

ALTERNATIVAS DE OPERAÇÃO DE PERÍMETROS IRRIGADOS COM BASE NO USO DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS

Rosires Catão Curi¹, Wilson Fadlo Curi² e Marcia Araújo de Almeida³

Resumo: O objetivo deste trabalho é, através do modelo de otimização CISDERGO, otimizar a escolha da área de 16 culturas do perímetro irrigado no município de Condado (PB) visando a maximização de lucros. As fontes hídricas são o reservatório Engenheiro Arcoverde e o aquífero aluvial. O problema foi definido em termos de restrições físicas (leis de conservação da massa e energia e operações e limites físicos) e operacionais (seleções de áreas máximas e mínimas para culturas, volumes máximos e mínimos armazenados e captados, critérios de múltiplos usos e sustentabilidade hídrica). Neste estudo, ciclos climáticos classificados como médio, seco, e chuvoso assim como o uso conjunto e individual dos reservatórios superficiais e subterrâneos foram estabelecidos. Os resultados mostraram a grande importância da exploração planejada do aquífero aluvial de Condado para a sua utilização conjunta com a água do reservatório na irrigação, e que as culturas perenes devem ser planejadas à luz dos períodos secos para que as suas necessidades hídricas sejam sempre supridas.

Abstract: The aim of this work is to maximize the net profit from a selection of crop areas among 16 types of cultures of a irrigated crop field in the neighborhood of Condado town, PB. The water resources come from the Engenheiro Arcoverde reservoir and groundwater. The problem was formulated taking into account physical (mass and energy conservation and physical operation and limitations) and operational (maximum and minimum crop areas, storage volumes and distribution system capacities, and multiple water use and sustainability requirements) constraints. Climate (named medium, dry and wet), as well as, water sources (individual or together) scenarios were established. The results have shown the importance of the planning of water use and choice of crop areas, mainly the perennial ones, in order to maximize the benefits and satisfy their water requirements.

Palavras chave: Otimização, aquífero aluvial, reservatório, irrigação, operação integrada

¹ Professora do Depto. Eng. Civil, CCT, Universidade Federal de Campina Grande (ex UFPB), Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58.109-970, Campina Grande, PB, email: rosires@dec.ufpb.br, fone: (83)310-1290

² Professor do Depto. Física, CCT, Universidade Federal de Campina Grande (ex UFPB), Rua Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58.109-970, Campina Grande, PB, email: wcuri@df.ufpb.br, fone: (83)310-1195

³ Mestre em Recursos Hídricos, CCT, Universidade Federal de Campina Grande (ex UFPB); email: aa_mar@bol.com.br

INTRODUÇÃO

O grande crescimento da população acompanhado da diversificação do uso da água como o abastecimento urbano e rural, irrigação, geração de energia, entre outros, vem tornando crescente, nos últimos anos, os conflitos existentes entre os usuários devido aos limites da disponibilidade da água. Em regiões como o Nordeste Brasileiro, onde estas situações são agravadas pela variação climática, uma eficiente operação dos sistemas de Recursos Hídricos, visando assegurar um manejo adequado dos mananciais, minimizando os desperdícios, reveste-se da maior importância.

O aumento populacional tornou ainda maior o uso do solo agricultável. Com isso, anos com chuvas abaixo da normal tem sempre significado um desastre em níveis variados para as pessoas que trabalham com a agricultura, a qual, ao lado da pecuária é uma das principais ocupações para os que vivem no semi-árido nordestino, fazendo-se necessária a aplicação de água aos solos cultivados, durante sua etapa de desenvolvimento e produção. Portanto, um planejamento cuidadoso em perímetros de irrigação, capaz de aumentar a produtividade, a renda e a geração de emprego, pode promover uma melhoria nas condições de vida dos produtores rurais.

No semi-árido paraibano muitos pequenos a médios perímetros irrigados usam como fonte hídrica açudes de pequeno a médio porte, como também poços aluviais, aproveitando o potencial hídrico dos aquíferos aluviais. Otimizar o uso destes recursos hídricos superficiais e subterrâneos reveste-se da maior importância face as peculiaridades da região tais como oito meses sem chuva e altas taxas de evaporação, fazendo com que o uso da água do reservatório deva ser usado o mais rápido possível. No entanto, muitas vezes as reservas subterrâneas não são capazes de suprir a demanda hídrica requerida. Portanto, a otimização do uso da água tanto do reservatório superficial como do subterrâneo, de forma a se poder fazer uma previsão de que culturas devem ser irrigadas e as suas respectivas áreas cultivadas, além da avaliação de quanto de água será usado e de qual manancial ela será captada, é de fundamental importância para os produtores.

O sistema em estudo é composto pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, perímetro de irrigação e poços amazonas, os quais estão localizados a noroeste do Estado da Paraíba, no Nordeste Brasileiro, na sub-bacia do Médio Piranhas, dentro da região denominada “polígono das secas”. O reservatório Engenheiro Arcoverde atende ao consumo urbano de duas cidades, Condado e Malta, com 36.000 m³/mês de água e abastece o perímetro irrigado que tem uma área de 240 ha de cultura irrigada. O açude por ser destinado a múltiplos usos, incluindo entre eles o da irrigação, tem sido fonte de conflitos entre os usuários, principalmente nos anos críticos, de baixa pluviometria, exigindo uma operação otimizada em conjunto com os poços amazonas existentes no perímetro, através dos quais os colonos captam água para suprir as necessidades hídricas dos seus lotes de irrigação.

Tendo em vista o exposto acima, o objetivo deste trabalho é através de um modelo de programação linear, otimizar a seleção de culturas do perímetro irrigado no município de Condado (PB), fazendo-se uso da operação do reservatório Engenheiro Arcoverde e do aquífero aluvial, sujeitos a restrições, levando em consideração os critérios de múltiplos usos e sustentabilidade hídrica. A sustentabilidade hídrica do sistema é garantida quando o reservatório apresenta o seu volume final igual ou maior que o volume no início da simulação, permitindo assim, a repetição de todo o processo.

Os trabalhos de Curi e Curi (1998), Cunha (1999) e Mohammadi (1998) fazem uso da programação linear em otimização integrada de reservatórios superficiais e subterrâneos. Curi e Curi (1998) desenvolveram uma metodologia via programação linear recursiva para a otimização integrada do uso da água do reservatório e do planejamento de culturas irrigadas, considerando um único objetivo, aplicada à determinação da área irrigada e a operação do reservatório Engenheiro Arcoverde. Um modelo de otimização integrada também foi desenvolvido por Mohammadi (1998) para planejamento em sistemas de irrigação. Em seu trabalho, as capacidades dos reservatórios superficiais e dos subterrâneos, como também canais, estações de bombeamento, túneis, áreas disponíveis para a irrigação e as culturas são consideradas partes integrantes do sistema. O modelo é baseado na programação linear e o sistema é otimizado por meio do modelo de otimização com restrições, para uma única função objetivo.

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO

Reservatório Engenheiro Arcoverde

O açude público Engenheiro Arcoverde, localiza-se no município de Condado e tem seus recursos hídricos geridos pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas). Foi construído ao longo de cinco anos (1932-1936), com uma capacidade máxima de acumulação de 35.000.000 m³ visando atender a demanda das cidades de Condado e Malta e posteriormente ao perímetro de irrigação ali implantado. A Figura 1 apresenta o Layout do sistema em estudo. A bacia do açude Engenheiro Arcoverde está inserida na bacia hidrográfica do Médio Piranhas e faz parte do conjunto das seis sub-bacias que compõem a bacia do rio Piranhas. A Bacia Hidrográfica de Drenagem do açude tem um perímetro de 68,67 km e uma área de 124 Km² e a área média da Bacia Hidráulica é de 4,41 Km².

O açude abastece as cidades de Condado e Malta, cujas demandas totalizam uma vazão de 427.030 m³/ano ou 35.585,83 m³/mês, segundo dados fornecidas pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba) ao DNOCS.

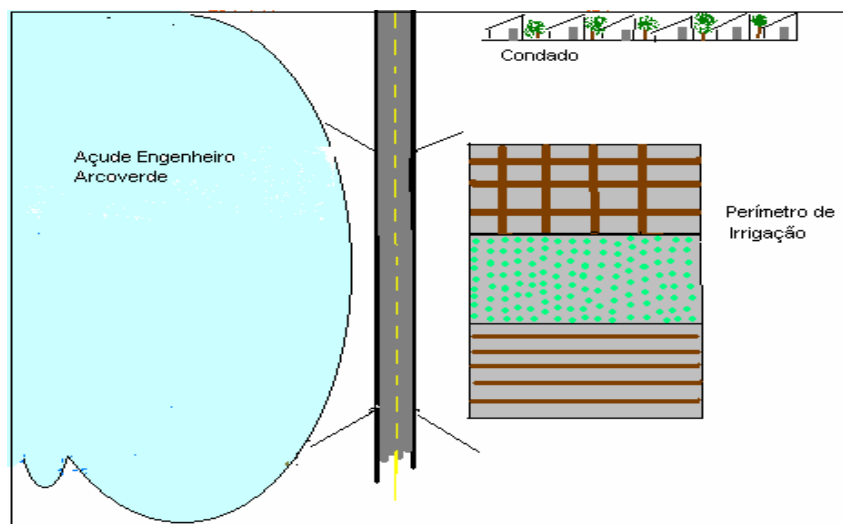


Figura 1 – Layout do sistema em estudo

Perímetro de Irrigação de Condado

O Perímetro de Irrigação de Condado abrange uma área de 459,3 ha, sendo que 230 ha são de agricultura irrigada e 229,3 ha de agricultura de sequeiro. As principais culturas encontradas no perímetro irrigado são as culturas permanentes de banana, goiaba e coco e as culturas temporárias de tomate, melancia, melão, feijão, milho e arroz. Os sistemas de irrigação mais frequentemente usados são o sulco, a aspersão e o gotejamento.

Existe um total de 92 poços, porém atualmente só 72 encontram-se em atividade utilizando bombas de 7,5 CV, 10 CV, 12CV, e 15 CV. Neste trabalho assumiu-se que as bombas trabalham 20 horas por dia.

Aquífero Aluvial

O aquífero aluvial do perímetro de Condado é, predominantemente, constituído de areias finas, médias e grossas. As argilas aparecem formando dois níveis estratigráficos: o primeiro constitui a superfície do terreno com espessura média de 0,5 m e a segunda camada argilosa situa-se entre 4,0 e 5,0 m ou 6,0 e 7,0 m de profundidade em relação a superfície do terreno com espessura entre 2,0 e 3,0 m. As espessuras aluviais ao longo do perímetro irrigado variam entre 2,0 e 9,0 m, com maiores ocorrências no intervalo de 4,0 a 6,0 m. As espessuras saturadas variam com o tempo, em função da exploração a que é submetido o aquífero e da sua recarga (Rêgo e Albuquerque, 1999).

MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O modelo utilizado neste trabalho é o CISDERGO (Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation), desenvolvido por Curi e Curi (2001). Ele é um programa de otimização linear recursiva, leva em consideração a natureza não linear do problema de forma recursiva, desenvolvido no ambiente MATLAB, destinado a maximizar múltiplos objetivos relativos a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados, otimizando o uso da água aduzida de reservatórios, poços ou rios. O modelo simula a operação do reservatório através da equação do balanço hídrico do mesmo usando demandas obtidas com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecidas através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, e levando em consideração os demais usos do reservatório. A otimização aqui empregada também leva em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de altura manométrica, as áreas mínimas e máximas a serem irrigadas para cada tipo de cultura, custos de água e de produção, aspectos econômicos e a combinação ou variação nas fontes de bombeamento e a quantidade de água aduzida. Uma das funções objetivos do modelo é a *Maximização da Receita Líquida*, que é dada pela diferença entre a renda bruta total obtida com a venda das produções das culturas e os custos de produção totais que envolvem custos de água, bombeamento e de produção. A segunda função objetivo é a *Maximização da Mão-de-obra* dada pelo número de diárias por hectare por cultura vezes a área plantada por cultura. A maximização da mão de obra é usada como um objetivo social, no sentido de aumentar a oferta de emprego caso haja necessidade social de aumentar a oferta de emprego.

As funções objetivo descritas anteriormente estão sujeitas às equações de restrições do problema, que se referem aos aspectos de limites das áreas máximas e mínimas a serem plantadas de cada cultura, limite máximo mensal da área total que pode ser plantada por perímetro, não negatividade das variáveis, operação do reservatório e restrições físicas (volumes máximos e mínimos admitidos para o reservatório, capacidade máxima do extravasor), capacidade de transporte de água pelos canais, disponibilidade de água subterrânea (capacidade máxima de vazão mensal que pode ser retirada do lençol freático através do sistema de bombeamento, vazão máxima mensal de cada poço), limitações do sistema de bombeamento (vazão mensal média de cada bomba, altura máxima de sucção do sistema de bombeamento, altura máxima de recalque do sistema de bombeamento).

Os resultados fornecidos pelo modelo são os seguintes:

- Áreas irrigadas totais e por cultura (por nível de terreno e por fontes de abastecimento hídrico) em ha.
- Receitas líquidas totais e por cada cultura obtidas com o cultivo das culturas irrigadas.

- Área cultivada total mensal por nível, em ha.
- Volumes mensais de água extraídos das fontes (reservatório e poços) para a irrigação (hm³).
- Áreas da superfície líquida, volumes mensais de armazenamento e vertidos do reservatório.

DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS E DADOS DE ENTRADA DO MODELO

Foram realizados, na forma de cenários, testes visando estudar as condições de operação ótima e conjunta do sistema composto pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, Perímetro Irrigado de Condado e aquífero aluvial, sob os aspectos de comportamento do sistema e estimativas da geração de renda.

Utilizou-se no modelo valores mensais de precipitações correspondentes a um período de 19 anos (1973-1991). Desta série, retirou-se o ano de maior valor anual de precipitação, caracterizado para este estudo como *ano chuvoso* e o ano de menor valor anual de precipitação caracterizado como *ano seco*. Os valores médios mensais da série histórica total caracterizaram o *ano médio*. As séries de vazões afluentes ao reservatório, utilizadas para os anos médio, seco e chuvoso são correspondentes às usadas para os dados de precipitação.

Para a função objetivo de Maximização da Receita Líquida com a irrigação, para cada uma das situações climáticas acima especificadas: média, seca e chuvosa foram feitos testes com três situações diferentes:

- Fazendo-se uso conjunto do reservatório superficial e poços;
- Fazendo-se uso apenas do reservatório superficial;
- Fazendo-se uso apenas do aquífero aluvial.

A Tabela 1 apresenta um resumo das situações simuladas.

Tabela 1 – Cenários simulados

Cenários	C1-A	C1-B	C2	C3
Ciclos Climáticos	Médio, Seco Chuvoso	Médio, Seco Chuvoso	Médio, Seco Chuvoso	Seco
Capacidade do Aquífero	Padrão	Padrão	Padrão	Reduzida
Fontes de Abastecimento Hídrico	Reservatório e Poços	Reservatório	Poços	Reservatório e Poços

C1-A, C1-B, C2 e C3 = Denominação dos cenários simulados

Tabela 2 – Plano cultural anual com coeficiente de cultivo das culturas.

Culturas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
banana	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
tomate safra		0,5	0,75	1,15	0,8							
tomate entressafra								0,45	0,75	1,15	0,8	
goiaba	0,5	0,45	0,45	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
melancia safra		0,7	1	0,75								
melancia entressafra								0,7	1	0,75		
melão safra		0,7	1	0,75								
melão entressafra								0,7	1	0,75		
feijão safra		0,7	1,1	0,9								
feijão entressafra								0,7	1,1	0,9		
milho safra		0,4	0,8	1,15								
milho entressafra								0,4	0,8	1,15		
algodão safra		0,5	0,75	1,15	0,75							
algodão entressafra								0,5	0,75	1,15	0,75	
arroz safra		1,1	1,1	1,1	0,95							
arroz entressafra								1,1	1,1	1,1	0,95	

Para o início do processo de otimização, são necessários os dados referentes ao reservatório, poços, ao perímetro e às culturas adotadas, conforme relacionados a seguir:

Reservatório:

- Dados Hidrometeorológicos (Tabelas 3 e 4)

Tabela 3 – Valores mensais de precipitação e de vazão afluyente ao reservatório

Precipitação (mm/mês)				Vazão afluyente (1000 m ³ /mês)			
Mês	médio	seco	chuvoso	Mês	médio	seco	chuvoso
Janeiro	69,2	34,7	64,1	Janeiro	1106	0	0
Fevereiro	143,5	103,1	286,2	Fevereiro	3284	186	4687,2
Março	209,7	136,6	294,3	Março	4935	1004,4	4885,6
Abril	215,2	48,3	252,9	Abril	5701	0	4526
Mai	74,4	14,6	117,4	Mai	1359	0	1178
Junho	32,6	11,4	29,6	Junho	314	0	0
Julho	25,7	8,4	60	Julho	227	0	0
Agosto	9,5	9,5	4,4	Agosto	9,1	0	0
Setembro	7,8	8,1	0,1	Setembro	0	0	0
Outubro	15,3	13,4	2,1	Outubro	89,4	0	0
Novembro	15,5	4,9	3,4	Novembro	59,4	0	0
Dezembro	31,5	9,8	24,6	Dezembro	306	0	0

Tabela 4 – Dados de Evaporação em mm

mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Evap	216,8	157	128	122	109	144	161	205	225,8	260	212,7	222,8

Nestes cenários são levados em consideração:

- a) A sustentabilidade hídrica do reservatório – foi condicionado, através de uma equação de restrição, que o volume final do último mês do estudo teria que ser maior ou igual ao volume do início do estudo, garantindo assim a sustentabilidade hídrica, ou seja, a possibilidade de repetição do processo.
Para o ano seco, devido as baixas afluências ao reservatório, o critério de sustentabilidade hídrica não pôde ser mantido como restrição. Neste caso apenas a restrição de manutenção, em todos os meses, de um volume mínimo de 10.000.000 m³ foi usado.
- b) Foi considerado, para todos os cenários, um volume mínimo para o reservatório de 10.000.000 m³ mensais, que garante as demandas das cidades de Condado e Malta para o caso de mais um ano de estiagem e que não deve ser usado para a irrigação.
- c) É assumido que a irrigação poderá se iniciar no mês de janeiro, conforme plano cultural mostrado na Tabela 2.
- d) As culturas usadas foram: banana, goiaba, tomate, melão, melancia, feijão, milho, algodão e o arroz. A escolha destas culturas deu-se em função das mesmas já serem bastante usadas no perímetro e também serem tradicionalmente cultivadas na região.
- e) Adotou-se um volume inicial para o reservatório de 17 milhões de m³, correspondente a 50% da capacidade máxima do reservatório Engenheiro Arcoverde.
- f) Não foram estabelecidas, nas restrições, áreas mínimas com valores diferentes de zero a serem plantadas por cada cultura, permitindo o modelo escolher, dentro das restrições estabelecidas, a área por cultura a ser plantada que melhor aproveite a disponibilidade hídrica do período em que está se realizando a otimização e que forneça o maior retorno financeiro.
 - Evaporação média mensal do Tanque Classe A na área do reservatório (mm/mês)
 - Vazão média mensal defluente do reservatório (m³/mês), para suprir as demandas dos municípios de Condado e Malta = totalizando 36.000 m³/mês.
 - Volumes mensais máximos do reservatório = 35.000.000 m³
 - Volumes mensais mínimos do reservatório = 10.000.000 m³
 - Volume inicial = 17.000.000 m³
 - Vazão extravasada máxima permitida pelo extravasor do reservatório = 3 m³/s.
 - Capacidade máxima do canal para aduzir água do reservatório para a área irrigada = 0,6 m³/s.
 - Preço da água aduzido do reservatório = 0,01209 (R\$/m³) (Cobrado pelo DNOCS dos irrigantes)

Lençol Freático:

- Volume máximo possível de ser extraído do lençol freático = 100.000 m³/mês, de acordo com estudos feitos por Rêgo e Albuquerque (1999).

- Capacidade de extração de água dos poços por mês = 0,038 m³/s.

Perímetro Irrigado:

- Área total mensal a ser plantada (ha) em cada mês e o limite máximo = 230 ha

- Os dados Climáticos da zona de irrigação (precipitação média mensal na área irrigável, evaporação média mensal, constante de evaporação na área irrigável), são os mesmos usados para o reservatório.

Culturas:

- A Tabela 5 corresponde as culturas selecionadas, suas áreas máximas de cultivo em ha e o preço médio unitário da cultura (R\$/Kg). A Tabela 6 mostra a Produtividade em Kg/ha, o custo médio de produção em R\$/ha e a mão de obra requerida por ha para cada cultura no período de um ano

Tabela 5 – Culturas, áreas máximas plantadas em ha e preço em R\$/Kg

cultura	Área (ha)	Preço (R\$/Kg)
banana	60	0,32
tomate safra	60	0,25
tomate entressafra	60	0,35
goiaba	40	0,27
melancia safra	40	0,2
melancia entressafra	40	0,28
melão safra	40	0,5
melão entressafra	40	0,5
feijão safra	80	0,95
feijão entressafra	80	1,33
milho safra	60	0,24
milho entressafra	60	0,34
algodão safra	40	0,57
algodão entressafra	40	0,78
arroz safra	40	0,33
arroz entressafra	40	0,46

Tabela 6 - Produção das culturas em Kg/ha, custo para produção de cada cultura em R\$/ha, e mão de obra requerida por cultura/ha para o período de 1 ano

Culturas	Produção (Kg/ha)	Custo de Produção (R\$/ha)	Mão-de-obra/ha para 1 ano
Banana	60,000	3890,31	235
Tomate	40,000	2656,58	252
Goiaba	20,000	1412,02	111
Melancia	30,000	1676,03	115
Melão	30,000	1848,96	137
Feijão	1,500	642,87	61
Milho	6,000	842,72	55
Algodão	3,000	982,49	103
Arroz	10,000	977,12	107

Fonte: Banco do Nordeste (1997)

- Os coeficientes de cultivos foram obtidos através do Manual de Orçamento Agropecuários do Banco do nordeste (Banco do Nordeste, 1997).
- Limite de área a ser cultivada é de 230 ha.

Sistema de Bombeamento:

- Preço médio do kwh para extrair água dos poços para cada sistema = 0,07 (R\$/kwh).
- 20 horas diárias de bombeamento.

A Tabela 7 mostra os tipos de sistemas de bombas, o número de bombas por sistema, suas capacidades de bombeamento, a altura de recalque mais sucção e o rendimento do sistema:

Tabela 7 – Características do Sistema de Bombeamento:

Tipos de Sistemas de bombas	Nº. de bombas	Capacidade de Bombeamento (l/s)	Altura de Recalque mais Sucção (m)	Rendimento do Sistema (%)
7,5 CV	20	4,16	65	70
10 CV	20	5,56	83	70
12,5 CV	20	6,94	94	70
15 CV	12	8,33	107	70

Sistemas de Irrigação:

A Tabela 8 mostra os tipos de sistema de irrigação, suas eficiências e pressões requeridas.

Tabela 8 - Sistema de irrigação para as culturas, suas eficiências e pressões requeridas

Culturas	Sist. irrigação	Eapl (%)	Hc (mca)
banana nanicão	gotejamento	95	30
tomate	sulco	50	0
goiaba	gotejamento	95	30
melancia	gotejamento	95	30
melão japonês	gotejamento	95	30
feijão	aspersão	75	50
milho	aspersão	75	50
algodão	aspersão	75	50
arroz	sulco	50	0

Fonte: Christofidis (1999)

- Custo do investimento de implantação do sistema, segundo a Conta Cultural do Banco do Nordeste (Banco do Nordeste, 1997): 5.000 R\$/ha, 3.000 R\$/ha e 1.000 R\$/ha para os sistemas de gotejamento, aspersão e sulco, respectivamente.
- A vida útil para os sistemas de gotejamento, aspersão e sulco, adotadas foram de 10 anos, 15 anos e 1 ano respectivamente.

Considerações sobre o aquífero aluvial de Condado

Segundo Albuquerque et al. (1998) a escassez de recursos hídricos na área semi-árida da Paraíba, como em todo o Nordeste, tem como conseqüência a exploração de parte das reservas dos tipos de aquíferos existentes nestas regiões, que são os aquíferos aluviais e o cristalino. Outros aspectos que devem ser levados em consideração são os benefícios sócio-econômicos desse tipo de exploração e o baixo impacto causado ao meio ambiente. Além disso, estes aquíferos são facilmente recarregáveis, pelo menos o sistema Aluvial, devido a sua natureza, dimensões e ligações hidráulicas com o sistema hidrográfico.

A capacidade total do aquífero é determinada pela suas disponibilidades, ou seja, volume de água máximo que pode ser aproveitado do aquífero, anualmente, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem. No caso de aquíferos aluviais, essa disponibilidade é o volume de água que pode ser anualmente explorado do mesmo, onde, em geral, o limite da disponibilidade é a potencialidade. Denomina-se potencialidade a parcela dos recursos de água subterrânea que escoam naturalmente, sem intervenções artificiais no aquífero, originados dos cursos d'água superficiais estabelecidos sobre o aquífero com a ocorrência das chuvas e que formam o escoamento de base

dos mesmos. No caso de aquíferos aluviais, pela facilidade de recarga que apresenta, a potencialidade pode ser acrescida uma parcela das reservas. As reservas de água subterrânea são as parcelas dos recursos acumuladas nos interstícios intergranulares dos aluviões, que somente circulam quando solicitadas por intervenções artificiais, tais como através de poços, o que se verifica no perímetro de Condado (Rêgo e Albuquerque, 1999).

Estudos feitos por Rêgo e Albuquerque (1999) entre os anos de 1998 e 1999 fornecem subsídios para se trabalhar com os valores da reserva do aquífero de Condado para um período seco, já que suas potencialidades não foram possíveis de se determinar devido a ausência de chuvas nestes dois anos. Segundo os responsáveis pelo estudo, existem dois valores para as reservas, uma para os anos normais, nos quais espera-se que as reservas sejam totalmente recompostas por recarga ocorrida no período chuvoso e uma para os anos secos, que corresponde a recarga parcial da reserva. No primeiro caso esse valor corresponde a aproximadamente $1.236.895 \text{ m}^3/\text{ano}$ e no segundo caso, a $650.000 \text{ m}^3/\text{ano}$. Contudo, recomenda-se, como medida de segurança para o caso de ocorrência de um período de três anos consecutivos de seca, uma exploração máxima correspondente a $1/3$ dessas reservas.

Assim, as disponibilidades para um ano seco, com previsão de continuidade por mais um ano, seriam a soma do escoamento de base, que é zero neste caso devido ausência de chuva, mais $1/3$ de 650.000 m^3 , ou seja, cerca de 280.000 m^3 por ano ou 23.000 m^3 por mês.

Em anos normais e chuvosos, $1/3$ das reservas desse período, 412.298 m^3 , mais as recargas que venham a ocorrer com a ocorrência de chuva, permitem estimar uma capacidade de exploração máxima do aquífero em torno de 100.000 m^3 por mês. Este valor também foi adotado para este estudo no caso de um ano seco, com previsão de ocorrência de chuvas em torno da média para o ano seguinte.

O cenário C1- A e B tem por objetivo observar o comportamento do sistema para os diferentes ciclos: médio, seco, e chuvoso, onde a otimização foi realizada fazendo-se uso conjunto dos reservatórios superficiais e subterrâneos. O cenário C1-A, que capta água do reservatório e poços servirá de comparação para os resultados obtidos com o cenário C1-B, que aduz água apenas do reservatório, com cenário C2 que usa água apenas do aquífero aluvial e com cenário C3 que usa água do reservatório e poços mas tem a capacidade do aquífero reduzida. Através destes cenários é verificado o quanto é variável a receita líquida auferida pelo perímetro quando sujeito a variações de fontes de abastecimentos. Aqui são consideradas 16 culturas, entre culturas perenes e semi-perenes, que já estão implantadas no perímetro e o modelo fornece as áreas por culturas que dão o melhor retorno financeiro.

RESULTADOS

As Tabelas 9 e 10 apresentam resultados pertinentes aos cenários C1-A e C1-B.

Em relação as extrações de água feitas do reservatório para a irrigação, conforme as Figuras 2 e 3, tem-se que as captações máximas feitas do reservatório, no período de safra, quando em uso conjunto com o aquífero, são menores em relação ao uso feito apenas do reservatório para os anos médio, seco e chuvoso, permitindo uma economia na quantidade de água a ser demandada do reservatório.

As retiradas do reservatório para a irrigação no período de safra foram: 110.000 m³/mês, 166.667 m³/mês, 40.000 m³/mês para os períodos médios, seco e chuvoso, respectivamente, quando em uso conjunto com os poços. Para a situação em que não se fez uso do aquífero, esses valores foram: 150.000 m³/mês para o ano médio, 238.333 m³/mês para o ano seco e 76.660 m³/mês para o ano chuvoso.

No período de entressafra ocorreu também uma economia no consumo da água do reservatório para o ano chuvoso de 11,67%, em relação a situação em que não retirou-se água do aquífero.

Tabela 9 – Áreas por cultura em ha e receita líquida obtida com a otimização fazendo-se uso da água do reservatório e poços, com 20 hs de bombeamento (Cenário C1-A)

Cultura	médio	seco	chuvoso
banana	60	60	60
tomate safra	60	60	60
tomate entressafra	60	15,61	60
goiaba	0	0	0
melancia safra	40	40	40
melancia entressafra	40	40	40
melão safra	40	40	40
melão entressafra	40	40	40
feijão safra	1,78	0	0
feijão entressafra	0	0	0
milho safra	0	0	0
milho entressafra	0	0	0
algodão safra	0	0	0
algodão entressafra	0	0	0
arroz safra	28,22	0	30
arroz entressafra	0	0	30
área (safra)	230	200	230
área (entressafra)	200	155,61	230
área (total)	370,00	295,61	400,00
receita líquida (R\$)	3,45*10⁶	2,96*10⁶	3,52*10⁶
área máx. mensal	230	200	230

Tabela 10 – Áreas por cultura em ha e receita líquida obtida com a otimização fazendo-se uso da água do reservatório, com 20 hs de bombeamento (Cenário C1-B)

Cultura	médio	seco	chuvoso
banana	60	48,22	60
tomate safra	60	60	60
tomate entressafra	39,5	0	60
goiaba	0	0	7,03
melancia safra	40	40	40
melancia entressafra	40	40	40
melão safra	40	40	40
melão entressafra	40	40	40
feijão safra	0	0	0
feijão entressafra	0	0	0
milho safra	0	0	0
milho entressafra	0	0	0
algodão safra	0	0	0
algodão entressafra	0	0	0
arroz safra	0	0	22,97
arroz entressafra	0	0	22,97
área (safra)	200	188,22	230
área (entressafra)	179,5	128,22	230
área (total)	319,50	268,22	392,97
receita líquida (R\$)	3,2*10⁶	2,55*10⁶	3,51*10⁶
área máx. mensal	229,99	186,54	230

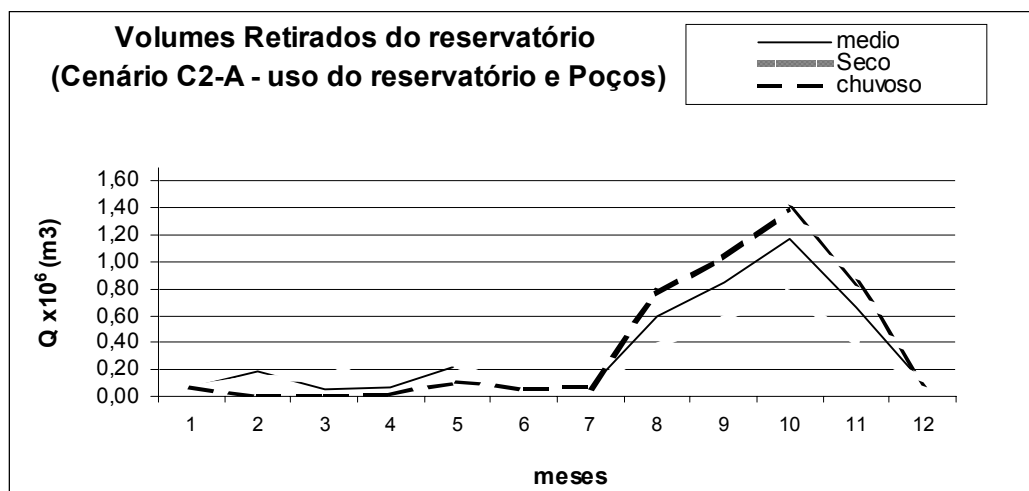


Figura 2 – Gráfico dos volumes retirados do reservatório para a irrigação quando feito uso da água do reservatório e dos poços (Cenário C1-A).

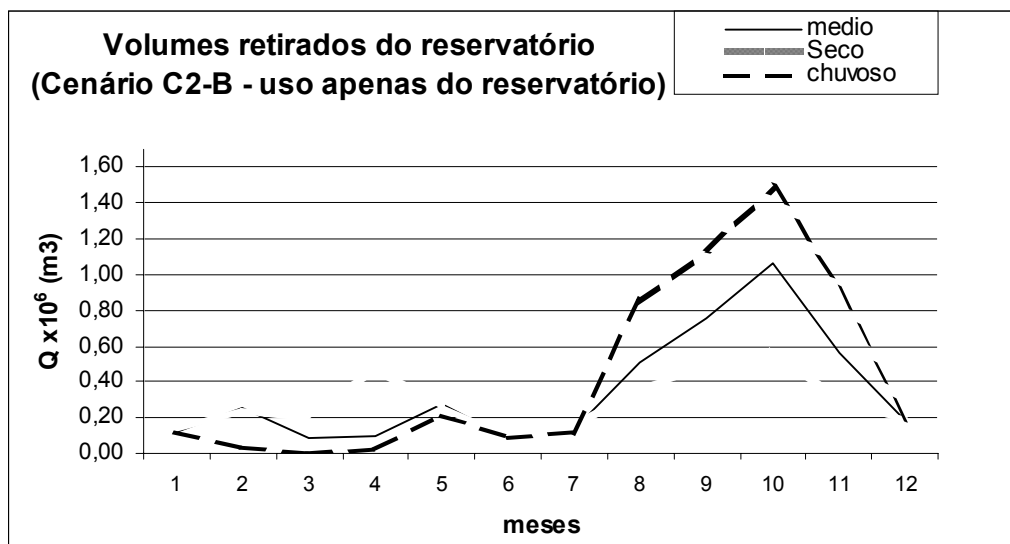


Figura 3 – Gráfico dos volumes retirados do reservatório para a irrigação, fazendo-se uso apenas do reservatório (Cenário C1-B).

Análise do cenário C2

Para o cenário C2, em que se utiliza água apenas dos poços para a irrigação, os testes foram realizados com dados hidrológicos mensais para um período de um ano, tanto para o ciclo médio, como para os ciclos seco e chuvoso. As áreas máximas por cultura são as da Tabela 5 e utilizou-se 20hs de bombeamento.

Os resultados de áreas alocadas e receitas líquidas para este cenário estão na Tabela 11, os quais apresentam-se variados entre os diferentes ciclos. Isso ocorre em razão de ser a irrigação um suplemento hídrico para as culturas, logo, como a capacidade do aquífero é considerada igual para todos os períodos neste cenário, obtém-se uma área menor para o período seco, em que ocorrem precipitações menores e áreas sucessivamente maiores para o ano médio e chuvoso, respectivamente. A área total irrigada no ano seco é menor em relação ao ano médio, em 53,19% e a receita líquida em 18,50%. Comparando o ano seco ao ano chuvoso, essas porcentagens são ainda um pouco maiores: 58,88% de redução na área irrigada e 20,6% de redução na receita líquida.

Porém, no período de entressafra, a área total alocada para as culturas é igual nos diferentes ciclos. O período de entressafra caracteriza-se por ser um período de estiagem das chuvas (entre os meses de agosto à novembro), resultando em necessidades hídricas para as culturas aproximadamente iguais em todos os períodos: médio, seco e chuvoso. Tendo-se uma mesma quantidade de água disponível para se extrair do aquífero para todos os períodos, obteve-se áreas alocadas iguais para a irrigação, correspondente a 9,7% da área máxima do perímetro.

Tabela 11 – Áreas por cultura em ha e receita líquida obtida com a otimização fazendo-se uso da água dos poços, com 20 hs de bombeamento (Cenário C2)

Cultura	médio	seco	chuvoso
banana	0	0	0
tomate safra	42,96	0	60
tomate entressafra	0	0	0
goiaba	0	0	0
melancia safra	40	24,39	40
melancia entressafra	0	0	0
melão safra	40	40	40
melão entressafra	22,09	22,09	22,09
feijão safra	12,61	0	80
feijão entressafra	0	0	0
milho safra	0	0	0
milho entressafra	0	0	0
algodão safra	0	0	3,69
algodão entressafra	0	0	0
arroz safra	0	0	6,31
arroz entressafra	0	0	0
área (safra)	135,57	64,39	230
área (entressafra)	22,09	22,09	22,09
área (total)	157,66	86,48	252,09
receita líquida (R\$)	1,34*10⁶	1,00*10⁶	1,49*10⁶
área máx. mensal	135,57	64,39	230

Com os resultados deste cenário pode-se concluir, supondo-se que a disponibilidade hídrica do aquífero é constante, que a irrigação feita só com água dos poços é fortemente influenciada pela ocorrência de chuvas, uma vez que se observa uma grande diferença quanto a área alocada no período de safra, em que ocorre as chuvas, para as diferentes situações climáticas: 135,57 ha para o ano médio, 64,39 ha para o ano seco e 230 ha para o ano chuvoso. Para o período de entressafra, a área total irrigada foi de 22,09 ha para os anos médio, seco e chuvoso.

Os valores de entressafra são importantes para se definir, com certa segurança as áreas máximas a serem alocadas para as culturas perenes, que precisam ser irrigadas o ano todo.

Análise do cenário C3

Neste cenário, para o ano seco, limitou-se a capacidade máxima do aquífero a 1/3 da reserva correspondente a esse período, cerca de 23.000 m³ por mês, de acordo com os estudos realizados no aquífero de Condado por Rêgo e Albuquerque (1999). Este valor, conforme o estudo realizado, é estimado para um ano seco com previsão de anos seguidos de seca, sendo esta a hipótese considerada neste cenário.

Conforme a Tabela 12, ocorreu uma redução de 7,12% da área a ser plantada e de 8,11% da receita líquida em relação ao período seco do cenário C1-A, em que se trabalhou com a capacidade máxima do aquífero, estimada em 100.000 m³ por mês.

Tabela 12 – Áreas em ha por cultura e receita líquida em R\$ obtidos com a otimização para a capacidade máxima do aquífero e para apenas 1/3 da sua reserva, em ambos os casos em conjunto com o reservatório e com 20hs de bombeamento.

Cultura	seco	seco (1/3 reserva do aquífero)
banana	60	54,57
tomate safra	60	60
tomate entressafra	15,61	0
goiaba	0	0
melancia safra	40	40
melancia entressafra	40	40
melão safra	40	40
melão entressafra	40	40
feijão safra	0	0
feijão entressafra	0	0
milho safra	0	0
milho entressafra	0	0
algodão safra	0	0
algodão entressafra	0	0
arroz safra	0	0
arroz entressafra	0	0
área (safra)	200	194,57
área (entressafra)	155,61	134,57
área (total)	295,61	274,57
receita líquida (R\$)	2,96*10⁶	2,72*10⁶
área máx. mensal	178,61	194,57

Com relação aos volumes de água retirados do reservatório, mostrados na Figura 4, conclui-se que, no período seco, já é explorado todo o potencial do reservatório, pois ao se reduzir a disponibilidade do aquífero praticamente não houve alteração nas extrações feitas ao reservatório (média de 290.416 m³/mês), de acordo com o gráfico das vazões mensais retiradas do reservatório, o qual apresentou um pequeno aumento de 8,90%, em relação a otimização realizada com a disponibilidade máxima do aquífero (média de 266.667 m³/mês de volume de água retirado do reservatório).

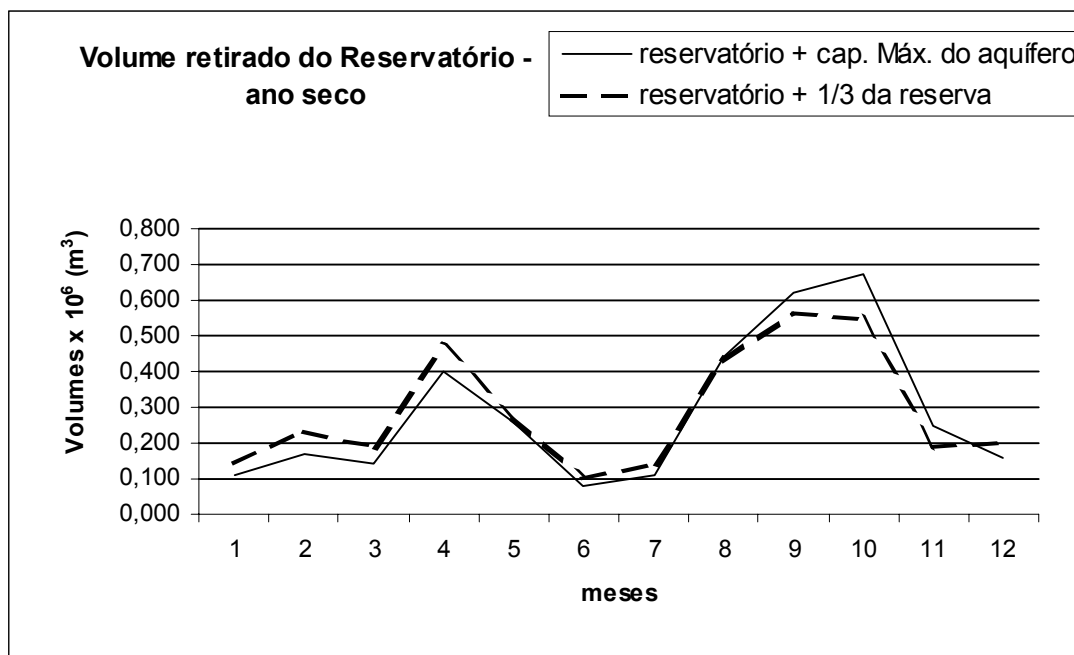


Figura 4 – Gráficos dos volumes extraídos do reservatório para a irrigação

A Figura 5, que apresenta os volumes extraídos dos poços, demonstra que é explorado o máximo da disponibilidade do aquífero, tendo as necessidades hídricas das culturas sido complementadas com a água do reservatório. Isso é verificado, tendo em vista que, no primeiro caso, a disponibilidade máxima é de 100.000 m³/mês (capacidade máxima do aquífero) e no segundo caso é de 23.000 m³/mês (1/3 da reservas do período seco) e os picos dos gráficos atingem esses valores algumas vezes ao longo do ano, coincidindo também com a época de cultivo conforme o plano cultural das culturas sazonais (Tabela 2).

Os resultados obtidos no cenário C3, em que se otimizou as áreas irrigadas com 1/3 da reserva do período seco mais a disponibilidade do reservatório para este período, permitem estabelecer uma maior segurança para a definição de áreas a serem cultivadas em um ano seco. Esta segurança pode ser aumentada se fizer uma previsão de mais de um ano de seca. Também tem-se uma estimativa da máxima receita líquida a ser gerada nesse período, de acordo com os valores de receita líquida por ha e para cada cultura adotada neste trabalho.

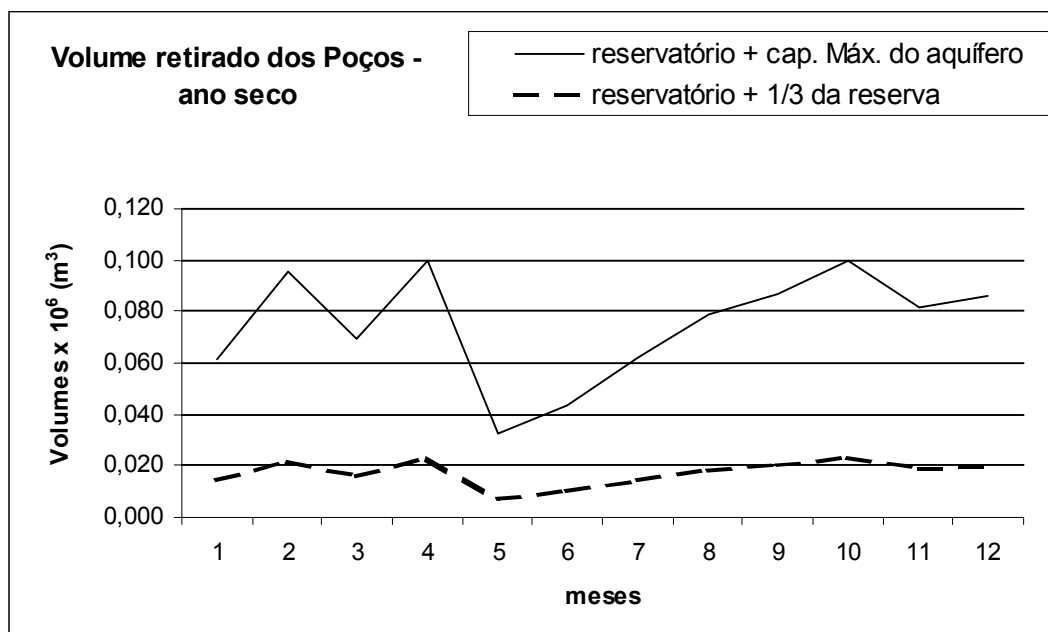


Figura 5 – Gráfico dos volumes retirados dos poços para a irrigação

CONCLUSÕES

Através de estudos de otimização do planejamento agrícola do perímetro irrigado de Condado para diversos cenários, pode-se concluir que:

- O CISDERGO é uma eficiente ferramenta no fornecimento de subsídios para um gerenciamento da operação de reservatórios e de perímetros irrigados, mostrando-se eficiente na determinação de receitas geradas com a otimização das áreas irrigadas e no manejo adequado de mananciais.
- É de grande importância a exploração planejada do aquífero aluvial de Condado para a sua utilização conjunta com a água do reservatório na irrigação, principalmente no período seco, por proporcionar uma maior rentabilidade ao perímetro.
- Esse trabalho confirma que é necessária uma escolha adequada das culturas e das áreas a serem plantadas nos períodos de safra e entressafra, de acordo com a situação climática, possibilitando um melhor aproveitamento do sistema, obtendo-se uma maior renda e evitando o uso inadequado da água.
- As culturas perenes devem ser planejadas à luz dos períodos secos para que as suas necessidades hídricas sejam sempre supridas, independente da variação climática que venha a ocorrer.
- Para situações em que se limitou a disponibilidade do aquífero a 1/3 da sua reserva, as mudanças no plano cultural não exerceram fortes influências na área total irrigada e na receita líquida porque a disponibilidade hídrica é bastante limitada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALBUQUERQUE, J. P. T., GÓIS, R. S. S., RÊGO, J. C. 1998, Os Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos do Estado da Paraíba: Uma Abordagem Quanti-Qualitativa. *Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Campina Grande-PB, 1998, CD-ROM.
- CHRISTOFIDIS, D. 1999, Situação das Áreas Irrigadas, Métodos e Equipamentos. *Anais do Ciclo de Palestras da Secretaria*, 1997-1999, MME e SRH, Brasília, 1999, p. 19-40.
- CUNHA, R. G. L. 1999, *Operação Integrada do Reservatório Engenheiro Arcoverde, Poços Amazonas e Perímetro Irrigado de Condado – PB, Utilizando-se de Programação Linear*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB.
- CURI, W. F., CURI, R. C. 1998, Otimização Integrada do Reservatório Engenheiro Arcoverde e do Perímetro Irrigado da cidade de Condado - PB. *Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, ABRH, Campina Grande-PB, 1998, CD-ROM.
- CURI, W. F., CURI, R. C. 2001, CISDERGO: Cropping and Irrigation System Design with Reservoir and Groundwater Optimal Operation, *Anais do V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, Aracaju, SE, 2001, CD-ROM.
- MOHAMMADI, E. M. 1998, Irrigation Planning: Integrated Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, V. 124, N. 5, September/October 1998.
- PARAÍBA, GOVERNO DO ESTADO 1997, *Manual de Orçamentos Agropecuários*. CENOP-CDE-COVAT/Banco do Nordeste, Campina Grande-PB, 176 p.
- RÊGO, J. C., ALBUQUERQUE, J. P. T. 1999, Estudos para Avaliação da Potencialidade e das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas na Área Aluvial do Perímetro Irrigado do Açude Público Eng. Arcoverde, município de Condado-PB, Relatório Técnico, ATECEL, UFPB, 1999, 20 p.