

SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO E ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DO RESERVATÓRIO COREMAS / MÃE D'ÁGUA SUJEITO A MÚLTIPLOS USOS

Eduardo Felipe C.C de Oliveira ¹, Rosires Catão Curi ² e Wilson Fadlo Curi ³

Resumo - A operação de reservatórios envolve o uso da água para diversas finalidades, sempre objetivando minimizar os riscos da falta da água e maximizar os benefícios. O modelo de simulação proposto, associado com a operação do reservatório, mostra-se bastante flexível por representar de forma bastante real a complexa configuração do sistema Coremas / Mãe D'água, localizado na região semi-árida do Estado da Paraíba. O modelo matemático desenvolvido utilizou-se da ferramenta MATLAB para simular o processo físico envolvendo a conexão dos dois reservatórios que baseia-se no balanço de massa mensal. Os valores de entrada são baseados em dados históricos observados, o qual permite estudar diversos cenários com anos seco, normal e chuvoso, variações nas condições iniciais do reservatório e intervenções a montante do sistema.

Abstract - Reservoir operation involves allocating available water among multiple uses and users, minimizing the risks of water shortages and flooding and maximizing the beneficial use. Simulation models associated with reservoir operation provide higher flexibility in detailed and more realistic representation of complex configuration such as the two interconnected reservoirs, Coremas and Mãe D'água, located in the semi-arid region of Paraíba state. The mathematical model developed herein and coded for the MATLAB software to simulate the physical behavior of those two interconnected reservoirs is based on the monthly mass balance equation to track the movement of water. This model was used to study the system's behavior taking into account several scenarios including rainy, normal and dry years, reservoir initial conditions and upstreams interventions, based on observed historic data.

Palavras Chaves – Reservatório, Benefícios, Simulação.

¹ Assessor da Diretoria de Produção da CODEVASF, SHIS QI.07 Conj. 06 Casa 15, CEP: 71615-260, Brasília / DF Telefone: (061) 248-1387 / 912-3548, email: a_producao@codevasf.gov.br

² Professora Adjunta do Depto. de Eng. Civil, CCT-UFPB-Campus II, CEP: 58109-970, Campina Grande / PB, Telefone: (083) 310-1195, email: rcuri@rechid.ufpb.br

³ Professor Adjunto do Depto. de Física, CCT-UFPB-Campus II, CEP: 58109-970, Campina Grande / PB, Telefone: (083) 310-1290, email: wcuri@df.ufpb.br

INTRODUÇÃO

A crescente demanda dos recursos hídricos e as alterações qualitativas que a água sofre natureza ao longo das transformações que a mesma passa devido ao ciclo hidrológico, gera limitações ao uso da água. A região semi-árida do Nordeste do Brasil apresenta características climáticas bem definidas tais como: chuvas bastante irregulares a nível espaço-temporal, altas taxas de evaporação e baixos índices pluviométricos.

Uma das formas de atenuar a irregularidade hídrica das regiões semi-áridas é através do uso de reservatórios de acumulação superficiais. A construção dos açudes, apesar de amenizar, não solucionou o problema da falta de água. Uma das formas de minimizar o problema da escassez relativa da água é priorizar uma melhor gestão dos mananciais já existentes. No presente trabalho, objetiva-se:

a) Observar o comportamento do sistema Coremas/Mãe D'água com a retirada de água pelo Canal para as várzeas de Sousa e a redução da área de contribuição hídrica da bacia hidrográfica ao sistema;

b) Estimar os benefícios sócio-econômicos gerados com a água do Coremas / Mãe D'água atendendo a piscicultura e os projetos de irrigação.

Os estudos de operação de reservatórios tiveram seu desenvolvimento concomitantemente à evolução das técnicas de análise de sistemas, onde pode-se destacar processos de simulação e otimização. No presente trabalho, que visa simular o funcionamento do reservatório Coremas/Mãe D'água sujeito a múltiplos usos, utiliza-se de modelos matemáticos não lineares. Esta metodologia tem como características principais a flexibilidade de utilização e a observância da natureza não linear intrínseca dos processos físicos que ela simula.

Para obtenção dos resultados (níveis de água, áreas de espelho de água e volumes) , o modelo é executado no MATLAB (Matrix Laboratory) que é um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. O modelo matemático de simulação é escrito com base no balanço hídrico e de acordo com as condições das obras de engenharia e características hidrológicas, hidráulicas, ambientais, políticas e legais. Os benefícios sócio-econômicos são determinados em planilha eletrônica Excel da Microsoft , o que permite com bastante rapidez correlacionar, seja por meio de tabelas ou gráficos, tais benefícios com as vazões afluentes e defluentes ao sistema e outras variáveis hidrológicas.

DESCRIÇÃO DA REGIÃO

A região estudada, situa-se no oeste do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, na área fisiograficamente classificada como semi-árido, sob coordenadas geográficas de 6° 43' 30" e 7° 51' de latitude sul, e 37° 27' e 38° 39' de longitude oeste de Greenwich. Ela é parte integrante da Bacia do Piancó, uma das seis sub-bacias do sistema Piranhas, a qual apresenta uma área de 9.761 Km². Esta área tem como principais reservatórios o sistema Coremas/Mãe D'água situado entre as coordenadas 7° 0' e 7° 10' de latitude sul, e 37° 50' e 38° 50' de longitude oeste de Greenwich .

A área da bacia hidrográfica do Piancó apresenta clima semi-árido quente mediano, com 7 a 8 meses secos e é caracterizada por uma distribuição anual das chuvas bastante irregular, evaporação elevada e temperatura média anual de 27 ° C, tais dados meteorológicos são mostrados na Tabela 1. O regime fluviométrico depende diretamente da pluviometria e apresenta como principais contribuintes do sistema em estudo, o rio Piancó, a bacia hidrográfica de Emas e a bacia hidrográfica de Aguiar, cujos escoamentos superficiais médios são apresentados na Tabela 2.

O reservatório de Coremas, com capacidade de 720.000.000 m³ na cota 245 m, possui: bacia hidrográfica de contribuição de 6.840 Km², bacia hidráulica de 59,5 Km² e profundidade máxima de 44 m. A barragem principal tem largura máxima da base de 258,50 m, extensão de coroamento de 1.550 m, largura de coroamento de 10 m e cota de coroamento de 248 m. O citado reservatório contém ainda três barragens auxiliares com respectivamente 500 m, 165 m e 280 m de extensão de coroamento. O sangradouro da barragem principal apresenta largura de 150 m, alt. de 3m e cota da soleira de 245 m.

O reservatório Mãe D'água também construído pelo DNOCS, ligado por um túnel na cota 230 m (cota esta rebaixada de 236 m para 230 m devido a construção do canal Coremas/várzeas de Sousa) ao reservatório Coremas, tem capacidade máxima de 648.000.000 m³ e possui: bacia hidrográfica de 1.128 Km², bacia hidráulica de 38,4 Km² e profundidade máxima de 44 m. A barragem principal tem largura máxima da base de 35 m, extensão de coroamento de 170,76 m, largura de coroamento de 1,20 m e cota de coroamento de 245 m.

O APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Uma das grandes vantagens do múltiplo uso está na possibilidade de compartilhamento das vazões hídricas e das estruturas hidráulicas. Na escolha dos usos a serem adotados no manancial em estudo, deve-se verificar o caráter quantitativo e qualitativo de cada uso que indica a tendência de como vai ser solicitado o volume disponível de água no reservatório. Feita a escolha dos usos deve-se estabelecer regras operacionais de apropriação da água, a fim de se evitar conflitos de caráter administrativo e inter-setoriais.

No presente estudo, optou-se pelo uso da água para piscicultura (devido a tradição na região), abastecimento humano (por ser uso prioritário conforme Lei Fed.), atendimento dos projetos de irrigação, energia elétrica e regularização de vazões (a fim de mitigar conflitos a jusante). Quanto ao abastecimento humano, considerou-se um consumo per capita de 150 litros / habitante / dia e uma população para os municípios em volta do Sistema Coremas / Mãe D'água projetada para o ano 2.018 em 420.000 habitantes, a qual demanda uma vazão em 0,80 m³ / s.

O outro uso consuntivo é a irrigação, que devido ao caráter bastante multidisciplinar exige algumas análises preliminares, as quais foram efetuadas para o sistema hídrico em análise por Oliveira (1998), como :

- 1) Verificação da qualidade da água para irrigação;
- 2) Levantamento pedológico da região e classificação da aptidão agrícola;
- 3) Escolha de culturas a serem adotadas na área irrigável, no caso Banana, Tomate, Laranja, Melão, Abacaxi e Goiaba;

4) Determinação da demanda hídrica mensal de cada culturas (DHM) em m^3 / s por hectare ;

5) Estudo da receita líquida anual por hectare de cada uma das culturas escolhidas;

6) Pesquisa do total de empregos gerados por hectare para cada uma das culturas escolhidas.

Adotou-se para irrigação uma vazão de $5 m^3 / s$ que permite a irrigação de 10.335 hectares , conforme mostra a Tabela 2, e uma vazão de $6 m^3 / s$ para atender a mini usina hidrelétrica e a regularização da vazão do rio Piancó. Totaliza-se uma vazão demandada ao sistema Coremas / Mãe D'água de $11,8 m^3 / s$.

O MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo tem como elementos principais as vazões afluentes ao reservatório, as vazões defluentes, a precipitação e a evaporação na região do manancial. As vazões afluentes resultam do escoamento superficial dos rio Piancó e da contribuição das bacias hidrográficas de Emas e Aguiar, que juntamente com a precipitação integram o conjunto de dados de entrada do balanço hídrico do reservatório Coremas/Mãe D'água. As vazões defluentes são representadas pelos usos requeridos: abastecimento humano, irrigação, regularização de vazões e geração de energia elétrica e não requeridas como vazão extravasada no caso de cheia de reservatório, junto com a evaporação constituem o conjunto de dados de saída do balanço hídrico do reservatório estudado.

No modelo proposto almeja-se determinar os volumes dos reservatórios Coremas e Mãe D'água, assim como as respectivas áreas de espelho de água ao final de cada um dos meses do ano hidrológico, depois de liberadas as vazões para cada um dos usos, no caso, abastecimento humano, regularização de vazões e irrigação.

O problema matemático consiste nas seguintes etapas:

Etapa 1: Encontrar as relações: cota x área, cota x volume e volume x cota dos reservatórios Coremas e Mãe D'água, conforme mostra a Tabela 3;

Etapa 2: Definir as condições iniciais, constantes e variáveis do problema, conforme as restrições de natureza hidráulica, ambiental e legal, os dados hidrometeorológicos e as demandas da sociedade, conforme Tabela 4;

Etapa 3: Compatibilizar as cotas do nível de água dos reservatórios Coremas e Mãe D'água para cada um dos meses do balanço hídrico pelas expressões 1,2 e 3 :

$$| DELH | = HCO_t - HMA_t \quad (1)$$

$$DELH > TOLERÂNCIA \rightarrow \text{Atualizar níveis dos reservatórios} \quad (2)$$

$$DELH < TOLERÂNCIA \rightarrow \text{Fim da atualização} \quad (3)$$

Etapa 4: Atualizar a vazão que passa do reservatório Coremas para o reservatório Mãe D'água e vice-versa pelas expressões 4,5,6,7,8 e ,9;

$$HCO_t = HCO_{t-1} - (HCO_{t-1} - HMA_{t-1}) / 2 \quad (4)$$

$$HMA_t = HMA_{t-1} - (HMA_{t-1} - HCO_{t-1}) / 2 \quad (5)$$

$$VCO_t = VCO_t + DELVMA \quad (6)$$

$$VMA_t = VMA_t + DELVCO \quad (7)$$

$$QLIG = QLIG + DELVCO \quad (8)$$

$$QLIG = QLIG - DELVMA \quad (9)$$

Onde:

DELVMA é o volume do reservatório Mãe D'água que está acima do volume na cota do fundo do canal que liga os dois reservatórios em m³;

DELVCO é o volume do reservatório Coremas que está acima do volume na cota do fundo do canal que liga os dois reservatórios em m³;

QLIG é o volume que passa pelo túnel de ligação dos reservatórios Coremas e Mãe D'água em m³;

O índice t varia de 1 a 12, dependendo do mês em análise.

Etapa 5: Efetuar o balanço hídrico mensal nos dois reservatórios pelas expressões 10, 11, 12, 13 e 14.

$$QS = C \times L \times (HCO_{to} - HS)^{1.5} \quad (10)$$

$$QD_t = QRG + QAB \quad (11)$$

$$QIR_t = VMA_t - VRNM \quad (12)$$

$$VCO_t = VCO_{t-1} + QP_{t-1} + QE_{t-1} + (P_{t-1} - EV_{t-1}) \times ACO_{t-1} - QD_t - QLIG - QS_{t-1} \quad (13)$$

$$VMA_t = VMA_{t-1} + QAG_{t-1} + (P_{t-1} - EV_{t-1}) \times AMA_{t-1} - QIR_t + QLIG \quad (14)$$

Onde:

QD é o volume mensal liberado para atender a regularização do rio Piancó (QRG) e o abastecimento humano (QAB) em m³;

QIR é o volume mensal liberado para atender a irrigação em m³;

QS é o volume mensal extravasado pelo reservatório Coremas em m³;

VRNM é o volume do reservatório Mãe D'água na cota mínima em m³.

Construído o modelo e obtidos seus dados de entrada, é necessário a sua validação. O processo de validação consiste em comparar os resultados obtidos no modelo com os resultados medidos em campo. Utilizado os anos de 1970 (ano seco), 1991 (ano normal) e 1986 (ano chuvoso), conforme Oliveira (1998), observou-se as relações médias anuais entre o resultado obtido no modelo e o resultado real, chegou-se aos seguintes valores 12,11 % (ano seco), 1,34 % (ano chuvoso) e 4,51 % (ano normal). Estes resultados mostram que os resultados obtidos com a simulação estão bastante condizentes com a situação real.

ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS SÓCIO ECONÔMICOS

Os benefícios sócio-econômicos gerados a partir do uso múltiplo do reservatório Coremas/Mãe D'água são expressos quantitativamente pelas receitas líquidas anuais com irrigação e piscicultura e pelos empregos que poderão ser gerados a partir dos projetos de irrigação a serem implantados. Tais benefícios gerados pelos projetos de irrigação crescem a medida que aumentam-se as vazões liberadas para estes projetos pelo reservatório em estudo. Esta liberação de água do reservatório analisado diminui o seu volume útil, o que ocasiona uma redução potencial da receita líquida gerada com a piscicultura.

Com a finalidade de permitir uma certa flexibilidade na análise dos benefícios sociais econômicos ocasionados pelo uso do citado reservatório para irrigação e piscicultura, desenvolveu-se um modelo utilizando a ferramenta Excel da Microsoft. Este modelo calcula os benefícios sócio-econômicos do Reservatório Coremas/Mãe D'água sujeito a múltiplos usos de forma bastante flexível em 3 etapas.

Etapa 1: Entrada dos dados abaixo:

- Vazão mensal liberada para irrigação – $QIR_{i(t)}$ em m^3/s ;
- Custo do canal de Reversão do sistema Coremas/Mãe D'água – PC, no caso R\$ 250 por metro ;
- Relação da área irrigável por cultura, vide Tabela 5, pela área total - F_k . No caso: Abacaxi (30 %), Banana (15 %), Goiaba (15 %), Laranja (10 %), Melão (15 %) e Tomate (15 %) ;
- Demanda hídrica mensal por cultura - $DHM_{k(t)}$ em m^3/s / hectare ;
- Receita líquida por hectare / ano por cultura - $RLU_{k(m)}$ em R\$/hectares ;
- Taxa de juros anual para pagar a obra - T J, no caso 12 % ;
- Período de pagamento das obras hidráulicas - PR, no caso 6 anos ;
- Custo de alevinagem - CAL, no caso 3,00 R\$ / hectare ;
- Rendimento médio da piscicultura – RD, no caso 120 Kg / hectare ;
- Preço médio do pescado - PMP, no caso 0,90 R\$/Kg ;
- Área do espelho D'água do sistema – ER_i em hectares ;
- Total de dias de trabalho (diárias) gerados por cultura por hectare - $TUE_{k(m)}$;
- Valor pago por dia de trabalho - SD em (R\$) / dia ;

Onde:

- O Índice k é um número inteiro que varia de 1 a 6 e indica as culturas adotadas, no caso: abacaxi, banana, goiaba, laranja, melão e tomate ;
- O Índice i indica os cenários simulados em função das vazões afluentes ao reservatório, no caso sem redução de vazão afluente;
- O Índice m indica cada um dos anos do período de estabilização do projeto, no caso m varia de 1 à 6.

Etapa 2: Cálculo dos aspectos agronômicos a partir das expressões 15 à 17.

$$DHA_k = \left(\sum_{t=1}^{12} DHM_{k(t)} \right) / 12 \quad (15)$$

$$QIR_{i(t)} - \sum_{k=1}^6 DHM_{k(T)} \times AIR_i \times F_k \geq 0 \quad (16)$$

Onde: AIR_i é a área total dos projetos de irrigação em hectares

$$AIC_{i(k)} = F_k \times \text{Mínimo} (AIR_{i(t)}) \quad (17)$$

Onde: $AIC_{i(k)}$ é a área total irrigável por cultura

Etapa 3: Cálculo dos aspectos sócio-econômicos pelas expressões 18 à 28.

$$RTI_m = AIC_{i(k)} \times RLU_{k(m)} \quad (18)$$

$$RTIE = \sum_{m=1} RTI_m \quad (19)$$

$$CCT = PC \times D \quad (20)$$

$$VPR = (CCT \times (((TJ(1+TJ)^{PR}) / ((1+TJ)^{PR} - 1)))) \quad (21)$$

$$RTP_i = (ER_i \times PMP \times RD) - ER_i \times CAL \quad (22)$$

$$TEG_m = \sum_{k=1}^6 TUE_{k(m)} \times AIC_k \quad (23)$$

$$TEGI = \sum_{m=1}^6 TEG_m \quad (24)$$

$$CMO = SD \times TEGI \quad (25)$$

$$ROPI = ((PR \times VPR) / RTIE) \times 100 \quad (26)$$

$$RPSPI = (\sum_{m=1}^6 RTP_{i(m)}) / RTIE \times 100 \quad (27)$$

$$RT = \sum_{m=1}^6 RTP_m + RTIE \quad (28)$$

Onde: RTI_m é a receita líquida total anual com irrigação em R\$;
 $RTIE$ é a receita líquida total para a estabilização dos projetos em R\$;
 CCT é o custo total do canal em R\$;
 D é a extensão total do canal, no caso 42.000 metros ;
 VPR é o valor da prestação anual para pagamento do canal em R\$;
 RTP_i é a receita total anual com piscicultura em R\$;
 TEG_m é o total de empregos gerados por ano em diárias ;
 CMO é o custo com mão-de-obra em R\$ nos projetos de irrigação ;
 $ROPI$ é o custo percentual das obras de engenharia em relação a receita total gerada com a irrigação no período de estabilização dos projetos ;
 $RPSPI$ é a relação entre as receitas com piscicultura e com irrigação ;
 RT é a receita total gerada com irrigação e piscicultura em R\$.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

Tornou-se possível, com o presente trabalho, analisar a sustentabilidade hídrica do Sistema Coremas / Mãe D'água quando sujeito aos diversos usos: piscicultura, abastecimento humano, regularização de vazões, energia elétrica e irrigação, sob condições de intervenções que possam ocorrer a montante, através de apropriações e reduções de vazões. Analisou-se também a vulnerabilidade climática na região considerando-se anos hidrológicos: seco, normal e chuvoso.

Na simulação dos reservatórios para um período de seis anos com a retirada de uma vazão de 11,8 m³/s, como mostram as Tabelas 6, 7 e 8 de forma a atender o Canal para as Várzeas do Município de Sousa (4 m³/s), projetos de irrigação em volta do

reservatório ($1\text{m}^3/\text{s}$), a regularização do rio Piancó ($6\text{ m}^3/\text{s}$) e o abastecimento humano ($0,8\text{ m}^3/\text{s}$), observa-se que reduções iguais ou superiores a 20 % na vazão média total afluente, oriunda do rio Piancó e das bacias hidrográficas de Emas e Aguiar, implica em perda pelo sistema na capacidade de manter os níveis de água dos dois reservatórios acima da cota de ligação.

Analisado o comportamento dos reservatórios Coremas e Mãe D'água, de forma que atenda a vazão defluente de $11,8\text{ m}^3/\text{s}$ ao longo de um ano hidrológico considerado seco, vide Tabela 9, observou-se o comprometimento da sustentabilidade hídrica dos reservatórios mesmo sem ocorrer interferências que reduzam a vazão afluente. Para o ano chuvoso extravasa água em diversas situações, vide Tabela 10.

Observou-se que num ano de pluviometria normal, vide Tabela 11, a retirada de $11,8\text{ m}^3/\text{s}$ deixa estável o sistema, ou seja numa condição de máximo aproveitamento. Qualquer alteração, quer seja na diminuição da vazão afluente ou aumento na vazão defluente comprometerá de forma proporcional a operação do reservatório.

Quanto aos benefícios econômicos gerados, verificou-se que o uso da água para irrigação gera mais benefícios que a piscicultura, pois a retirada de $1\text{ m}^3/\text{s}$ para irrigação, que significa R\$ 8.954.740,00 (oito milhões, novecentos e cinquenta e quatro mil, setecentos e quarenta reais) em termos de receita líquida anual, implica na redução de 2.225 hectares na área de espelho de água dos reservatórios possível de ser usada para piscicultura, que corresponde a uma perda de receita líquida com piscicultura de R\$ 240.249,00 (Duzentos e quarenta mil, duzentos e quarenta e nove reais).

A liberação de $4,8\text{ m}^3/\text{s}$ para a irrigação gera uma receita líquida total com os projetos de irrigação de R\$ 257.896.515,00 (duzentos e cinquenta e sete mil milhões, oitocentos e noventa e seis reais e quinhentos e quinze reais) ao final do período de seis anos de estabilização dos projetos, como mostra a Tabela 12. Tem-se também um grande fomento na economia regional o que ocasionará o desenvolvimento de outras atividades tais como serviços, lazer e comércio. Este crescimento de outras atividades seria devido ao incremento médio anual de R\$ 5.871.782,00 (cinco milhões, oitocentos e setenta e um mil, setecentos e oitenta e dois reais), conforme mostra a Tabela 12, na economia só com o pagamento de diárias aos trabalhadores nos projetos de irrigação, além de receitas advindas de muitas outras fontes como o comércio de insumos agrícolas, materiais de irrigação e outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROSOLOS ENGENHARIA LTDA. Reversão das Águas do Conjunto Coremas / Mãe D'água para as Várzeas de Sousa. Projeto Básico: Volume I. DNOCS. Fortaleza, 1993.
- MIR / SIR. Plano Diretor de Irrigação das Várzeas do Rio do Peixe. PLANGESF. Brasília, 1994.
- OLIVEIRA, E.F.C. C de. Simulação da operação e estimativa dos benefícios sócio-econômicos do reservatório Coremas / Mãe D'água sujeito a múltiplos usos. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, 1998.
- THE MATHWORKS, MATLAB. Reference Guide, 1992.

TABELAS

Tabela 1 – Sinopse Climática

Mês	Ur (%)	Vv (m/s)	T (°C)	N (h/dia)	Ev (mm)	Ps (m)	Pn (m)	Pc (m)
Jan	62	2,6	28,1	8,7	224	0,0247	0,0751	0,2453
Fev	69	2,4	27,5	8,1	171	0,0076	0,1285	0,3313
Mar	74	2,0	27,0	7,6	154	0,0291	0,1909	0,2741
Abr	74	2,6	26,5	7,9	140	0,0119	0,1490	0,3989
Mai	72	2,7	26,2	8,4	140	0,0067	0,0616	0,1246
Jun	68	3,0	25,4	8,4	139	0,0040	0,0282	0,1077
Jul	52	3,0	25,5	8,8	168	0,0049	0,0177	0,0260
Ago	59	2,6	26,4	9,5	215	0,0074	0,0228	0,0083
Set	57	3,2	27,4	9,4	233	0,0106	0,0220	0,0050
Out	56	3,3	28,0	9,7	259	0,0178	0,0207	0,0051
Nov	57	3,2	28,2	9,0	251	0,1021	0,2260	0,0048
Dez	58	2,9	28,3	9,1	232	0,0208	0,0713	0,1314

Tabela 2 – Volumes escoados mensais nos postos Fluviométricos

Mês	Emas (m3)	Piancó (m3)	Aguiar (m3)	Total (m3)
Jan	635.376	17.764.054	3.481.920	21.828.960
Fev	2.319.464	62.673.352	5.080.320	70.592.256
Mar	3.626.938	119.636.006	7.231.680	131.670.144
Abr	5.354.580	171.858.960	6.739.200	185.768.640
Mai	4.182.892	73.359.454	2.678.400	80.860.896
Jun	2.997.540	14.858.220	1.296.000	19.128.960
Jul	2.488.556	6.353.760	803.520	9.749.376
Ago	1.509.018	3.785.782	267.840	5.624.640
Set	512.400	2.049.600	259.200	2.851.200
Out	0	1.270.752	535.680	1.821.312
Nov	0	1.050.420	777.600	1.840.320
Dez	26.474	5.612.488	1.071.360	6.776.352

Tabela 3 - Funções usadas no modelo de simulação dos reservatórios

Função	Cálculo
$HCO = (VCO / 1000)^{1/3} / (8.90998)^{1/3} + 202$	Nível da água do reservatório Coremas (HCO), conhecido o seu volume (VCO)
$ACO = 5,253781 \times (HCO - 202)^{2,485718} \times 1000$	Área de espelho d'água do reservatório Coremas (ACO), conhecido o nível da água (HCO)
$VCO = 8,90998 \times (HCO - 202)^3 \times 1000$	Volume do reservatório Coremas (VCO), conhecido o nível da água (HCO)
$HMA = (VMA / 1000)^{0,2543144} / 0,697817 + 202$	Nível de água do reservatório Mãe d'água (HMA), conhecido o seu volume (VMA)
AMA = K3 x (HMA - 202) ^{N3} x 1000, onde: K3 = 0,21 e N3 = 3,351252 se HMA > 211 m K3 = 11.248 e N3 = 2 se HMA ≤ 211 m	Área de espelho d'água do reservatório Mãe d'água (AMA), conhecido o nível da água (HMA)
$VMA = 0,2429808 \times (HMA - 202)^{3,932144} \times 1000$	Volume do reserv. Mãe d'água (VMA), conhecido o nível da água (HMA)

Tabela 4 - Constantes usadas no modelo de simulação

Constante	Significado	Valor
HCN	Cota da tomada de água do canal que abastece as várzeas de Sousa	230 m
HLIG	Cota de fundo do canal de ligação dos reserv. Coremas e Mãe D'água	230 m
HS	Cota do sangradouro do sistema Coremas/Mãe D'água	245 m
HCT	Cota mínima para atender a usina hidrelétrica do reservat. Coremas	218 m
QC	Capacidade do canal (m ³ /mês)	10.7e6
COTA	Cota do fundo do Coremas / Mãe D'água em relação ao nível do mar	202 m
L	Largura do extravasor	150 m

Tabela 5 – Área possível de ser irrigada por cultura

Culturas	Área irrigável (hectares)
Abacaxi	3.101
Banana	1.550
Goiaba	1.550
Laranja	1.034
Melão	1.550
Tomate	1.550
Total	10.335

Tabela 6 - Efeitos nas variáveis hidrológicas – sem redução de vazão afluente – Período: normal

Tempo (meses)	Vol.final	Esp. Inicial (m ²)	Esp. Final (m ²)	HCO (m)	HMA (m)
12	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42
24	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42
36	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42
48	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42
60	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42
72	80 % CX	9,98 e7	1,03 Eo	242,42	242,42

Tabela 7 - Efeitos nas variáveis hidrológicas – com redução na vazão afluente de 20 % – Período: normal

Tempo (meses)	Vol.final	Esp. Inicial (m ²)	Esp. Final (m ²)	HCO (m)	HMA (m)
12	74 % CX	9,98 e7	0,94 Eo	241,33	241,33
24	68 % CX	9,66 e7	0,91 Eo	240,21	240,21
36	62 % CX	9,34 e7	0,88 Eo	239,00	239,00
48	56 % CX	9,02 e7	0,85 Eo	237,97	237,97
60	50 % CX	8,70 e7	0,82 Eo	236,65	236,65
72	44 % CX	8,38 e7	0,79 Eo	235,73	235,73

Tabela 8 - Efeitos nas variáveis hidrológicas – com redução de vazão afluente de 40 % – Período: normal

Tempo (meses)	Vol.final	Esp. Inicial (m ²)	Esp. Final (m ²)	HCO (m)	HMA (m)
12	67% CX	9,98 e7	0,87 Eo	240,31	240,30
24	54% CX	8,78 e7	0,83 Eo	238,07	238,07
36	41% CX	8,35 e7	0,79 Eo	235,83	235,83
48	28% CX	7,71 e7	0,73 Eo	233,59	233,59
60	15% CX	7,29 e7	0,69 Eo	231,35	231,35
72	-	6,67 e7	0,65 Eo	<230,00	<230,00

Tabela 9 - Efeitos nas variáveis hidrológicas - Ano seco

Condição	Vol.final	Esp. Inicial (m ²)	Esp. Final (m ²)	Ho (m)	Hf (m)	ΔH (m)
ST1C1RC	53 % CX	5,02 e7	0,72 Eo	241,93	237,00	- 4,93
ST1C2RC	51 % CX	5,02 e7	0,70 Eo	241,93	236,63	- 5,30
ST1C3RC	49 % CX	5,02 e7	0,68 Eo	241,92	236,23	- 5,69
ST1C4RC	48 % CX	5,02 e7	0,66 Eo	241,92	235,90	- 6,02
ST1C1RM	44 % CX	4,88 e7	0,98 Eo	241,98	241,75	- 0,23
ST1C2RM	42 % CX	4,88 e7	0,62 Eo	241,92	236,63	- 5,29
ST1C3RM	41 % CX	4,88 e7	0,60 Eo	241,91	236,24	- 5,67
ST1C4RM	39 % CX	4,88 e7	0,58 Eo	241,91	235,90	- 6,01

Tabela 10 - Efeitos nas variáveis hidrológicas - Ano chuvoso

Condição	Vol.Final	Esp. Inicial (m ²)	Esp. Final (m ²)	Ho (m)	Hf (m)	ΔH (m)
ST1C1RC	100% CX	5,02 e7	1,20 Eo	242,31	248,00	5,69
ST1C2RC	100% CX	5,02 e7	1,20 Eo	242,25	248,00	5,75
ST1C3RC	100% CX	5,02 e7	1,20 Eo	242,24	248,00	5,76
ST1C4RC	85 % CX	5,02 e7	1,06 Eo	242,15	243,07	0,92
ST1C1RM	100% CX	4,88 e7	1,20 Eo	242,29	248,00	5,71
ST1C2RM	100% CX	4,88 e7	1,20 Eo	242,25	248,00	5,75
ST1C3RM	100% CX	4,88 e7	1,20 Eo	242,16	248,00	5,84
ST1C4RM	84 % CX	4,88 e7	1,08 Eo	242,14	243,04	0,90

Tabela 11 - Efeitos nas variáveis hidrológicas - Ano normal

Condição	Vol. Final	Esp.Inicial - (m ²)	Esp. Final (m)	Ho(m)	Hf (m)	Δ H
ST1C1RC	80% CX	5,05e7	1,03 Eo	242,50	242,57	0,07
ST1C2RC	74% CX	5,05e7	0,96 Eo	242,50	241,45	- 1,05
ST1C3RC	67% CX	5,04e7	0,89 Eo	241,98	240,26	- 1,72
ST1C4RC	61% CX	5,03e7	0,82 Eo	241,95	238,96	- 2,99
ST2C1RC	62% CX	4,10e7	1,06 Eo	239,26	239,73	0,47
ST2C2RC	56% CX	4,07e7	0,98 Eo	239,26	238,37	- 0,89
ST2C3RC	49% CX	4,06e7	0,88 Eo	239,26	236,90	- 2,36
ST2C4RC	42% CX	4,05e7	0,79 Eo	239,26	235,26	- 4,00
ST3C1RC	45% CX	3,00e7	1,14 Eo	235,05	236,24	1,19
ST3C2RC	38% CX	2,99e7	1,00 Eo	235,05	234,50	- 0,55
ST3C3RC	31% CX	2,98e7	0,87 Eo	235,05	232,54	- 2,51
ST3C4RC	24% CX	2,97e7	0,71 Eo	234,40	230,18	- 4,22
ST1C1RM	81% CX	4,93e7	1,04 Eo	242,47	242,56	0,09
ST1C2RM	72% CX	4,93e7	0,95 Eo	242,47	241,44	- 1,03
ST1C3RM	64% CX	4,93e7	0,86 Eo	242,47	240,25	- 2,22
ST1C4RM	56% CX	3,68e7	0,77 Eo	242,47	238,96	- 3,51
ST2C1RM	63% CX	3,68e7	1,09 Eo	239,20	239,72	0,52
ST2C2RM	55% CX	3,68e7	0,97 Eo	239,20	238,37	- 0,83
ST2C3RM	47% CX	5,04e7	0,85 Eo	239,20	236,91	- 2,29
ST2C4RM	39% CX	3,68e7	0,73 Eo	239,20	235,26	- 3,94
ST3C1RM	46% CX	2,43e7	1,20 Eo	235,04	236,25	1,21
ST3C2RM	38% CX	2,45e7	1,01 Eo	235,04	234,51	- 0,53
ST3C3RM	29% CX	2,42e7	0,82 Eo	235,04	232,54	- 2,50
ST3C4RM	20% CX	2,42e7	0,63 Eo	235,04	230,19	- 4,85

Tabela 12 – Receita líquida gerada sem redução na vazão afluente ao Coremas / Mãe d'água

	Irrigação		Piscicultura		Piscicultura + Irrigação	
	(R\$)	%	(R\$)	%	(R\$)	%
Ano 1	-3.103.430	-	6.344.916	16,67	3.241.486	1,11
Ano 2	46.030.902	18,22	6.344.916	16,67	52.375.818	18,02
Ano 3	44.463.938	17,61	6.344.916	16,67	50.808.854	17,48
Ano 4	56.832.271	22,50	6.344.916	16,67	63.177.187	21,73
Ano 5	64.066.582	25,36	6.344.916	16,67	70.411.498	24,23
Ano 6	44.257.737	16,31	6.344.916	16,67	50.602.653	17,43
Total	252.548.000	100,00	38.069.496	100,00	290.617.496	100,00

Tabela 13 - Total de empregos gerados com os projetos de irrigação

	Empregos		Custo com mão-de-obra
	(diárias)	%	(R\$)
Ano 1	2.338.512	19,91	7.015.536
Ano 2	1.956.145	16,66	5.868.435
Ano 3	1.464.917	12,47	4.394.751
Ano 4	2.417.568	20,59	7.252.704
Ano 5	2.218.813	18,89	6.656.439
Ano 6	1.347.609	11,48	4.042.827
Total	11.743.564	100,00	35.230.692

Onde: Ur é a umidade relativa do ar ;

Vv é a velocidade do vento ;

T é a temperatura ;

N é a insolação em horas (h) ;

Ev é a evaporação ;

Ps é a pluviometria mensal num ano seco ;

Pn é a pluviometria mensal num ano normal ;

Pc é a pluviometria mensal num ano chuvoso ;

ST1 = reservatório com 80 % da capacidade máxima (CX) no início da operação

ST2 = reservatório com 60 % da capacidade máxima (CX) no início da operação

ST3 = reservatório com 40 % da capacidade máxima (CX) no início da operação

C1 = vazão total afluyente sem redução ;

C2 = vazão total afluyente com redução de 20 % ;

C3 = vazão total afluyente com redução de 40 %

C4 = vazão afluyente com redução de 60 % ;

RC = Reservatório Coremas ;

RM = Reservatório Mãe d'água ;

Ho = nível de água inicial ;

Hf = nível de água final ;

ΔH = acréscimo no nível de água para determinada unidade de tempo ;

Eo = Área de espelho de água inicial do reservatório ;

QP = volume mensal afluyente ao Sistema Coremas / Mãe D'água medido no posto fluviométrico de Piancó ;

QAG = volume mensal afluyente ao Sistema Coremas / Mãe D'água estimado para a bacia hidrográfica de Aguiar ;

QE = volume mensal afluyente ao Sistema Coremas / Mãe D'água medido no posto fluviométrico de Emas ;

P = pluviometria média mensal do Posto Pluviométrico de Coremas, calculada a partir de série histórica com 86 anos (1908 à 1983).

Figura 01 - Diagrama do sistema

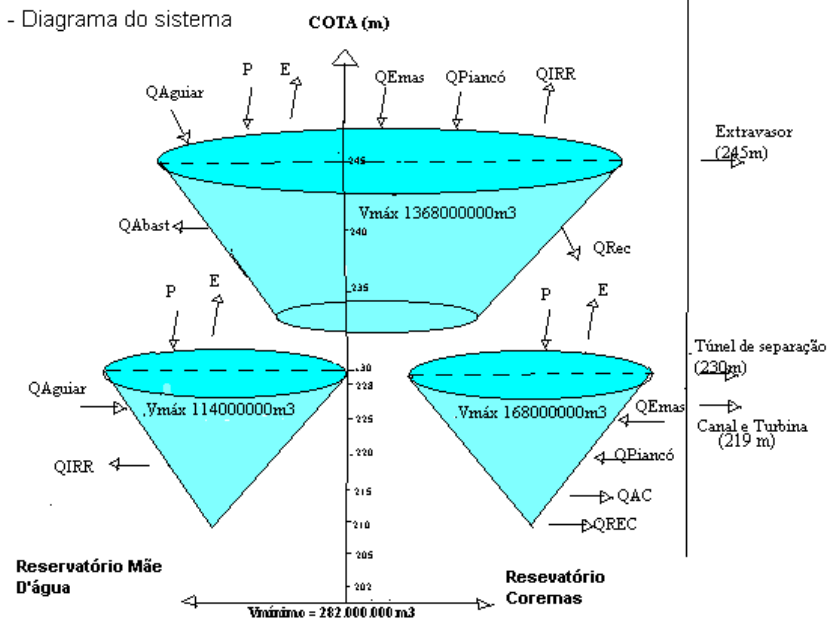


Figura 2 - Configuração do sistema estudado

