

AVALIAÇÃO DA RECEITA LÍQUIDA ÓTIMA DE UM PERÍMETRO IRRIGADO SUBMETIDO A DUAS FONTES HÍDRICAS: SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

Wilson Fadlo Curi¹, Rosires Catão Curi² e Raimundo Glauber L. Cunha³

Resumo - Duas fontes de abastecimento do perímetro irrigado da Cidade de Condado são avaliadas, uma superficial, que é o açude Eng. Arcoverde com 35 hm³, e uma subterrânea, que é um aquífero aluvial situado sob o citado perímetro irrigado, de onde se pode apropriar até 0,2 hm³/mês. Ambas fontes hídricas estão sujeitas a critérios de sustentabilidade hídrica e a quatro cenários hidroclimáticos diferentes: ciclos médio, normal, seco e chuvoso. O software CISDERGO foi utilizado para maximizar a receita líquida para cada cenário. Os resultados mostraram que, com exceção do cenário seco, a mudança de fonte alimentadora hídrica de superficial para subterrânea reduz a receita líquida para todos os demais cenários hidroclimáticos em 35,23% e 28,50% para os ciclos chuvoso e normal, respectivamente. O cenário seco apresentou com um aumento da receita líquida de 72,16%.

Abstract - Two sources of water may supply a 230 ha irrigation site in the neighborhood of Condado town, which are the Engenheiro Arcoverde reservoir, with a storage capacity of 35 hm³, and the phreatic aquifer, with a maximum safe monthly withdrawn of 0,2 hm³. The objective of this work is to maximize the net profit attained from the use of surface or ground water sources for irrigation purposes, using the software CISDERGO, and compare the results. For this analysis, sustainability criteria and four hydro-climate scenarios, which were classified as average, normal, dry and wet scenarios according to type of data used, were also used. The results have shown that, except for the dry scenario, a change from surface to ground water reduces the net profit in 35.23% and 28.50% for the wet and normal scenarios, respectively. The dry scenario presented an increase of 72,16% when changing from surface to ground water.

Palavras-chave - Planejamento, Otimização, Águas superficiais e subterrâneas, Culturas irrigadas.

¹ Professor do Depto Física – CCT - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), C.Grande,PB, fone: 83-9312-5807, email: wcuri@df.ufpb.br

² Professora do Depto. Eng. Civil - CCT - UFCG, C.Grande, PB, fone:83-310-1290, email: rcuri@dec.ufpb.br

³ MSc Recursos Hídricos, UFCG, C. Grande, PB, fone: 83-331-53-13 email:glaucunha@yahoo.com

INTRODUÇÃO

Na região semi-árida da Paraíba existe um número muito grande de pequenos e médios reservatórios, alguns dos quais, principalmente os de médio porte, estão sujeitos a fortes demandas hídricas. Este é o caso do reservatório Engenheiro Arcoverde que atende ao consumo urbano de duas cidades, Condado e Malta, com 36000 m³/mês e abastece um perímetro irrigado com área disponível para implantação de culturas irrigadas de até 460 ha (Cunha, 1999). Os múltiplos usos a que este reservatório está sujeito têm sido fonte de freqüentes conflitos entre os usuários, principalmente em anos em que o índice pluviométrico fica abaixo da média. Por ser um reservatório de médio porte, tanto pode encher ou secar muito rapidamente, atingindo situações de colapso no segundo ou terceiro ano consecutivo de precipitações pluviométricas abaixo da média, ou até mesmo, dependendo do rigor do ano seco, no mesmo ano. Esta situação climática adversa ocorre com freqüência na região semi-árida paraibana sendo, portanto, desejável um aprofundamento no estudo de alternativas de abastecimento destes perímetros irrigados, principalmente durante estes períodos críticos. É, também, desejável que se possa fazer um planejamento adequado dos tipos de culturas usadas, assim como determinar as áreas a serem plantadas de forma a assegurar ao produtor uma certa garantia de disponibilidade hídrica, já que o uso da água para irrigação é o de maior uso consuntivo dentre os vários usos da água.

Este trabalho tem por objetivo analisar e fornecer subsídios para equacionar o problema de abastecimento de áreas irrigadas de médio porte, como o sistema de Condado, que possam ser abastecidas tanto por fontes hídricas superficiais, no caso o reservatório Eng. Arcoverde, como por fontes hídricas subterrâneas, o aquífero aluvial, fornecendo estimativas em termos de seleção de culturas e suas respectivas áreas plantadas. Os resultados foram obtidos através de um modelo de otimização, o CISDERGO, "*Cropping and Irrigation System Design with (Optimal) Reservoir and Groundwater Operation*", desenvolvido por Curi e Curi, 2001, cuja função objetivo é a maximização da receita líquida auferida pelo perímetro irrigado sujeito a restrições de disponibilidade hídrica, de sustentabilidade hídrica, físicas e operacionais

CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

O sistema em estudo é composto pelo reservatório Engenheiro Arcoverde, poços amazonas e perímetro de irrigação os quais estão inseridos numa região do Nordeste do Brasil situada no chamado "polígono das secas", a noroeste do estado da Paraíba, numa altitude de 250 metros sob coordenadas geográficas de 6° 54' 30" de latitude sul e 37° 35' 50" de longitude a oeste de Greenwich; esta região é parte integrante da Bacia do Médio Piranhas, a qual faz parte do conjunto das seis sub-bacias que compõe a bacia do rio Piranhas. A bacia hidrográfica de drenagem (BHD)

do açude Engenheiro Arcoverde apresenta um área de 124 Km² e drena riachos de regime intermitente.

Reservatório Engenheiro Arcoverde

O açude público Eng. Arcoverde localiza-se no município de Condado (PB), foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) num período de cinco anos (1932-1936) com uma capacidade de acumulação de 35.000.000 m³ (trinta e cinco milhões de metros cúbicos) com a finalidade inicial de dotar o semi-árido nordestino de uma estrutura hidráulica para combater os efeitos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas, visando atender a demanda das cidades de Condado e Malta e posteriormente ao perímetro de irrigação ali implantado. O açude é, atualmente, administrado pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA) e segundo a mesma a demanda das cidades de Condado e Malta totalizam uma vazão de 35.585,83 m³/mês ou 427.030 m³/ano.

Perímetro Irrigado de Condado

Este perímetro abrange uma área de 459,3 ha, sendo que 230 ha é de agricultura irrigada e 229,3 ha de agricultura de sequeiro. O perímetro atende atualmente a 53 famílias (aproximadamente 200 pessoas), que contam com a água do reservatório e de poços amazonas construídos nos aluviões à jusante do citado açude, num total de 92 poços, dos quais, atualmente, só 72 encontram-se em atividade utilizando bombas de 7,5 CV, 10 CV, 12,5CV, e 15 CV que trabalham em média 8 horas por dia. As principais culturas encontradas no perímetro irrigado são as culturas permanentes de banana, goiaba e coco e as culturas sazonais de tomate, melancia, melão, feijão, milho e arroz. Dentre estas culturas, segundo tradição local, algumas são irrigadas por sulco, outras por aspersão e outras por gotejamento.

Aquífero Aluvial

De acordo com estudos realizados pela ATECEL/UFPB, 1999, existe uma grande variação das espessuras aluviais ao longo do perímetro irrigado, quantificadas entre 2,0 a 9,0 metros, com maiores ocorrências no intervalo de 4,0 a 6,0 metros. A espessura do pacote aluvial, assim como as espessuras saturadas são maiores nas depressões e mínimas próximo ao contato com o cristalino. As espessuras saturadas variam com o tempo, em função da exploração a que é submetido o aquífero e da sua recarga. A área parece ser bastante favorável à recarga, a partir da infiltração de significativa parcela das chuvas precipitadas sobre o local, já que é constituída de sedimentos bastante permeáveis. O aquífero é, predominantemente, constituído de areias finas, médias e grossas. Através de alguns testes, os autores do supracitado estudo determinaram alguns parâmetros

hidráulicos médios tais como: Condutividade Hidráulica (m/s), Transmissibilidade (m^2/s) e Porosidade Eficaz de $4,34 \times 10^{-4}$, $1,57 \times 10^{-3}$ e 4,89%, respectivamente.

CISDERGO

A Figura 1 mostra, de forma simplificada, o esquema de um projeto de irrigação integrado com captação de água via poços, rios e reservatório para áreas irrigadas de diversas formas. Portanto, o CISDERGO foi projetado para se ter um ou mais *perímetros irrigados*, sendo que cada um deles tem sua estação ou dados meteorológicos, suas limitações físicas de disponibilidade de terreno e de áreas plantadas para cada tipo de cultura. Os dados meteorológicos servem para calcular a precipitação efetiva disponível para as culturas mensalmente.

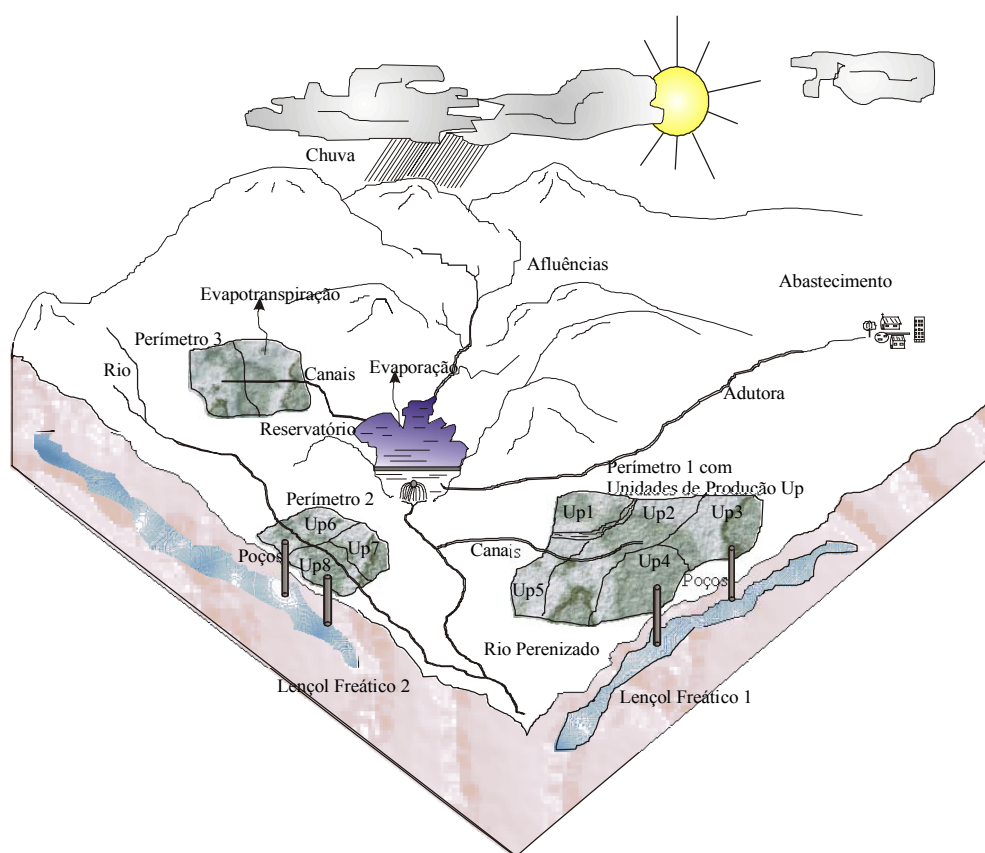


Figura 1 : Situação física que o CISDERGO pode representar

Os perímetros podem ser subdivididos em *unidades de produção* que, por sua vez, podem ser representativas de diferentes tipos de terrenos, níveis ou cotas, usuários ou qualquer outra particularidade que faça com que tenham características diferentes de limitações de disponibilidade de áreas físicas ou com plantações de certos tipos de culturas, etc. Uma unidade de produção não pode pertencer a mais de um perímetro irrigado. Pode ser definido para cada unidade de produção o tipo de *fonte de água* que irá suplementar os requerimentos das necessidades hídricas das culturas.

As fontes de água são quantificadas em termos da quantidade e qualidade de água, custos de implantação e manutenção e são classificadas com relação ao tipo delas. Elas podem ser **canais** ligados diretamente a um **reservatório** ou à **calha do rio** à jusante deste e **poços** ou **rios** que venham a passar nas vizinhanças do perímetro irrigado. No reservatório é feito o balanço hídrico mensal considerando os dados de vazões afluentes, precipitações, evaporações, demandas fixas e vazões nos canais ligados diretamente ao reservatório, descarregadas na calha do rio à sua jusante e vertidas. Os **poços**, por sua vez, tem suas limitações mensais designada em termos de sua capacidade de vazão e em termos da disponibilidade hídrica mensal do **lençol freático** a que pertence. Estes lençóis freáticos agrupam um ou mais poços. Os **rios** podem ser tratados como poços que não tenham profundidade.

A captação de água para irrigação das culturas necessita, quando não é possível ser feita a irrigação por gravidade, de um **sistema de bombeamento** apropriado. Este sistema de bombeamento deve ser capaz de satisfazer os requerimentos de recalque, sucção, vazão e custo (de energia) necessários a levar a água da fonte até a cultura. Para isso, são levadas em consideração as cotas de cada unidade de produção e das fontes as perdas de pressão no sistema de irrigação, assim os requerimentos de recalque de fontes do tipo poços. Pode-se ainda selecionar que sistema de bombeamento pode ser utilizado em cada fonte de água e unidade de produção.

Finalmente, deve-se prover os dados referentes as **culturas** a serem plantadas em cada unidade de produção ou perímetro irrigado. Estes dados relacionam-se a sua capacidade de produção, custos e receitas, requerimentos hídricos, etc. Ainda, sob o aspecto econômico, procurou-se permitir a inclusão da correção monetária anual e das tendências anuais ou sazonais de aumento do preço individual de cada cultura. Além disso, temos, para cada cultura, a associação com um **sistema de irrigação** que, por sua vez, também, tem eficiências, requerimentos e perdas de pressão, custos, etc. A Figura 2 mostra, de forma resumida, os requerimentos de dados para o CISDERGO dentro das possibilidades de projetos físicos permitidos.

O CISDERGO permite ainda incorporar, por unidade de produção ou perímetro, e a níveis temporais mensais, anuais ou total, restrições ou outros requerimentos associados a seleção de culturas. Associado a estas restrições, pode-se, também, ter associações de múltiplas funções objetivos.

Portanto, o CISDERGO está relacionado com o desenvolvimento de uma metodologia que considera esta análise integrada e que permite a maximização dos benefícios econômicos de uma seleção apropriada de culturas por unidade de produção cujas extensão de suas áreas irrigadas, tipos de irrigação, lâminas de rega ou vazões aduzidas dos poços ou reservatório, sistemas de bombeamento utilizados sejam objeto de determinação. Ainda para ser mais flexível, o modelo permite a inclusão de outros tipos de funções objetivos para incorporar outros tipos de maximização

de benefícios (por exemplo, a mão de obra, uso de um determinado equipamento ou produto, etc.) ou minimização de perdas (por exemplo, gasto com insumos, etc.). O modelo de otimização tem como base o princípio de conservação da massa, que é aplicada ao reservatório e à área irrigada, e da energia, aplicado ao processo de bombeamento, e leva em consideração as limitações inerentes do problema. O processo de otimização é feito através da aplicação de um método de programação linear de forma recursiva. Este processo de programação linear recursiva leva em consideração, de forma heurística, a natureza intrínseca não-linear do problema. Para sintetizar a idéia da concepção do CISDERGO, este foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

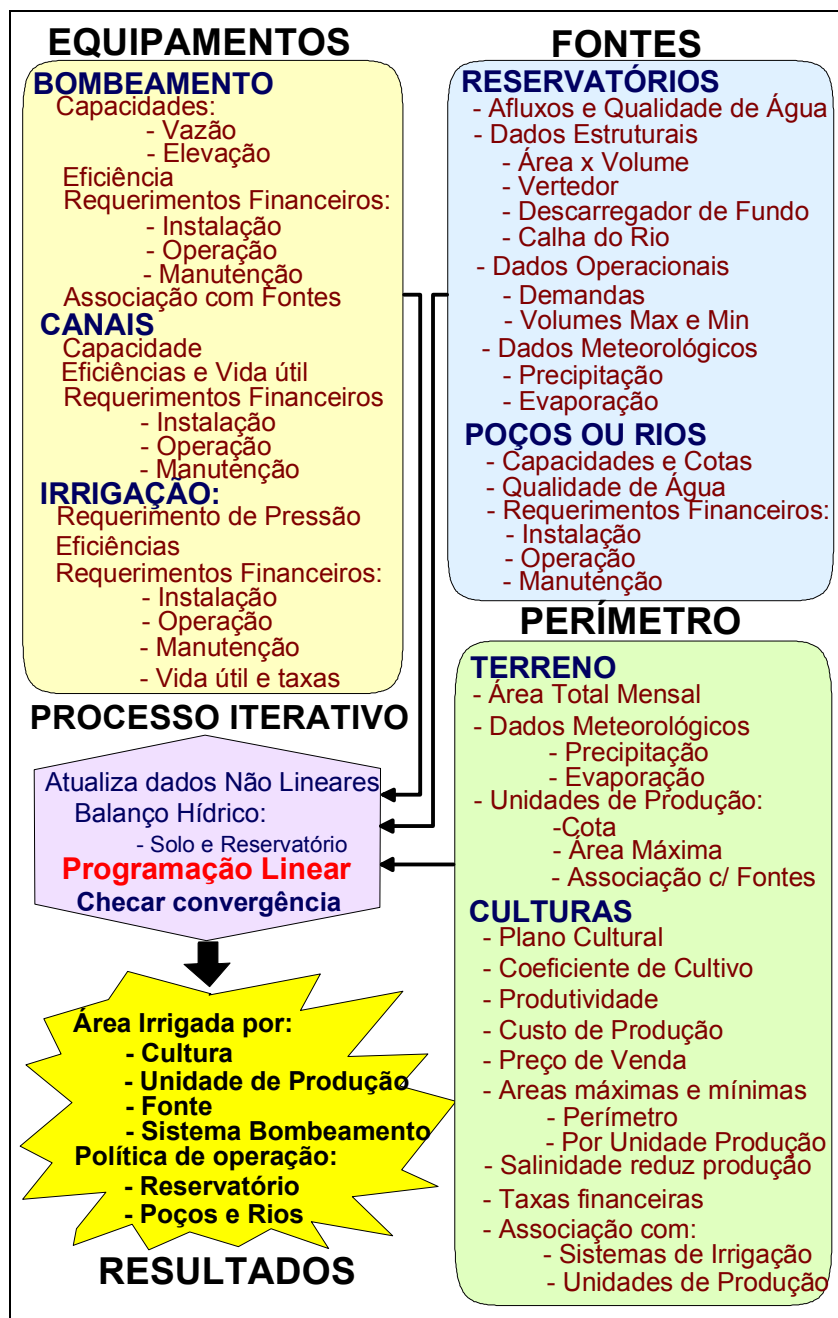


Figura 2 Dados de entrada e processos do CISDERGO

1. Otimização da operação integrada de um Reservatório, Poços/Rios e Áreas Irrigadas via Programação Linear Recursiva
2. Formulação automática da função objetivo e das equações de restrição
3. Permitir, por perímetro, unidades de produção ou escalas de tempo mensal, anual ou plurianual:
 - 3.a Otimizar funções multi-objetivo
 - 3.b Incorporar outras restrições não implícitas no CISDERGO
4. Permitir a associação entre planos culturais, fontes de água, unidades de produção ou perímetros, sistemas de bombeamento e de irrigação

CENARIOS ESTUDADOS

Os cenários estudados simularam quatro situações hidroclimáticas diferentes, as quais foram denominadas de ciclo médio, normal, seco e chuvoso. O modelo foi rodado a nível mensal, para cada ciclo, considerando um intervalo temporal de cinco anos consecutivos. Portanto, o ciclo médio caracteriza os valores médios mensais de precipitações no perímetro e vazões afluentes ao reservatório, que foram obtidos de uma série histórica de 1973 a 1991. O ciclo normal usa os valores das variáveis hidrológicas mensais de uma série de 5 anos consecutivos com média anual de precipitação mais próxima da média do período de 1973 a 1991. O ciclo seco e o ciclo chuvoso usam os valores de uma série de 5 anos consecutivos com a menor e a maior média anual de precipitação, respectivamente.

Para cada um destes cenários hidroclimáticos foram simuladas as seguintes situações:

- a) Perímetro de irrigação é alimentado só com a água do reservatório e com uma vazão máxima de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, definida em função da capacidade do canal de distribuição;
- b) Perímetro de irrigação alimentado pelo aquífero aluvial através de 72 poços amazonas e um sistema de 72 bombas com diferentes capacidades que permitem a adução de até $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 01, que fornece a alocação ótima de área para as culturas e a receita líquida otimizada para os diversos cenários hidroclimatológicos. Verificam-se alterações nos valores da receita líquida, quando se variam os cenários e se considera apenas uma fonte hídrica ou quando se muda a fonte hídrica considerando um mesmo cenário. Denominando (es) para entressafra e (s) para safra, alterações de cenários ou de fontes hídricas não provocaram variações nas alocações de área irrigada para as culturas de banana, goiaba, feijão (es), milho (es), algodão

(es) e arroz (es), os quais não tiveram nenhuma área alocada. Tal fato ocorreu em função destas culturas apresentarem uma receita líquida por hectare muito baixa em relação às outras culturas e agravado, provavelmente, por um consumo hídrico incompatível com as disponibilidades hídricas temporais. A cultura do tomate (es) não teve áreas alocadas quando a fonte era o aquífero, assim como para o período seco quando a fonte foi reservatório. A melancia (es) teve área alocada apenas para o período chuvoso e fonte reservatório. O milho (s) e arroz (s) tiveram áreas alocadas apenas para o período chuvoso das duas fontes hídricas. As culturas que apresentaram alocações de área independente do cenário climático ou da fonte foram o tomate (es) e o melão (s). O sistema em estudo apresentou um comportamento interessante, como, por exemplo, a mudança no padrão de culturas escolhido das culturas da melancia (s), melão (es), feijão (s) e algodão (s). A melancia (s), quando a fonte hídrica é o reservatório, teve área alocada no ciclo normal e não teve para o ciclo seco quando mudou-se a fonte para aquífero ela teve área alocada para o ciclo seco e não o teve para o ciclo normal, ocorrendo então uma inversão no padrão da escolha. O melão (es) não teve áreas alocadas nos ciclos normal e seco quando a fonte é o reservatório e as teve para todos os ciclos quando a fonte foi o aquífero. O feijão (s) e o algodão (s), para a fonte reservatório, só tiveram áreas alocadas para o ciclo chuvoso e, para a fonte sendo o aquífero, tiveram áreas alocadas para os ciclos médio e chuvoso. Estas alterações no padrão de escolha das áreas para as diversas culturas parecem indicar que a escolha ótima não é definida apenas em termos da receita líquida por hectare, mas que variações temporais das disponibilidades hídricas podem afetar bastante os padrões de escolha ótimos.

A Tabela 02 mostra a variação percentual na estimativa otimizada da receita líquida do perímetro entre os diversos cenários hidroclimáticos e entre as fontes hídricas alimentadoras. Esta variação percentual foi calculada da seguinte forma: partindo-se da fonte dada na linha i e mudando para a fonte, ou apenas o cenário, dado na coluna j , então o percentual de aumento ou redução na receita líquida, RL , é dado por: $((RL_i - RL_j)/RL_i)*100$. Desta tabela podemos observar que há grandes variações percentuais da receita líquida quando se muda não só de fontes alimentadoras, mas, também, de cenários hidroclimáticos. Quando não se muda de fonte e se muda apenas de cenários, têm-se também grandes variações percentuais, variando de um máximo de 251,6% (Ciclo Seco para Chuvoso) a um mínimo de -14,7% (Ciclo Chuvoso para Médio), quando a fonte é o reservatório, e de um máximo e mínimo 32,2 % (Ciclo Seco para Chuvoso) e 1,5% (Ciclo Seco para Normal), respectivamente, quando as fontes são os poços amazonas. Quando se muda de fonte e não se muda de cenário climático tem-se que a maior variação (72,2%) ocorreu para o ciclo seco com mudança da fonte de Reservatório para Poços, e a menor variação (-28,5%) ocorreu para o ciclo normal com mudança de fonte de Reservatório para Poços.

A Tabela 03, mostra a amplitude das variações percentuais da receita líquida entre cada cenário hidroclimático e para cada circunstância de mudança de fonte alimentadora e os cenários hidroclimáticos para uma mesma fonte alimentadora. Desta tabela podemos observar que a amplitude das variações entre os cenários hidroclimáticos, quando o perímetro é abastecido só por poços, é bem menor da que quando o perímetro é abastecido só por reservatório. Portanto, apesar da menor receita líquida quando o perímetro é alimentado só pelos poços, as variações obtidas na receita líquida entre os diversos cenários climáticos são bem menores, possibilitando um menor risco ao agricultor.

Tabela 01- Área das culturas (ha) e receita líquida otimizada para o perímetro irrigado de Condado alimentado pelo reservatório ou pelo aquífero para os cenários hidroclimáticos caracterizados como ciclos médio, normal, seco e chuvoso.

Culturas	Fonte hídrica das culturas irrigadas							
	Reservatório				Aquífero (Poços)			
	Ciclos hidroclimáticos				Ciclos hidroclimáticos			
	Médio	Normal	Seco	Chuvoso	Médio	Normal	Seco	Chuvoso
Banana	0	0	0	0	0	0	0	0
Tomate (s)	30	30	19,8	30	30	30	27,53	30
Tomate (es)	24,16	3,66	0	30	0	0	0	0
Goiaba	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia (s)	20	20	0	20	20	0	7,5	20
Melancia (es)	0	0	0	5,15	0	0	0	0
Melão (s)	20	20	20	20	20	9,8	20	20
Melão (es)	20	0	0	20	11,94	11,93	12,15	11,94
Feijão (s)	0	0	0	40	22,62	0	0	40
Feijão (es)	0	0	0	0	0	0	0	0
Milho (s)	0	0	0	30	0	0	0	24,9
Milho (es)	0	0	0	0	0	0	0	0
Algodão (s)	0	0	0	20	16,98	0	0	20
Algodão (es)	0	0	0	0	0	0	0	0
Arroz (s)	0	0	0	20	0	0	0	20
Arroz (es)	0	0	0	0	0	0	0	0
Rec. líq. (R\$)	1202300	980260	400960	1409600	826920	700900	690290	912870

Tabela 02- Variação percentual na estimativa otimizada da receita líquida do perímetro entre os diversos cenários hidroclimáticos e entre as fontes hídricas alimentadoras.

Fonte:		Reservatório				Poços				
Fonte:	Ciclos:		Médio	Normal	Seco	Chuvoso	Médio	Normal	Seco	Chuvoso
		Rec.liq.	1202300	980260	400960	1409600	826920	700900	690290	912870
Reservatório	Médio	1202300	0,0	-18,5	-66,7	17,2	-31,2	-41,7	-42,6	-24,1
	Normal	980260	22,7	0,0	-59,1	43,8	-15,6	-28,5	-29,6	-6,9
	Seco	400960	199,9	144,5	0,0	251,6	106,2	74,8	72,2	127,7
	Chuvoso	1409600	-14,7	-30,5	-71,6	0,0	-41,3	-50,3	-51,0	-35,2
Poços	Médio	826920	45,4	18,5	-51,5	70,5	0,0	-15,2	-16,5	10,4
	Normal	700900	71,5	39,9	-42,8	101,1	18,0	0,0	-1,5	30,2
	Seco	690290	74,2	42,0	-41,9	104,2	19,8	1,5	0,0	32,2
	Chuvoso	912870	31,7	7,4	-56,1	54,4	-9,4	-23,2	-24,4	0,0

Tabela 03- Amplitude das variações percentuais da receita líquida entre cada cenário hidroclimático e para cada circunstância de mudança de fonte alimentadora e entre os cenários hidroclimáticos para uma mesma fonte alimentadora, dada por

$$||\text{maior valor da variação}\%|| - ||\text{menor valor da variação}\%||.$$

		Reservatório	Poços			Reservatório	Poços
Reservatório	Médio	49,5	18,5	P O Ç O S	Médio	52,0	6,1
	Normal	36,4	22,7		Normal	61,2	28,7
	Seco	107,1	55,5		Seco	62,3	30,7
	Chuvoso	56,9	15,8		Chuvoso	48,7	15

A Tabela 04 traz o volume de água em m³, aduzido de cada fonte alimentadora, da qual pode-se observar que, para ambas as fontes hídricas, o ciclo médio consome mais água que o ciclo normal, demonstrando a influência que o uso de valores médios tem na sub-estimação das reais necessidades hídricas do perímetro. As amplitudes dos volumes de água usados foram maiores para a fonte reservatório do que para poços, em cerca de 3.347.428 m³ e 707.897 m³, respectivamente. Nos ciclos médio e normal, foi usado um volume de água maior quando a fonte foi reservatório e nos ciclos seco e chuvoso foi usado um volume de água maior quando a fonte foi poços, isto é com alimentação oriunda do aquífero.

Tabela 04- Volume de água, em m³, aduzido de cada fonte alimentadora para irrigação durante 5 anos, para cada cenário hidroclimático.

Fontes alimentadoras	Ciclos hidroclimáticos			
	Médio	Normal	Seco	Chuvoso
Reservatório	3.890.550	2.293.640	752.653	543.122
Poços	1.921.930	1.296.547	1.540.438	1.214.033

CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados mostram a grande importância que o aquífero tem como fonte hídrica, seja como fonte única, seja como suplementar, na operação ótima do perímetro irrigado do Condado. Vale ressaltar que, em períodos de seca severa, só se fica com o abastecimento subterrâneo, como ocorreu nos anos de 1997, 1998 e 1999. Variabilidades temporais de disponibilidade hídrica parecem afetar de forma substancial os critérios de alocação ótima de áreas para as diversas culturas. É muito grande a variabilidade na receita líquida auferida pelo perímetro quando sujeito a variações climáticas e de fontes de abastecimento, demonstrando um alto grau de vulnerabilidade dos agricultores a decisões errôneas em relação a que tipo de cultura e quanto de área plantar.

BIBLIOGRAFIA

- ATECEL/UFPB, “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, 1999.
- CUNHA, R. G. L. “Operação Integrada do Reservatório Engenheiro Arcoverde, Poços Amazonas e Perímetro Irrigado de Condado utilizando-se de Pesquisa Operacional”, Dissertação de Mestrado, agosto, 1999.
- 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.