraíba. Its main goal is to propose a great planning for the perimeter observed that considers an efficient irrigation system, crops suitable for the region, profitable and that consumes the least amount of water possible. For the realization of this planning, we used a mathematical model, which uses linear programming techniques, that aims to obtain an optimal solution to the problem, considering the restrictions such as: the limitation of the total area, the amount of available water, and rotation of the crops. After that were defined three different scenarios for a better analysis of the data, being subdivided by irrigation systems (flood, sprayer and drip) and hydro- schemes (dry, average and wet). The results showed that the drip irrigation system is the most efficient, consequently obtains a larger irrigable area. It was found that the proposed solutions are purposeful and if implemented will provide a bigger profitability for farmers in the region, allied with sustainable practices.

Keywords: Irrigation; Planning; Mathematical Model; Sustainability.

Topic: **Recursos Hídricos**

Received: **07/05/2015**

Approved: **14/11/2015**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Mariana Ferreira Pessoa

Universidade Federal de Campina Grande

<http://lattes.cnpq.br/7235954275825642>

maninhapessoa@hotmail.com

Lilian Figueirôa Assis

Universidade Federal de Campina Grande

<http://lattes.cnpq.br/3237162355201563>

lilianfigueiroa@hotmail.com

Allan Sarmiento Vieira

Universidade Federal de Campina Grande

<http://lattes.cnpq.br/1584355117069605>

allan.sarmiento@ufcg.edu.br



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2016.001.0019

Referencing this:

PESSOA, M. F., ASSIS, L. F., VIEIRA, A. S.. Planejamento ótimo da água na agricultura irrigada: um estudo de caso em um perímetro paraibano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.7, n.1, p.221-234, 2016. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2016.001.0019>

INTRODUÇÃO

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 uma das técnicas que mais consome água, segundo Resende Filho (2011), é necessária a utilização de práticas adequadas e eficientes do uso da água, para que esta atividade se torne sustentável.

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. Porém, devido às constantes secas, que ocorrem principalmente nas regiões áridas e semiáridas, o desenvolvimento desta atividade 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, 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 sistema que vai ser utilizado em determinada região seja feito um planejamento, para que não ocorram prejuízos e desperdícios de água.

Segundo Câmara 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.

Sendo assim, o local escolhido para esta pesquisa é um exemplo típico de região que apresenta baixos índices volumétricos durante o ano, mais evidenciados principalmente no período de seca. Localizado no sertão paraibano o distrito de São Gonçalo, na cidade de Sousa-PB possui um grande projeto público de irrigação no qual 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 neste setor que consome grandes volumes deste recurso. 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 a ênfase na análise e no planejamento ressaltam não apenas técnicas que possam aperfeiçoar o processo, mas na utilização racional da água, trabalhando com eficiência, sem prejudicar a produção e nem causar impactos, de forma negativa, ao meio ambiente. 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?

Para tanto 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.

REVISÃO TEÓRICA

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) e Burt *et al* (2000), 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.

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.

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.

FAO (2012) acrescenta que agricultura usa 70% dos levantamentos mundiais de água doce e é, provavelmente, o setor em que a escassez de água é mais crítica. Aponta ainda que, a questão da escassez varia ao longo do tempo como resultado de hidrologia naturais, variabilidade, mas varia, mais ainda, em função da política econômica vigente, planejamento e gestão.

Sendo assim, 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. (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.

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.

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.

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.

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.

METODOLOGIA

São abordados nesta seção, os dados e os métodos aplicados para o desenvolvimento desta pesquisa, que mostram os meios necessários para atingir os objetivos propostos e obter consequentemente os resultados deste trabalho.

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. Possui atualmente 2.402 ha de área irrigada, dividida em 482 lotes de área média de 4,27 ha (SILVA NETO *et al.*, 2012). De acordo com a FREITAS (2012) o açude de São Gonçalo atualmente conta com apenas 14.306.160m³, 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.

Modelo Matemático

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:

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

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:

$$Cp_{jt} = \sum_{j=1}^{nc} Cprod_{jt} * Ac_{jk} \quad (2)$$

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:

$$Ce_{jt} = \sum_{j=1}^{nc} Cener_{jt} * Ac_{jk} \quad (3)$$

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:

$$Ca_{jt} = \sum_{k=1}^{nc} Pra_k * Qirr_{ijk} * Ac_{jk} \quad (4)$$

sendo: Pra_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:

$$RL = \sum_{j=1}^{nc} [Rb_{jt} - (Cp_{jt} + Ce_{jt} + Ca_{jt})] \quad (5)$$

Sujeito às restrições do perímetro, que compreendem:

Limitação da área total a ser cultivada:

$$\sum_{j=1}^n Ac_{jk} \leq A_{maxk} \quad (6)$$

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

Limitação do volume de água disponível:

$$\sum_{j=1}^n Qirr_{jk} * Ac_{jk} \leq \alpha * V_{max} \quad (7)$$

sendo: α - a fração do volume máximo (V_{max}) do reservatório São Gonçalo, utilizado 50% do volume;

Rotatividade das culturas:

$$A_{minjk} \leq A_{jk} \leq A_{maxjk} \quad (8)$$

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.

Dados Do Perímetro E Descrição Dos Cenários

Os dados levantados para o planejamento do perímetro foram obtidos em várias empresas. 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 (LIMA, 2004), e o seu respectivo custo foi obtido na Empresa de energia elétrica da Paraíba (ENERGISA, 2013). É importante salientar com relação aos preços que diante da indisponibilidade da coleta dos mesmos em 2014-2015, foram corrigidos com as taxas de inflação.

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.* (2002). 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).

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).

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.

Cenário 1: Sistema de Irrigação por Inundação

A Figura 1 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.

Na Figura 2 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.

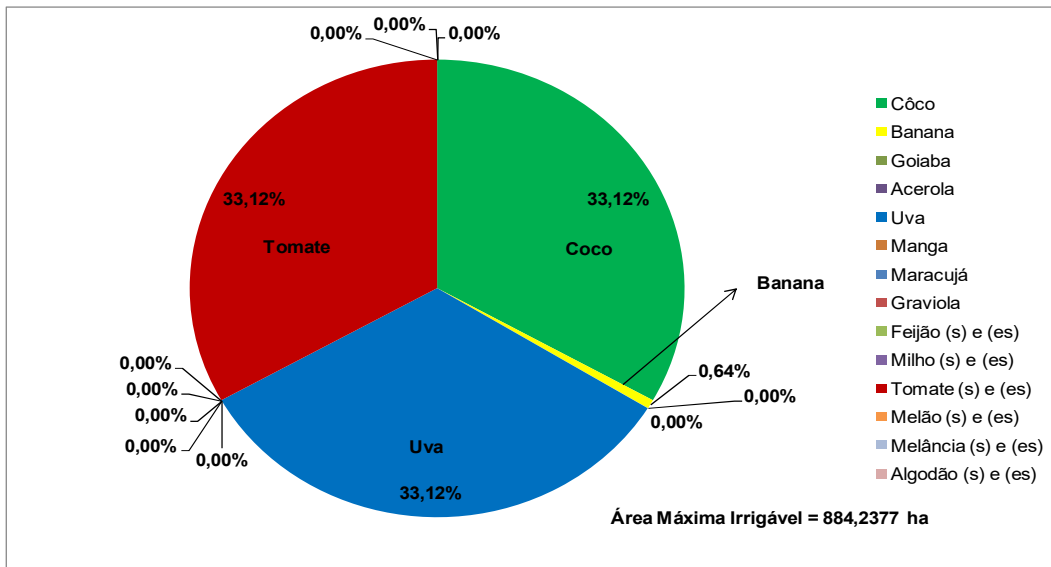


Figura 1: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 1.

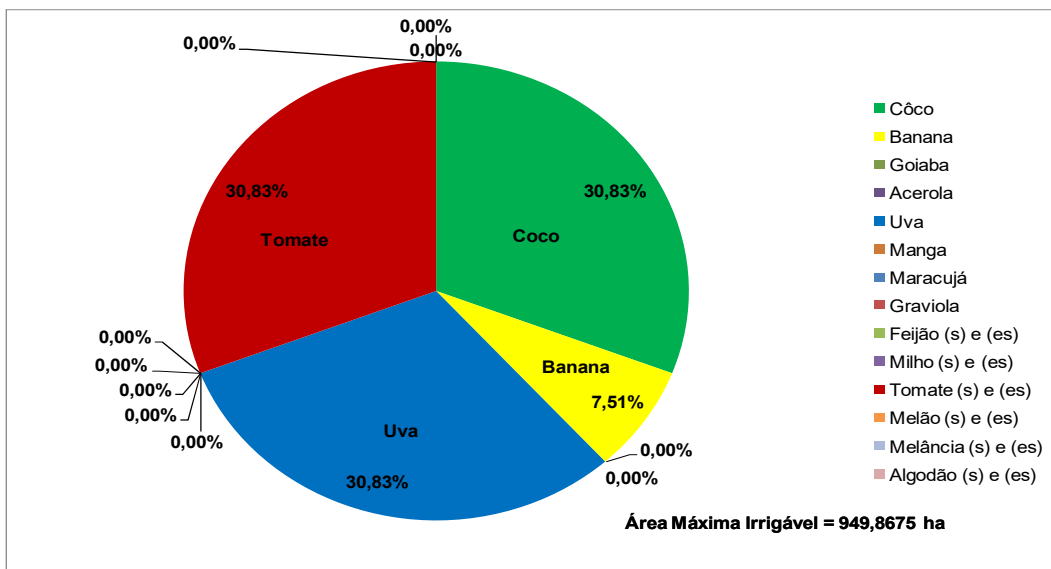


Figura 2: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 1.

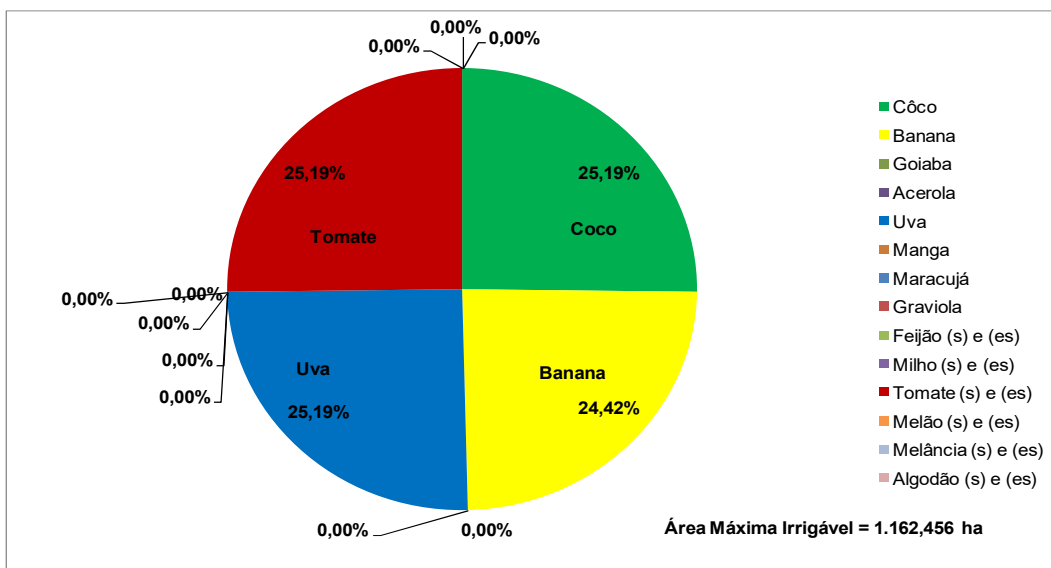


Figura 3: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 1.

Já na Figura 3 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.

Cenário 2: Sistema de Irrigação por Microaspersão

A Figura 4 mostra, 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 5, 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.

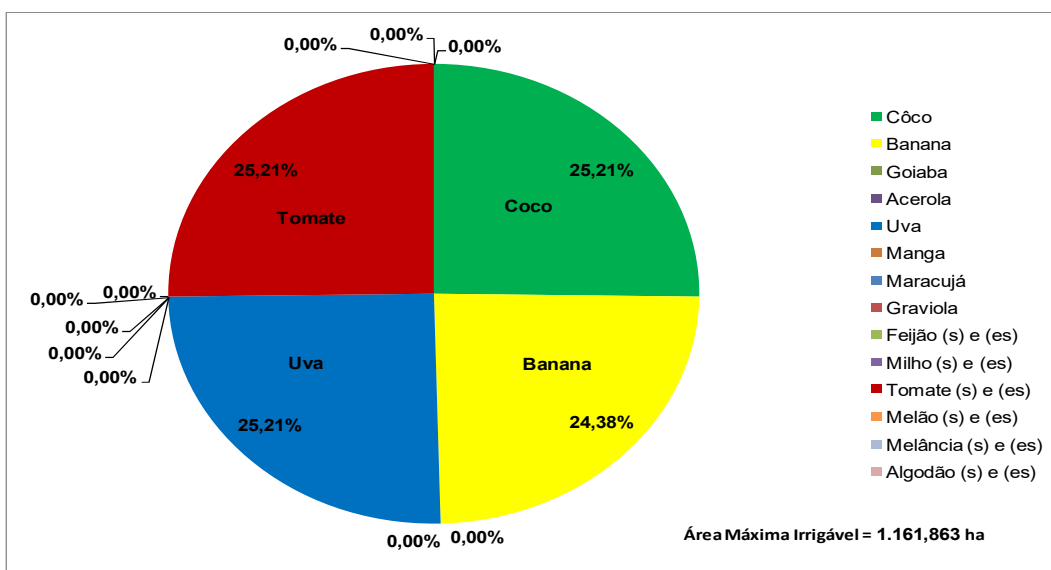


Figura 4: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 2.

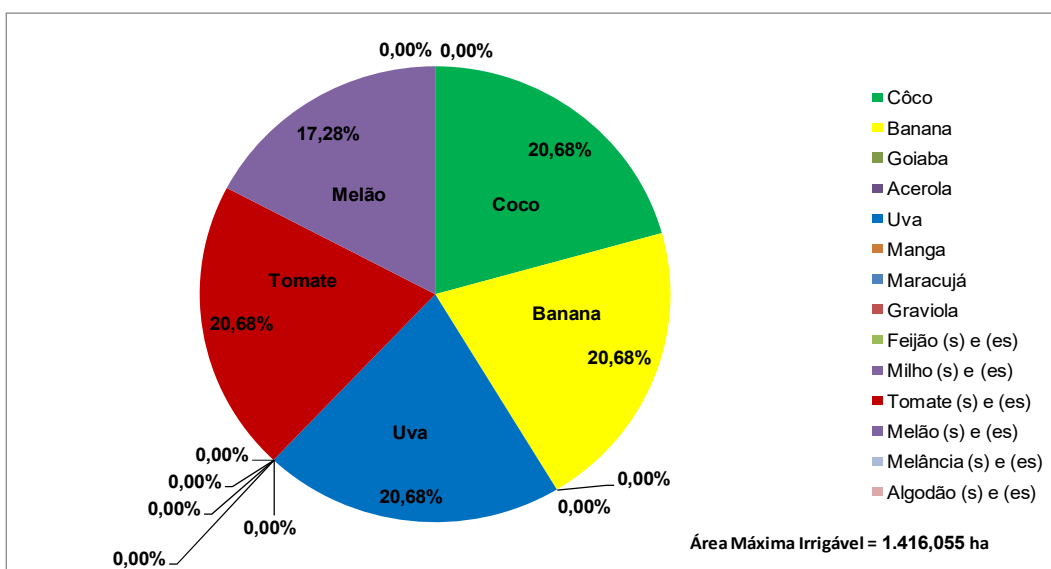


Figura 5: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 2.

Já na Figura 6 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.

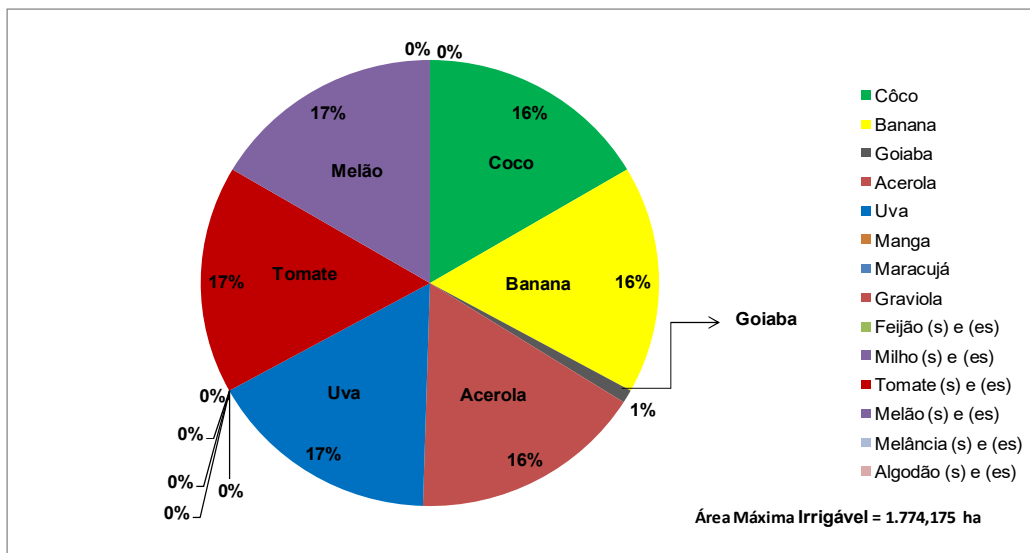


Figura 6: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 2.

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 tenderá aumentar com aumento da eficiência do sistema de irrigação.

Na Figura 7 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 8 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.

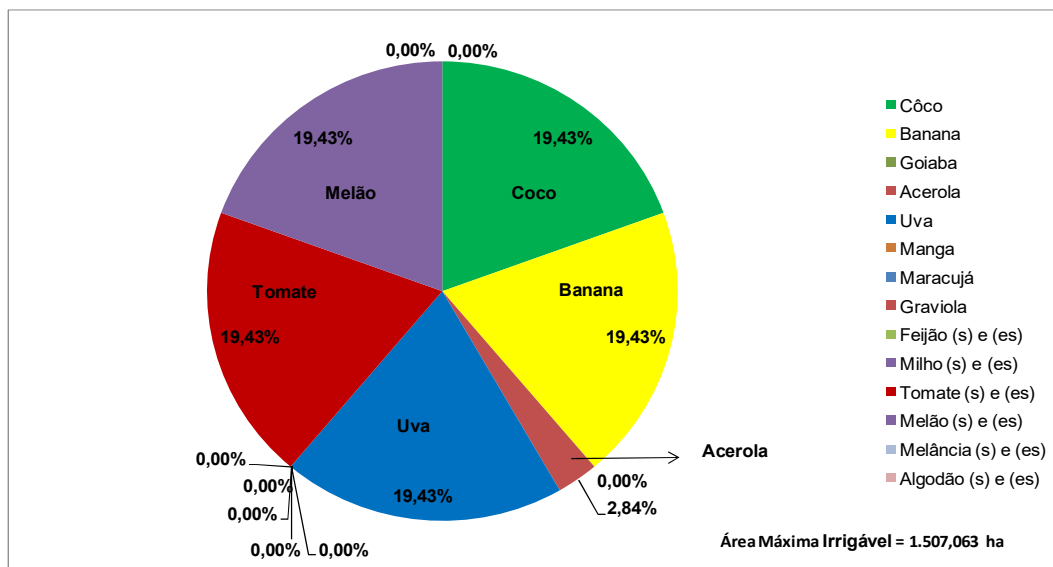


Figura 7: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático seco no Cenário 3.

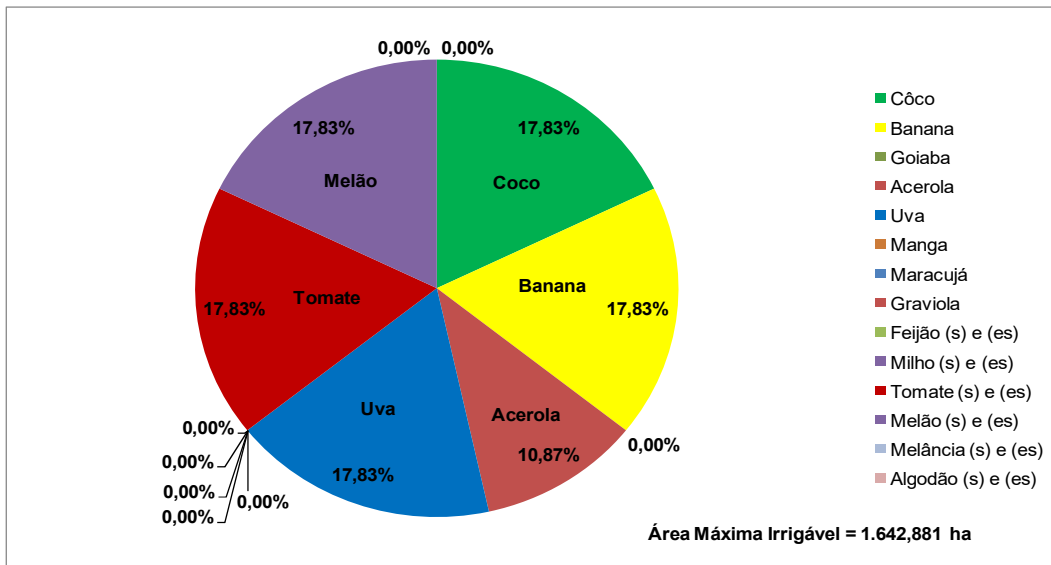


Figura 8: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático médio no Cenário 3.

A Figura 9 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.

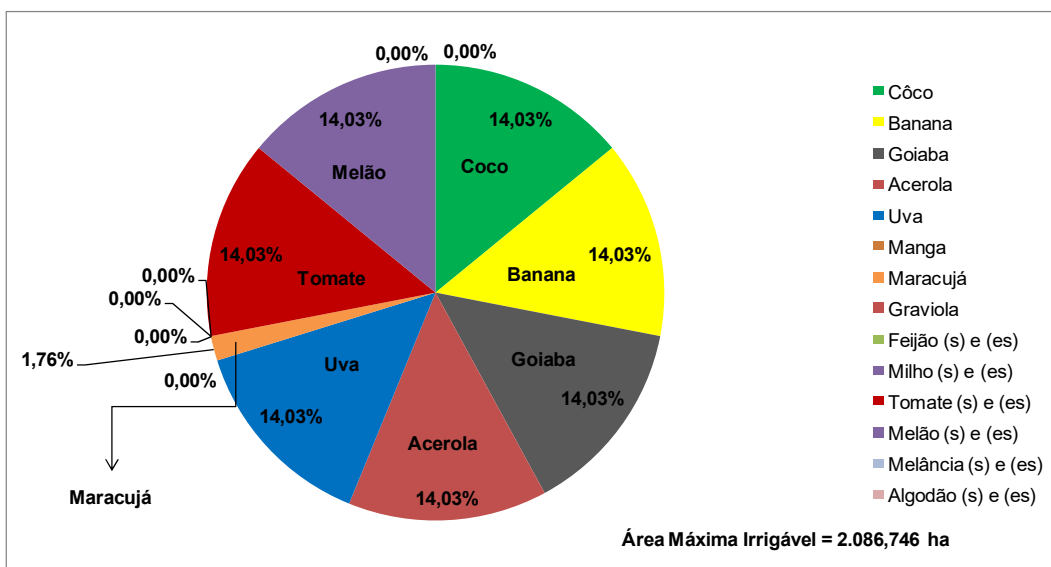


Figura 9: Culturas selecionadas e área máxima irrigável, considerando o regime hidroclimático chuvoso no Cenário 3.

Receita Líquida e Área Máxima Irrigável por Regimes Hidroclimáticos

A Tabela 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. Enquanto que na Tabela 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 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

Tabela 2: Lucro obtido em cada sistema de irrigação nos três regimes pluviométricos.

Sistema de Irrigação	Regimes Pluviométricos		
	Seco	Médio	Chuvoso
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

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 consequentemente 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 consequentemente 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.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 687, de 03 de dezembro de 2004**. Brasília: DOU, 2004.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Cobrança pelo uso da água bruta no Estado da Paraíba**. Brasília: DOU, 2011.
- ARMINDO, R. A.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, E. T.; CASTAGNOLLI, K. P.. 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.
- BANCO DO NORDESTE. **Planilha de orçamento das culturas agrícolas**. Plano de orçamentos para o Estado da Paraíba. João Pessoa: CENOP, 2012.
- BURT, C. C.; CLEMMENS, A. J.; BLIESNER, R.; MERRIAM, J. L.; HARDY, L. L. **Selection of irrigation methods for agriculture**. American Society of Civil Engineers - ASCE, 2000.
- 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.
- COSTA, M. H.. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para a irrigação, conforme a época de plantio**. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- CURI, R. C.; CURI, W. F.; ALMEIDA, M. A.. Alternativas de operação de perímetros irrigados com base no uso da água de reservatórios superficiais e subterrâneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. **Anais**, São Paulo: ABAS, 2002.
- DAKER, A.. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988.
- DNOCS. **Departamento Nacional de Obras Contra as Secas**. 2013.
- EMPASA . **Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas**. 2013.
- ENERGISA . **Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia S/A**. 2013.
- FARIAS, S. R. A.. **Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.
- FAO. **Coping with water scarcity - An action framework for agriculture and food security**. Sales And Marketing Group: Rome, 2012.
- FREITAS, M. I. A.. **Sub-bacia do Alto Piranhas, Sertão Paraíba: percepção ambiental e perspectivas na gestão dos recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.
- 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**. Tese (Livre Docente) – ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- GOMES, H. P.. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. 3 ed. Campina Grande: EdUFPB, 1999.
- LIMA, C. A. G.. **Análise e Sugestões para Diretrizes de Uso das Disponibilidades Hídricas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, Localizada no Estado da Paraíba**. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – UFCG, Campina Grande, 2004.
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.. MENDONÇA, F. C.. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.
- RESENDE FILHO, M. A.; ARAÚJO, F. A.; SILVA, A. S.; BARROS, E. S.. Precificação da Água e Eficiência Técnica em Perímetros Irrigados: Uma aplicação da função Insumo Distância Paramétrica. **Est. econ.**, São Paulo, v.41, n.1, p.143-172, 2011.
- SANTOS, M. A. L.; COSTA, R. N. T.; FRIZZONE, J. A.; SANTOS, C. G.; SANTOS, V. R.. Modelo de Programação Linear para otimização econômica do projeto de irrigação Baixo Acaraú – CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.6-19, 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.
- SILVA NETO, M. F.; MACEDO, M. L. A.; ANDRADE, A. R. S.; FREITAS, J. C.; PEREIRA, E. R. R.. Análise do perfil agrícola do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. **Revista Brasileira de**

Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava, v.5, n.2, p.155-172, 2012.

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

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, 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, 2011.