

5. APLICAÇÃO DO MODELO MULTIOBJETIVO

A análise multiobjetivo ou multicritério pela sua própria denominação, seleciona a solução de melhor compromisso ou, numa abordagem mais detalhada e segura, a solução mais robusta (considerando-se a incerteza e a subjetividade inerentes ao processo decisório) em um cenário em que há múltiplos objetivos, diferentemente das situações mais comuns com objetivo único, em que a solução ótima é obtida através da simples maximização de uma função objetivo de variáveis de decisão sujeita a restrições.

Esse tipo de análise tem uma aplicação extremamente importante na Gestão de Recursos Hídricos face a complexidade das ações envolvidas e a necessidade do atendimento simultâneo das exigências que visam à obtenção do desenvolvimento sustentável. Além disso, a análise multiobjetivo permite a eficiente inclusão de aspectos de difícil mensuração, através de escalas e medidas adequadas para cada uma das novas variáveis que passam a ser admitidas no processo decisório.

5.1 CONCEPÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO MODELO

A metodologia multiobjetivo/multicritério será desenvolvida por meio de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD), que utiliza recursos computadorizados com interface amigável que auxiliam a tomada de decisões de problemas complexos de gerenciamento de recursos naturais, hídricos, sociais, econômicos, entre outros. O Sistema permitirá aos tomadores de decisão (muitas vezes pessoas não técnicas) analisar vários cenários de desenvolvimento e entender as vantagens e desvantagens de cada alternativa.

O SSD, ao incorporar métodos multiobjetivo e multicritério, presta-se para tratar tanto dos aspectos globais do desenvolvimento sustentado quanto de suas particularidades como, por exemplo, da quantidade de água disponível na bacia e sua alocação entre os diversos usos e regiões, especialmente quando a quantidade de água vier a se constituir em objeto central dos conflitos potenciais de uso da região em análise.

O emprego desta metodologia de análise, como se verá a seguir, permitirá a determinação de uma relação hierarquizada das intervenções recomendadas, que comporão as estratégias de desenvolvimento do PERH

5.1.1 Introdução de Análise Multiobjetivo (Multicritério)¹

Dentro do processo de solução do problema de decisão, a análise multiobjetivo busca pela melhor alternativa através do julgamento e avaliação do conjunto das funções-metas (objetivos, critérios e subcritérios) e das alternativas definidas como elementos importantes para a tomada de decisão. Essa conceituação se deve ao fato de que a classificação das alternativas é feita com base em determinados critérios de avaliação e sob condições de formulação de cenários específicos que, se alterados, poderão indicar outra alternativa como melhor solução.

São técnicas baseadas na modelagem matemática e na análise matricial, com forte apoio dos avançados recursos computacionais disponíveis e diante de múltiplos objetivos.

A partir do emprego de algoritmos robustos, comprovados e testados, os tomadores de decisão podem analisar as vantagens e desvantagens do conjunto das alternativas, visando a escolha da melhor linha de ação a ser adotada, levando em consideração aspectos econômicos, técnicos, institucionais, políticos e ambientais, relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Assim, a análise multiobjetivo busca a otimização do conjunto das funções-objetivo, através de critérios e julgamento das alternativas de solução do problema. Essa conceituação se deve ao fato de que, a classificação das alternativas é feita com base em determinados critérios de avaliação (por isso também chamada de multicritérios) e sob condições e formulação de cenários específicos que, se alterados, poderão indicar outra alternativa como melhor solução.

Técnicas de análise multiobjetivo são recentes com desenvolvimento conceitual a partir de 1970 e experiências concretas nos últimos vinte anos. No caso do Brasil, em particular, essa experiência é mais incipiente ainda, pois o instrumento legal que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, gerando demanda dessas técnicas de análise, data de jan/97.

Trata-se, portanto, de técnicas que se caracterizam pela complexidade e pela controvérsia, sob determinados aspectos, mas que têm demonstrado sua validade como meios importantes de apoio à tomada de decisões na área dos recursos hídricos.

¹ Os termos objetivo e critério possuem, em geral, o mesmo sentido, dependendo do contexto.

De uma forma geral, a análise multiobjetivo utiliza como dados de entrada o objetivo global (por exemplo: o. melhor plano de gestão), o número de critérios de avaliação, e o número de alternativas. O conjunto de pesos absolutos ou relativos deve ser criado para os critérios antes ou durante o processo de decisão. O restante do procedimento para se chegar à melhor solução depende do método de análise selecionado. Por exemplo, para alguns métodos multiobjetivos, valores mínimos e máximos de cada critério são necessários, ou parâmetros de discordância entre critérios e níveis de concordância e discordância entre critérios (por exemplo: métodos PROMETHEE e ELECTRE).

Os critérios geralmente incorporados incluem aspectos técnicos, econômicos, ambientais, financeiros, jurídico/institucionais, sociais, de aceitação pública e culturais. Especificamente, para os aspectos ligados aos recursos hídricos, serão levados em consideração parâmetros e critérios hidráulicos e hidrológicos a serem utilizados no desenvolvimento do plano, tais como período de retorno das vazões de projeto utilizados no dimensionamento das obras, regime hidrológico, disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, qualidade das águas superficiais e subterrâneas, e tipo de uso (i.e.: abastecimento doméstico, dessedentação de animais, suprimento a estabelecimentos agro-industriais, irrigação social e/ou empresarial). Para a produção agrícola serão considerados aspectos de infra-estrutura e de mercado, vinculados ao sucesso do empreendimento.

5.1.2 Justificativa para a Seleção do Modelo AHP (como Modelo Multiobjetivo)

O planejamento efetivo da gestão e desenvolvimento dos recursos hídricos consta da avaliação tanto do volume de água necessário para satisfazer as diversas demandas, quanto da qualidade da água que permite seu uso múltiplo e cíclico. Em um nível estadual que inclui várias bacias hidráulicas, existe uma forte relação entre a legislação, os múltiplos conflitos de interesse dos usuários de água e entidades sociais, o espaço inadequado e a distribuição no tempo das demandas e das disponibilidades de água. Como uma atividade própria, o planejamento da água está inserido no desenvolvimento local, regional e global, e pode até ser considerado como uma parte de estruturas maiores de decisão multiobjetiva. Isto significa que planos alternativos de avaliação e/ou estratégias de gestão são usualmente baseados em critérios e objetivos extraídos de um ambiente sócio-econômico mais amplo.

Dois importantes princípios de tomada de decisão devem ser seguidos no planejamento dos recursos hídricos. O primeiro é relacionado à integração dos objetivos ambientais, econômicos e sociais na tomada de decisão. Ele é baseado na noção de que decisões com foco estreito levam a resultados pobres. O segundo princípio está relacionado à importância do envolvimento da comunidade na tomada de decisão e implica na ativa participação de grupos de múltiplos interesses. Ambos os princípios criam um complexo ambiente de decisão que envolve vários balanços de ganhos e perdas entre objetivos conflituosos, insumos de grupos de interesse e a síntese de grandes e complexos conjuntos de dados.

A tomada de decisão hierarquicamente estruturada é particularmente bem adaptada para as decisões de gestão que envolvam múltiplos e conflituosos objetivos e julgamentos humanos. Para preservar a consistência do processo de decisão e a confiança na decisão tomada, todo o processo deve ser mantido em um razoável nível de complexidade. Durante a fase de estabelecimento do problema, um conjunto razoavelmente amplo de opções deve ser especificado. Caso contrário, o tomador de decisão (TD de agora em diante, denotando qualquer pessoa tomadora de decisão) pode ficar sobrecarregado por demasiados objetivos e alternativas, e exaurido por julgamentos muito longos. A última consequência pode ser a inconsistência e a decisão errônea. A solução do problema deve ser organizada como um processo de tomada de decisão direto que permita ao TD sentir-se confortável.

Neste relatório, um método de tomada de decisão é proposto para permitir a eficiente manipulação de suficientemente grandes conjuntos de critérios, objetivos e planos de gestão de recursos hídricos alternativos, típico para regiões subdesenvolvidas ou semi-desenvolvidas, onde interesses de longo prazo (estratégicos) e de curto e médio prazo (táticos) das comunidades das bacias hidrográficas são difíceis de serem articulados em um modo organizado e consistente, mas onde exista uma óbvia necessidade de desenvolver estruturas de desenvolvimento comum aceitáveis pela maioria. O procedimento leva em consideração todos os aspectos importantes do presente PERH, seus objetivos e metas.

Para integrar todos os elementos de decisão em uma única e valiosa estrutura de tomada de decisão, uma abordagem multiobjetiva é selecionada, baseada em uma estruturação hierárquica do problema de decisão e então resolvendo-a através de uma das mais respeitadas e modernas ferramentas de apoio à decisão – O Processo de Análise Hierárquica (AHP).

5.1.3 Processo de Análise Hierárquica - AHP

Uma variedade de algoritmos e técnicas pode ser empregada no processo da tomada de decisão multi-objetiva (MODM). Quinze anos atrás, Nijkamp [1989] identificou cerca de 40 a 50 destes métodos, os quais de modos diferente dão pesos aos objetivos, classificam as alternativas e padronizam os dados. Uma das ferramentas de MODM melhor-conhecidas neste campo naquele momento era o AHP, permanecendo assim até hoje. O AHP ganhou popularidade significativa tanto na comunidade científica quanto na profissional, e há muitos relatos de aplicações na vida real, por exemplo: na avaliação de estratégias de planejamento, na alocação de recursos naturais, na melhoria de negócios, na resolução de problemas de engenharia e na avaliação de cenários de gestão. O AHP deve sua popularidade principalmente à simplicidade metodológica e matemática, e à habilidade para controlar dados qualitativos e/ou quantitativos ao mesmo tempo. A maior parte dos demais métodos, incluindo os mais conhecidos tais como PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, SMART etc., não pode fazê-lo sem pré-processar e padronizar os dados, além de normalmente induzirem a várias controvérsias.

No nível metodológico, o AHP é uma boa escolha, pois habilita ambas as atividades importantes e típicas na tomada de decisão: (1) dar pesos aos objetivos, e (2) classificar as alternativas.

No nível de implementação, o AHP habilita o tomador de decisão (TD) a se envolver em dar pesos aos objetivos e proporciona uma oportunidade para observar e entender o processo de definição de pesos. É particularmente essencial em grupos de tomadores de decisão, que os indivíduos participantes tenham experiências bastante diversas (educação, cultura, intenções, atitudes etc.).

No nível técnico, o AHP é fortemente apoiado há mais de uma década por boas aplicações de software produzidas e comercializadas através da Expert Choice Co., EUA [EC, 2000] e de seus revendedores pelo mundo, inclusive o Brasil. As aplicações estão relacionadas a dois modos principais de uso do AHP: individual e em grupo. O software é comercialmente disponibilizado com bom suporte técnico e inovações em bases contratuais.

O próprio AHP é uma metodologia completa para resolver problemas de decisão hierarquicamente estruturados. Ele obtém os julgamentos de elementos do TD em uma hierarquia e matematicamente os manipula para obter pesos de preferência

finais das alternativas de decisão com respeito à meta global. No caso mais geral, primeiramente são julgados critérios com respeito à meta global e então são usados como “metas locais” para obter os julgamentos das alternativas do TD.

O AHP decompõe um problema de multi-fator complexo primeiramente em uma hierarquia e então usa matrizes e álgebra linear para formalizar o processo de decisão. A meta global é especificada primeiro e é então progressivamente conectada em posição inferior com critérios, sub-critérios, sub-sub-critérios e assim por diante, até os nível mais baixo da hierarquia onde se encontram as alternativas. O AHP determina a prioridade de cada alternativa através da análise da matriz de julgamentos e seus autovalores e autovetores (vetores característicos). Tanto os julgamentos subjetivos quanto os objetivos são combinados em uma estrutura integrada baseada em escalas de relação de comparações judiciosas de pares simples.

O AHP original requer ao TD o uso da escala de 9-pontos, com 1 designando igual importância e 9 indicando absolutamente mais importante. O uso desta escala é controverso, porque não há nenhuma razão substantiva para que ela seja superior, por exemplo, à uma escala de 7-pontos ou de 10-pontos. Em geral, o analista de decisão pode adotar qualquer escala que maximize sua compreensão do processo de comparação. Flexibilidade semelhante existe ao se inserir pesos diretamente a elementos a certo nível de hierarquia (assumindo que eles somem 1), e depois disso, continuar a avaliação judiciosa dos pares a níveis mais baixos. Também, em aplicações de software tais como EC 2000, o programador pode inserir números diretamente e o AHP os transferirá em forma de relações. Este último caso corresponde a não lidar com qualquer escala, o que também é uma necessidade bastante comum.

5.1.4 O AHP e a Tomada de Decisão em Grupo

A simplicidade e a lógica intuitiva do AHP facilita a participação de vários tomadores de decisão e ainda estimula o seu envolvimento em sessões de “brainstorming”, as quais tendem a melhorar o raciocínio coletivo e a eficiência da decisão do grupo. Em muitos casos os acionistas aplicarão pesos aos critérios, enquanto a aplicação de pesos às alternativas tende a ser uma tarefa mais científica/técnica que é conduzida por especialistas ou analistas de decisão [Hajkowicz e Prato, 1998]. O mesmo é válido para situações de gestão, onde autoridades, delegados ou acionistas, ou todos, tomam parte em estabelecer a meta mais geral (objetivo), tal como desenvolvimento sustentável ou boa qualidade de vida, e então em definir critérios (sub-objetivos) que tenham aspectos econômicos, sociais e ambientais. O pessoal técnico e científico geralmente toma parte na proposição de alternativas no nível mais baixo da hierarquia, como possível solução para um problema. Em todos os casos, é necessário assegurar que as alternativas estejam apropriadamente relacionadas aos elementos do nível alto da hierarquia e à meta global do topo.

Duas metodologias básicas distintas são comumente usadas em tomada de decisão em grupo. A primeira é a Tomada de Decisão Multicritério (TDMC) à qual pertence o AHP; a TDMC é considerada particularmente útil em lidar com problemas de decisão estruturadas. A outra é a teoria de Escolha Social (ES) com seu sistema de votação para tomada de decisão em grupo quando a informação disponível for mínima, não confiável ou predominantemente qualitativa. A teoria de ES e seus sistemas não fazem parte do escopo destes trabalhos.

As características inerentes ao problema de decisão em grupo determinam qual metodologia deve ser usada e qual resultado deve ser esperado. Por exemplo, em aplicações de TDMC o tamanho do grupo pode se tornar crítico, pois a maioria dos métodos multicritério baseiam-se na suposição de que o princípio da homogeneidade é válido. Como em grupos maiores esta suposição pode ser violada, é indicada a formação de subgrupos baseados nas similaridades em preferências de tomada de decisão. É sugerido que isto seja aplicado quando o grupo tenha um tamanho intermediário ou grande. Entretanto, mesmo em subgrupos, alguns dos problemas relacionados a um grupo, tais como processos tediosos e consumidores de tempo para obtenção dos julgamentos, podem aparecer, e então subgrupos adicionais podem ser necessários. Por outro lado, nas aplicações da teoria de ES, o mais importante são a imparcialidade e a

manipulação do sistema de voto usado. Como é bem conhecido que nenhum dos métodos de votação seja imune à violação de ao menos um dos mais comuns critérios de imparcialidade usados, para preservar a homogeneidade do subgrupo de processo de decisão, tem-se novamente uma oportunidade de conduzir o processo de seleção de uma forma democrática (Lakeman, 1974; Cranor, 1996).

Se a metodologia TDMC deva ser aplicada em grupos de tomada de decisão, o AHP é a melhor escolha. O AHP é amplamente usado para dar suporte a tomadas de decisão individuais e em grupo, em duas versões principais, conhecidas como standard (denominada SAHP) (Saaty, 1980), e multiplicativa (denominada MAHP) (Lootsma, 1993). A primeira, o standard AHP possui forte domínio sobre a outra, e é aplicada neste projeto.

Embora o AHP seja principalmente usado em tomadas de decisão individuais, extensões para aplicações em grupo são alcançadas através do estabelecimento de dois contextos típicos de agregação. O primeiro é uma agregação de julgamentos individuais (AJI) durante o processo de decisão, e o segundo é uma agregação de prioridades individuais (API) de decisões de alternativas avaliadas, uma vez que o processo de decisão esteja finalizado. Qual método de agregação é aplicável ou deva ser usado em várias situações de tomada de decisão encontra-se sob contínua discussão na literatura (por exemplo: Ramanathan e Ganesh, 1994; Ramanathan, 2001; Cwolka e Raith, 2001; Bolloju 2001; Forman e Peniwati, 1998). Cabe mencionar também algumas das mais recentes investigações ligadas à integração de estágios independentes de sínteses de grupo e priorização no AHP em métodos tais como programação de metas (Bryson e Joseph, 1999), ou programação de preferência "fuzzy" (Mikhailov, 2003).

No contexto do grupo de tomada de decisão, o TDMC e o ES trabalham diferentemente com respeito a questões como justiça, imparcialidade ou transparência para a manipulação em vários estágios de implementação. Existem diversos relatórios indicando que o uso de diferentes métodos de TDMC (ou ES) podem facilmente declarar diferentes vencedores. Aqui, o contexto de decisão em grupo foi tratado somente no sentido do TDMC, mais particularmente no sentido do AHP e ainda mais particularmente no sentido do AHP individual. Isto é, concluiu-se que vários grupos de interesse, especialistas de projeto e consultores portam-se predominantemente como um grupo compacto que age como um tomador de decisão individual. Estes são bem preparados através de um intenso "brainstorming", discussões profundas e várias atividades de motivação.

5.1.5 A Matemática do AHP

Após decompor o problema em uma hierarquia, elementos em um dado nível da hierarquia são comparados em pares para avaliar sua relativa preferência com respeito a cada um dos elementos no próximo nível mais elevado; a mesma operação é realizada em cada nível na direção abaixo. Os termos de julgamento apresentados na primeira coluna da Tabela 1 são usados para avaliar a intensidade da preferência entre quaisquer dois elementos. No standard AHP, a escala de razão numérica (a segunda coluna da Tabela 5.1) é usada para capturar comparações verbais e facilita a atribuição de um peso para elementos quantificáveis e não quantificáveis. Em outras palavras, uma vez que o julgamento verbal esteja efetuado, eles são simplesmente traduzidos em números através da escala de Saaty.

Tabela 5.1: Escala de Saaty para comparações de elementos da hierarquia

Termo de Julgamento	Escala de Saaty (a_{ij})
Preferência absoluta (elemento i sobre o elemento j)	9
Preferência muito forte (i sobre j)	7
Forte preferência (i sobre j)	5
Fraca preferência (i sobre j)	3
Indiferença (entre i e j)	1
Fraca preferência (j sobre i)	1/3
Forte preferência (j sobre i)	1/5
Preferência muito forte (j sobre i)	1/7
Preferência absoluta (j sobre i)	1/9

Sem perder em generalidade, consideremos um modelo hierárquico simples que consiste em uma meta (G), um conjunto de critérios C_j ($j=1,2,\dots, M$), e um conjunto de alternativas A_j ($j=1,2,\dots, M$); esta hierarquia é usualmente denominada de hierarquia de 3 níveis, com a contagem de níveis de cima para baixo, como ilustrado na Figura 5.1.

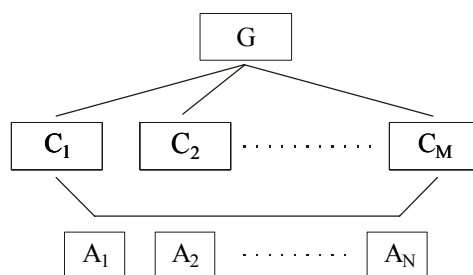


Figura 5.1. Hierarquia de critérios e alternativas

O primeiro passo para resolver o modelo é o de obter pesos para os critérios com relação à meta. Através da captura de uma sequência de $M(M-1)/2$ pares de comparações judiciosas de critérios com respeito à meta em uma escala semântica dada

na primeira coluna da Tabela 5.1, e convertendo estes julgamentos em valores numéricos a_{ij} dados na segunda coluna da Tabela 5.1, o julgamento da matriz A é criado.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & a_{MM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Esta matriz é positiva e recíproca, pois $a_{ij} = 1/a_{ji}$ e $a_{ij} = 1$ para $i, j=1, 2, \dots, M$.

Admitindo-se que o vetor $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_M)$ represente as prioridades dos critérios avaliados que aproximadamente satisfazem a proporção $a_{ji} = c_i/c_j$ para todos i e j . Os valores c_i e c_j são pesos desconhecidos de dois critérios com respeito à meta. A tarefa é determinar estes valores a fim de que a matriz A seja o mais possível aproximada da matriz C .

$$C = \begin{bmatrix} 1 & c_1/c_2 & \dots & c_1/c_M \\ c_2/c_1 & 1 & \dots & c_2/c_M \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ c_M/c_1 & c_M/c_2 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

No standard AHP um método de autovalor tradicional (eigenvector method - EVM) é usado. Provou-se que o principal autovetor da matriz de comparação pode ser usado como um vetor de prioridade para preferências consistentes e inconsistentes. O EVM é baseado no fato de que pequenas perturbações de elementos a_{ij} de perfeitas razões c_i/c_j levam a pequenas perturbações dos autovalores da matriz de comparação A em torno dos autovalores da matriz consistente A_c . Assim, o EVM é baseado na resolução da equação:

$$A\mathbf{c} = \lambda_{\max} \mathbf{c}, \quad \lambda_{\max} > M. \quad (3)$$

A efetiva computação do autovalor principal é facilmente realizada pela obtenção de consecutivos quadrados da matriz A . As somas das linhas são calculadas a cada vez e normalizadas, e o procedimento se interrompe quando a diferença entre estas somas em dois cálculos consecutivos é menor que um valor pré-determinado.

O vetor resultante $\mathbf{c}$ satisfaz a condição:



$$\sum_{i=1}^M c_i = 1 \quad (4)$$

Usando um procedimento similar, as prioridades de alternativas com respeito a todos os critérios são computadas. Isto é, $N(N-1)/2$ pares de comparações judiciosas de alternativas são obtidos no nível 3 com respeito a cada critério do nível 2. Um conjunto de M matrizes de tamanho $N \times N$ é criado e para cada matriz um vetor local de prioridades é obtido da mesma forma que o anterior.

Seja x_{ij} a prioridade local da alternativa A_i com respeito ao critério C_j , então o peso final z_i a alternativa A_i (considerando todos os critérios) é aditivamente agregado:

$$z_i = \sum_{k=1}^M c_k x_{ik} \quad (5)$$

O resultado final é o vetor $z = (z_1, z_2, \dots, z_N)$ composto de pesos para as alternativas na base da hierarquia com respeito à meta no topo da hierarquia.

O maior valor em z é associado com a “melhor alternativa”, e o menor com a “pior alternativa”. Desta forma o standard AHP é concluído.

5.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E MATRIZES DE PESOS RELATIVOS

5.2.1 Critérios de Avaliação

Os critérios adotados para a avaliação dos cenários de gestão integrada da oferta e das demandas de água foram: **Benefícios Sociais**, **Critérios Econômicos** e **Critérios Ambientais**. Para possibilitar uma análise mais profunda e particular com respeito a aspectos específicos contidos em cada um dos cenários selecionados, os critérios foram desmembrados em sub-critérios, conforme apresentado abaixo.

C1 - Benefícios Sociais

- IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
- TMI - Taxa de mortalidade infantil
- POE - Pessoal ocupado no setor formal da economia

C2 - Critérios Econômicos

- DIN - Dinamização da economia na fase de construção
- DES - Desenvolvimento regional induzido pela irrigação
- CUS - Custos anuais

C3 - Critérios Ambientais

- QAG - Qualidade da Água (redução da carga de DBO)
- IAO - Impacto ambiental das obras (área inundada)
- IAI - Impacto ambiental da irrigação (expansão da área irrigada)

As justificativas para a seleção dos critérios acima mencionados e a inclusão de subcritérios foi apresentada no capítulo anterior relativo à macro avaliação dos cenários quanto aos aspectos social, econômico e ambiental, e foram assim considerados por terem uma significativa importância para validar os cenários de uma forma multicriterial e para a seleção final daquele que é o mais desejável para o Plano.

5.2.2 Cenários Avaliados

Deve-se lembrar que a meta geral da análise multiobjetivo é a de selecionar o “melhor” ou “mais desejado” cenário através do uso de um conjunto de critérios de avaliação justificados e seus subcritérios, conforme apresentado no item 5.2.1. Em uma estrutura de análise multicritério, tal como esta alinhada com a metodologia AHP, os cenários têm um papel de alternativas de decisão discreta. Os cenários foram descritos em detalhes no capítulo 4 deste relatório. Somente breves características são aqui repetidas para permitir uma clara apresentação da metodologia de avaliação e dos resultados do processo de tomada de decisão.

O conjunto de alternativas avaliadas é composto de 4 cenários, como se segue:

- **A1 - Cenário 1 (Tendencial)**
 - Não são feitas obras hidráulicas para aumento da oferta de água além das já programadas - Oferta Tendencial.
 - As demandas crescem segundo um Cenário Tendencial, sem gestão.
 - Os déficits por ventura encontrados em 2020 resultarão numa diminuição de áreas previstas de serem irrigadas.
- **A2 - Cenário 2 (Tendencial com Gestão de Demandas)**
 - Não são feitas obras hidráulicas para aumento da oferta de água além das já programadas - Oferta Tendencial.
 - É feita a gestão do uso da água buscando reduzir ao máximo as demandas - Cen. Desejado 2.
 - Os déficits por ventura encontrados em 2020 resultarão numa diminuição de áreas previstas de serem irrigadas.
- **A3 - Cenário 3 (Gestão da Ofertas e das Demandas (1))**
 - É feita a gestão do uso da água buscando reduzir as demandas - Cen. Desejado 1.

– São feitas obras hidráulicas visando atender todos os déficits.

• **A4 - Cenário 4 (Gestão da Oferta e das Demandas (2))**

– É feita a gestão do uso da água reduzindo ao máximo as demandas - Cen. Desejado 2.

– São feitas obras hidráulicas visando atender todos os déficits.

Observe-se que no Cenário 4 a redução das demandas é maior que a redução no Cenário 3, desta forma a quantidade de obras hidráulicas para aumento da oferta hídrica é inferior no Cenário 4.

5.3 HIERARQUIA DO MODELO DE TOMADA DE DECISÃO

A estruturação do problema de decisão tal como apresentada no item 5.2 leva a uma hierarquia de 4 níveis, como apresentada na Fig. 5.2. O nível mais alto consiste somente da Meta Global – “Escolher o melhor cenário”, o segundo contém três critérios de avaliação principais denominados ‘Benefícios Sociais’, ‘Critérios Econômicos’ e ‘Critérios Ambientais’, o terceiro nível contém para cada critério um conjunto de três diferentes subcritérios, e o quarto nível final é composto de quatro cenários. Observe-se que a hierarquia de decisão tem $1+3+9+4 = 17$ elementos e ela é completa.

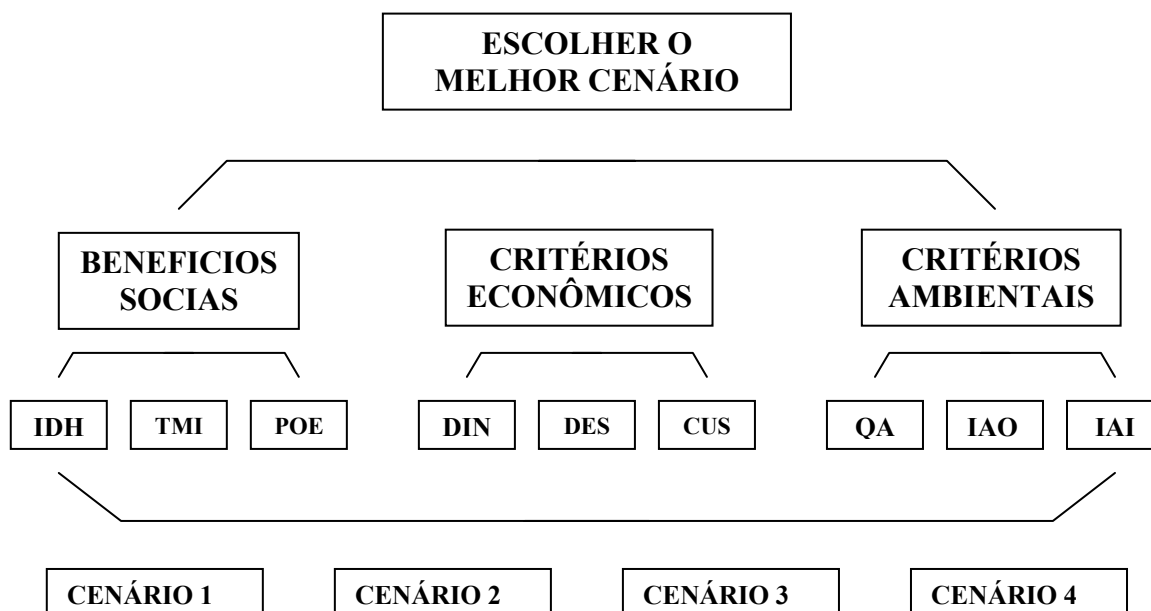


Figura 5.2. Hierarquia do modelo

5.4 APLICAÇÃO DO MODELO

A aplicação do modelo de análise multicriterial foi organizada como um processo de três fases sucessivas, envolvendo especialistas do Consórcio e tomadores de decisão do governo estadual, como se verá a seguir.

5.4.1 Metodologia de Julgamento: Tomada de Decisão Participativa

Na **Fase 1** da aplicação do modelo, especialistas envolvidos no projeto realizaram o processo de julgamento. Eles avaliaram a importância dos sub-critérios no terceiro nível de hierarquia (Fig.5.2) e então julgaram todos os 4 cenários com respeito a cada sub-critério. Ao se julgarem os cenários, foram envolvidos os melhores conhecimentos e propósitos da equipe de especialistas para dar pontos aos mesmos e assim obter as estruturas de preferência locais, isto é, os pesos dos cenários com respeito a todos os sub-critérios. Desta forma foram obtidos os dados necessários para a síntese final.

Para realizar a **Fase 2** do processo de decisão, uma reunião foi organizada na sede da Superintendência de Recursos Hídricos (SRH/BA). Ela foi combinada com um workshop que serviu para apresentar todos os elementos de decisão importantes do processo, bem como uma descrição completa dos cenários que deveriam ser ordenados conforme a metodologia AHP de hierarquização dos cenários de gestão de recursos hídricos. Após uma detalhada descrição da hierarquia global e discussão sobre a metodologia para efetuar os julgamentos, um questionário foi entregue a um total de 15 representantes de vários setores de órgãos estaduais ligados à questão da gestão da água. Eles utilizaram a escala de 9-pontos de Saaty para avaliar a importância mútua de três grupos de critérios no nível mais alto de hierarquia (ver a Fig. 5.3). Através da agregação dos valores de julgamento recolhidos foram obtidos os pesos dos critérios. Desta forma a Fase 2 foi concluída.

Na **Fase 3** final, a síntese do AHP foi realizada e os pesos finais dos cenários (com a ordenação imposta) foram obtidos e apresentados a todos os participantes do processo de decisão.

Para executar a tarefa e selecionar o cenário de gestão mais desejado, a Tabela 2 foi utilizada para apresentar a todos os participantes do processo de decisão (especialistas e representantes do governo) as principais características dos cenários com relação aos conjuntos de critérios e sub-critérios selecionados. Observe-se que todos os números representam uma síntese final dos dados extraídos da documentação do projeto e interpretados por especialistas e consultores envolvidos em cada esfera particular de tomada de decisão, em particular nas áreas social, econômica e ambiental.

Tabela 5.2: Principais elementos de decisão : critérios, sub-critérios e alternativas (cenários)

VARIÁVEIS		CENÁRIOS			
		1	2	3	4
		Tendencial	Só com gestão de demandas	Desejado 1	Desejado 2
Critérios Sociais					
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano	0,797	0,901	0,866	0,901
TMI	Nº de mortes em 1000 nascidos vivos	37	34	36	34
POE	P.O. em 1999 : 1.272.610 = 100	120	125	130	130
Critérios Econômicos					
DIN	10% do custo médio de obras por ano (Milhões de R\$)	54.0	62.3	73.0	72.3
DES	Renda líquida anual da irrigação adicional (Milhões de R\$)	507.9	1.306,5	987,5	1.,424,2
CUS	Custos anuais totais das intervenções (Milhões de R\$)	374	984	858	1.140
Critérios Ambientais					
QAG	Redução da carga de DBO (ton/dia)	0	184	146	184
IAO	Área inundada (km ²)	59,1	59,1	252,3	209,5
IAI	Área irrigada incremental (mil hectares)	460	472	509	509

5.4.2 Fase 1: Avaliação de Sub-Critérios e Cenários

Os julgamentos e resultados obtidos pelo modelo AHP, fruto da análise, dos especialistas envolvidos na elaboração do PERH, com vistas a determinar a importância relativa dos subcritérios selecionados, são apresentados nas Tabelas 5.3 a 5.12, a seguir.

• BENEFÍCIOS SOCIAIS

Tabela 5.3: Julgamentos e pesos de subcritérios sociais

Sub critérios	IDH	TMI	POE	PESOS
IDH	1	3	9	0,672
TMI		1	5	0,265
POE			1	0,063

Tabela 5.4: Julgamentos e pesos locais de cenários para sub-critérios sociais

	A1	A2	A3	A4	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS
A1	1	1/9	1/5	1/9	0,037	A1	1	1/9	1/5	1/9	0,035	A1	1	1/4	1/5	1/5	0,062
A2		1	5	1	0,424	A2		1	5	1	0,390	A2		1	1/3	1/4	0,152
A3			1	1/5	0,114	A3			1	1/9	0,095	A3			1	1	0,375
A4				1	0,424	A4				1	0,479	A4				1	0,411

IDH

TMI

POE

Tabela 5.5: Pesos de cenários para grupo de critérios sociais

CENÁRIOS	PESOS p/ Benefícios Sociais
A1 - Cenário 1 – Tendencial	0,038
A2 - Cenário 2 - Tendencial com Gestão de Demandas	0,398
A3 - Cenário 3 - Gestão da Oferta e das Demandas (1)	0,125
A4 - Cenário 4 - Gestão da Oferta e das Demandas (2)	0,438

• CRITÉRIOS ECONÔMICOS

Tabela 5.6: Julgamentos e pesos de sub-critérios econômicos

Sub critérios	DIN	DES	CUS	PESOS
DIN	1	1/9	1/9	0,053
DES		1	1	0,474
CUS			1	0,474

Tabela 5.7: Julgamentos e pesos locais de cenários para sub-critérios econômicos

	A1	A2	A3	A4	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS
A1	1	1/2	1/3	1/3	0,109	A1	1	1/4	1	1/4	0,100	A1	1	3	4	5	0,558
A2		1	1/2	1/2	0,189	A2		1	4	1	0,400	A2		1	1	2	0,184
A3			1	1	0,351	A3			1	1/4	0,100	A3			1	1	0,144
A4				1	0,351	A4				1	0,400	A4				1	0,114

DIN

DES

CUS

Tabela 5.8: Pesos de cenários para grupo de critérios econômicos

CENÁRIOS	PESOS p/ Critérios Econômicos
A1 - Cenário 1 - Tendencial	0,318
A2 - Cenário 2 - Tendencial com Gestão de Demandas	0,286
A3 - Cenário 3 - Gestão da Oferta e das Demandas (1)	0,134
A4 - Cenário 4 - Gestão da Oferta e das Demandas (2)	0,262

• CRITÉRIOS AMBIENTAIS

Tabela 5.9: Julgamentos e pesos de subcritérios ambientais

Sub critérios	QAG	IAO	IAI	PESOS
QAG	1	4	3	0,625
IAO		1	1/2	0,136
IAI			1	0,238

Tabela 5.10: Julgamentos e pesos locais de cenários para sub-critérios ambientais

	A1	A2	A3	A4	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS		A1	A2	A3	A3	PESOS
A1	1	1/7	1/5	1/9	0,042	A1	1	1	4	4	0,400	A1	1	2	3	3	0,455
A2		1	3	1/2	0,312	A2		1	4	4	0,400	A2		1	2	2	0,263
A3			1	1/4	0,141	A3			1	1	0,100	A3			1	1	0,141
A4				1	0,505	A4				1	0,100	A4				1	0,141

QAG

IAO

IAI

Tabela 5.11: Pesos de cenários para grupo de critérios ambientais

CENÁRIOS	PESOS p/ Critérios Ambientais
A1 - Cenário 1 - Tendencial	0,189
A2 - Cenário 2 - Tendencial com Gestão de Demandas	0,312
A3 - Cenário 3 - Gestão da Oferta e das Demandas (1)	0,136
A4 - Cenário 4 - Gestão da Oferta e das Demandas (2)	0,363

• TODOS CRITÉRIOS SEM SÍNTESE FINAL

É importante observar que os cenários estão diferentemente ordenados com respeito aos vários grupos de critérios o que claramente indica uma estrutura de conflito do problema de decisão. Todos os resultados importantes da Fase 1 estão resumidos na

Tabela 5.12. Para os conjuntos globais de critérios Social e Ambiental o primeiro colocado é o Cenário 4, enquanto para o grupo de critério econômico o melhor é o Cenário 1.

Tabela 5.12: Pesos de cenários para todos os grupos de critérios

CENÁRIOS	PESOS		
	Benefícios Sociais	Crítérios Econômicos	Crítérios Ambientais
A1 - Cenário 1 - Tendencial	0,038	0,318	0,189
A2 - Cenário 2 - Tendencial com Gestão de Demandas	0,398	0,286	0,312
A3 - Cenário 3 - Gestão da Oferta e das Demandas (1)	0,125	0,134	0,136
A4 - Cenário 4 - Gestão da Oferta e das Demandas (2)	0,438	0,262	0,363

Observe-se também que o Cenário 2 permanece em todos os casos na segunda posição, o que pode ter uma certa influência no resultado final.

5.4.3 Fase 2: Avaliação de Critérios

Nesta fase do processo, os tomadores de decisão do governo estadual, seguindo a metodologia padrão AHP, compararam em pares todos os elementos do segundo nível de hierarquia para se obter a importância dos '**Benefícios Sociais**', '**Critérios Econômicos**' e '**Critérios Ambientais**' com respeito à meta global de "**Selecionar o melhor Cenário**", Figura. 5.3.

Desta forma, em cada posição da matriz de julgamento foram gerados 15 valores numéricos da escala de Saaty. A agregação dos julgamentos individuais possibilitou a criação da "matriz de julgamento em grupo" apresentada na tabela 5.13.

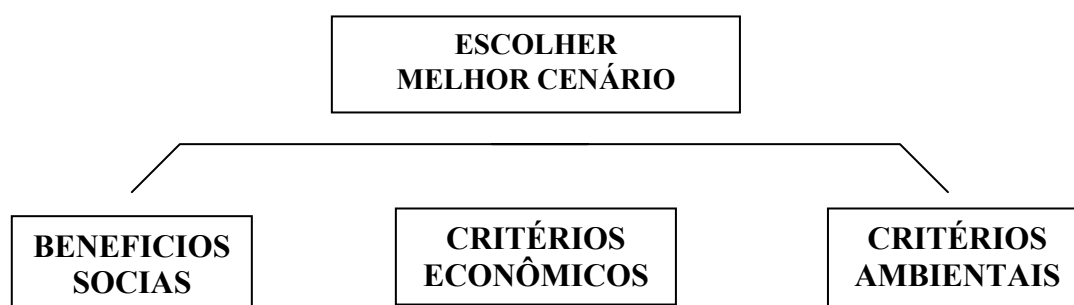


Figura 5.3. Níveis 1 e 2 da hierarquia

Tabela 5.13 - Julgamento em grupo dos critérios

Critérios	C1	C2	C3	PESOS
C1	1	2.58	2.70	0.555
C2		1	2.69	0.295
C3			1	0.150

C1 - Benefícios Sociais; C2 - Critérios Econômicos; C3 - Critérios Ambientais.

O programa AHP por sua vez computou os seguintes pesos relativos:

- $wC1 = 0,555$ (Benefícios Sociais)
- $wC2 = 0,295$ (Critérios Econômicos)
- $wC3 = 0,150$ (Critérios Ambientais)

A inconsistência do “grupo” de 0,10 é considerada aceitável. Obviamente o mais importante é o grupo de benefícios sociais com peso relativo de 55%, seguido pelo grupo de critérios econômicos (30%), e finalmente o grupo de critérios ambientais (15%).

5.4.4 Fase 3: Síntese Final

Utilizando-se os dados da Fase 1 (Avaliação de subcritérios e cenários) e os pesos dos critérios da Fase 2 (Avaliação de critérios), a síntese final do AHP produziu os pesos finais dos cenários com respeito à meta global (Escolher o melhor cenário), através de todos os grupos de critérios e subcritérios. O resultado final é apresentado na Tabela 5.14.

Tabela 5.14: Pesos Finais dos cenários : (síntese do AHP)

CENÁRIOS	PESOS FINAIS
Cenário 1 - Tendencial	0,143
Cenário 2 - Tendencial com Gestão de Demandas	0,352
Cenário 3 - Gestão da Oferta e das Demandas (1)	0,129
Cenário 4 - Gestão da Oferta e das Demandas (2)	0,375

O índice de inconsistência total é de 0,05, o que significa um processo de julgamento competente e a confiabilidade no resultado final.

5.5 SELEÇÃO DO CENÁRIO OBJETIVO DO PERH

O modelo multiobjetivo criado (Figura 5.2) apoiado em todos os dados e informações do Plano, e a aplicação da metodologia AHP em sua completa extensão levou ao resultado final,

"O MELHOR CENÁRIO É O CENÁRIO 4"

O Cenário assim selecionado permitirá que se atinja o pleno desenvolvimento sócio econômico projetado pelo Plano Estratégico da Bahia, eliminando todas as restrições hídricas identificadas. Além disso, dos cenários estudados é aquele que apresenta o maior índice de desenvolvimento econômico e os maiores indicadores sociais de qualidade de vida.

Cabe lembrar que para se atingir o Cenário Objetivo do PERH-BA é necessário que se faça uma séria campanha de conscientização da sociedade no sentido de reduzir os desperdícios utilizando os recursos hídricos de forma racional.

Deverá ser incentivado o reuso da água nas indústrias e o emprego, na atividade hidroagrícola, de métodos de irrigação de maior eficiência e de cultivos menos exigentes, principalmente nas áreas mais carentes de recursos hídricos.

O aumento da oferta hídrica será obtido com o aumento da exploração da água subterrânea, principalmente para atender o abastecimento humano, animal e pequenos projetos de irrigação, nas áreas de aquíferos de maior potencialidade e através da construção de barragens em locais estratégicos.

Deverão ser tomadas ainda uma série de medidas de preservação dos recursos naturais através da redução da carga poluidora afluyente aos cursos d'água, da recuperação dos mananciais e da preservação da cobertura vegetal, principalmente da mata ciliar.

5.6 OTIMIZAÇÃO DO CENÁRIO ESCOLHIDO

Uma vez escolhido o Cenário 4 como sendo o mais adequado para a gestão dos recursos hídricos de forma a garantir o desenvolvimento socioeconômico proposto no Plano Estratégico do Estado da Bahia para o ano 2020, procederam-se alguns ajustes com o fim de otimizar a implementação das infra-estruturas de oferta de água, minimizar o montante dos investimentos e melhorar a sua distribuição ao longo do tempo. Para tal, considerou-se as características individuais das obras e informações finais sobre algumas barragens, revisou-se as áreas passíveis de serem irrigadas, distribuição espacial dos poços e outras obras.

Os ajustes realizados no cenário escolhido visam diminuir os investimentos e, ao mesmo tempo, distribuí-los de forma que não sobrecarreguem os primeiros anos de implementação do PERH e, ao mesmo tempo, venham a facilitar a implementação dos Programas.

Pare efeito desta otimização, mantiveram-se todas as demandas consuntivas e não consuntivas. Ao final, em função da limitação no aumento das disponibilidade hídrica ajustaram-se as demandas de irrigação através da diminuição de algumas áreas irrigadas.

De maneira geral, os ajustes realizados melhoraram ainda mais a posição do Cenário 4 em relação aos demais cenários.

5.6.1 Otimização da Seleção dos Reservatórios

A distribuição dos reservatórios proposta para o Cenário 4, aliada com a perfuração de poços, visava o atendimento de todas as demandas hídricas mesmo que isto implicasse elevados custos de investimento. Atendidas estas premissas preconizou-se a implantação das barragens e dos poços utilizados para a escolha do Cenário mas adequado para a implementação do PERH.

De posse dos resultados obtidos, verificou-se que em algumas bacias (Rios Salitre e Verde) havia a possibilidade de reduzir a ativação de água superficial (mantendo os atendimentos) enquanto, no caso da UB do Alto Rio de Contas, havia a necessidade de revisar os níveis de oferta em função da redefinição da barragem de Cristalândia.

Ajustaram-se então, para estes casos, as quantidades de reservatórios propostos, conciliando a oferta de água de superfície com a de água subterrânea e restringindo as áreas irrigadas onde houvesse impossibilidade de atendimento através das obras propostas, minimizando os investimentos necessários. Mantiveram-se os reservatórios programados pelo governo do estado para o período 2000 a 2020.

A primeira bacia a ser reexaminada foi a do Rio Salitre onde haviam sido propostos três novos reservatórios (Tábua, Vereda do Saquinho e Cerrado Santo). Como os dois últimos somados regularizavam apenas cerca de 0,14 m³/s, a um custo de aproximadamente 21 milhões de reais, optou-se por eliminá-los. O atendimento destas demandas poderá ser realizado através de poços tubulares distribuídos na região, onde predomina o substrato calcário. Como, neste aquífero, a água ocorre em quantidades razoáveis, considerou-se vantajosa esta substituição por exigir menores investimentos e por permitir a oferta de água de forma mais bem distribuída espacialmente.

Na bacia do rio Verde foram propostos inicialmente os reservatórios Velame e Uibaí que poderiam regularizar cerca de 0,47 m³/s a um custo de 52,6 milhões de reais. Eliminando o reservatório de Uibaí deixarão de ser ofertados cerca de 0,25 m³/s enquanto que seriam economizados cerca de 32,8 milhões de reais. Também neste caso, o suprimento das demandas que eram atendidas pelo reservatório eliminado serão atendidas através da perfuração de poços adicionais. Como nesta região predomina o aquífero calcário, a quantidade de água disponível para ativação é significativa e permitirá uma melhor distribuição espacial das vazões ativadas a um custo significativamente

menor.

Na sub-bacia do Alto Rio de Contas (UB-9.1), verificou-se a ocorrência de grandes demandas hídricas até o ano 2020 as quais eram atendidas com as infra-estruturas inicialmente propostas. Entretanto, face à quantidade de reservatórios necessários e à confirmação pela SRH de que a barragem de Cristalândia será construída com dimensões menores do que as previstas inicialmente pelo PERH, revisou-se os estudos realizados de forma a dispor de maiores garantias de atendimento das demandas. Nesta revisão consideraram-se os seguintes aspectos:

- a barragem de Cristalândia passará a ter 25 m de altura ao invés dos 32 m anteriormente previstos, regularizará cerca de 0,74 m³/s e custará cerca de 23,87 milhões de reais;
- como a capacidade de Cristalândia diminuiu ocasionando uma redução na vazão regularizada de 3,36 m³/s para 0,74 m³/s, houve a necessidade de se prever a implantação de uma nova barragem sobre o Rio de Contas denominada de João Vaz a qual permitirá a regularização de 2,1 m³/s, terá 35 m de altura e custará cerca de 44,6 milhões de reais;
- recalculou-se as vazões médias afluentes para as barragens desta sub-bacia (Piatã, Campinas, João Vaz e Cristalândia), utilizando-se critérios mais conservadores e calculando-se as vazões incrementais para cada barragem;
- a vazão regularizada total pelos quatro reservatórios sob as novas condições de afluência é da ordem de 6,36 m³/s;
- os custos para implementação destas obras aumentaram atingindo cerca de 167,13 milhões.

Ainda na bacia do Rio de Contas, especificamente na UB 9.1.g, verificou-se que o comprimento da barragem de Iguatemi poderá ser menor (1.300 m), mantendo praticamente inalterada a sua capacidade de armazenamento e reduzindo o seu custo para 39,30 milhões de reais.

Além das alterações acima, as revisões realizadas preconizaram a eliminação de três reservatórios (nas bacias dos Rios Salitre e Verde) e a implantação um novo na

bacia do rio de Contas.

Em decorrência das otimizações acima descrita, são apresentados a seguir as caracterizações finais dos reservatórios, os critérios de cálculo e os resultados obtidos.

• Localização das obras

Após confirmados os locais dos reservatórios, posicionou-se os eixos destas obras em mapas na escala 1:100.000 e estimou-se as respectivas bacias de drenagem, conforme mostrado na Tabela 5.6.1, apresentada adiante.

• Cálculo das vazões médias afluentes às barragens

Para a estimativa das vazões médias (Q_m) afluentes às barragens utilizaram-se as equações de regionalização sempre que os resultados se mostrassem consistentes. Quando, em função de peculiaridades climáticas, isto não ocorreu utilizou-se vazões específicas ($l/s.km^2$) observados em obras próximas situadas em regiões climáticas de características semelhantes e multiplicou-se pela área de drenagem (Ad) obtendo-se a Q_m utilizada nos cálculos posteriores.

Assim, o cálculo das vazões médias (Q_m) afluente para cada barragem foi realizado conforme mostrado na Tabela 5.6.1.

Tabela 5.6.1 - Localização, área de drenagem e vazões médias afluentes às barragens

Açudes / Barragens	Localização						Área de drenagem (Ad), em km²	Parâmetros de cálculo da vazão média (Qm) e específica (Qe) afluentes às barragens	Vazão média (m³/s)
	Latitude			Longitude					
	o	'	"	o	'	"			
Piatã	13	42	16	41	42	15	275,0	Qm = (119,0632/1000)*(Ad^0,5317)	2,359
Campinas	13	26	29	41	35	52	1.160,0		2,712
João Vaz	13	43	7	41	35	18	2.754,0		2,960
Cristalândia	13	57	36	41	28	18	3.518,0		1,117
São Timóteo	13	51	12	42	12	22	154,0	Qe = 0,00112 (Qe 50% superior à Qe do rio do Paulo na barrag. do DNOCS)	0,275
Iguatemi	13	58	22	41	48	8	4.150,0	Qe = 0,00075 (63% de Qe do R do Paulo na barrag. do DNCS)	3,099
Jiló	13	30	34	41	50	48	160,0	Qe = 0,0018 (Qe 50% superior à Qe do rio do Paulo na barrag do DNOCS)	0,286
Itanagé	13	42	16	42	1	7	135,0		0,241
Faz. Palmito	14	32	37	42	30	28	64,0		0,114
São João	14	39	44	42	21	9	447,3		0,800
Faz Tanque	14	27	37	42	1	33	420,0	Qe = 0,00102 (Qe do rio do Salto na barragem do Truvisco)	0,428
Imbé	14	27	45	41	57	51	480,0		0,489
Brejo da Gameleira	14	57	31	42	27	39	930,0		0,949
Rio Seco	14	58	35	42	5	10	440,0		0,449
S. Domingos	14	39	8	42	47	3	368,0	Qe = 0,00225 (Qe do rio Verde Pequeno na barragem do Estreito)	0,828
Lagoa da Torta	13	42	43	42	39	37	1.049,0	Utilizou-se Qm fornecida pelo Plano Diretor da Região de Paramirim	0,572
Boa Vista	13	2	49	42	13	22	1.266,0		2,120
Tábua	11	22	0	41	1	40	796,0	Qe = 0,00085 (Qe média entre as Qe do rio da Caixa em Boa Vista e do rio Verde em Mirirós)	0,677
Poço Grande	11	52	51	42	3	59	2.056,3		1,748
Velame	11	31	47	42	11	6	740,0		0,444

No caso da sub-bacia do alto Rio de Contas, onde os reservatórios funcionam “em cascata”, uma vez obtida a Q_m a partir da área de drenagem acumulada, calculou-se a Q_m incremental para cada reservatório. Os resultados estão mostrados na Tabela 5.6.3, adiante.

- **Cálculo do volume de armazenamento do reservatório**

Após definido o eixo da barragem, calculou-se o volume de armazenamento máximo do reservatório (V_r) arbitrando-se alturas do maciço e medindo-se a área alagada. O volume armazenado foi estimado através da relação:

$$V_r \text{ (hm}^3\text{)} = h/3 * (A_1 + A_2 + (A_1 * A_2)^{0,5}) / 1.000.000, \text{ onde :}$$

- A_1 e A_2 = áreas máximas e mínimas da seção considerada do lago, em m^2 ;

- h = altura do maciço, em m.

O volume anual (V_a) de água produzida pelo bacia de drenagem de cada reservatório foi calculado por:

$$V_a \text{ (hm}^3\text{/ano)} = Q_m * (365 * 86400) / 1.000.000$$

- **Cálculo índice anual de regularização**

Definido o V_a , calculou-se o Índice Anual de Regularização (IAR) definido por:

$$\text{IAR (anos)} = V_r / V_a$$

Este índice representa o número de anos necessários para o enchimento de cada reservatório a partir das dimensões obtidas anteriormente. Considerou-se que para as condições climáticas médias da Bahia, a fim de evitar problemas de superdimensionamento, o $\text{IAR}_{\text{máx}}$ é da ordem de 2,05. Por segurança, corrigiu-se o IAR obtido para cada caso de forma que o valor de V_r / V_a resultante nunca fosse superior a 2,0.

A partir do índice IAR corrigido calculou-se o volume máximo do reservatório para as condições de afluência de cada local barrado.

- **Cálculo da vazão regularizada**

Estimou-se a vazão regularizada (Q_r) a partir das relações Q_r/Q_m obtidas através da regionalização hidrológica. As curvas obtidas têm a seguinte forma geral:

$$Q_r/Q_m = k_1 \cdot (V_{rc}/V_a) + K_2$$

onde: V_{rc}/V_a corresponde ao índice anual de regularização corrigido (IAR_c);

k_1 e k_2 coeficientes das equações da regionalização da vazão regularizada.

As relações obtidas para os diferentes reservatórios estão mostradas na Tabela 5.6.2.

Tabela 5.6.2 - Relações Q_r/Q_m para os reservatórios propostos.

Barragens	Q_r/Q_m
Piatã, Campinas, João Vaz, Cristalândia, São Timóteo, Iguatemi, Jiló, Itanagé, Faz. Palmito, São João, Faz. Tanque e Imbé	$0,3984 \cdot IAR_c + 0,2566$
Brejo da Gameleira e Rio Seco	$0,2833 \cdot IAR_c + 0,173$
São Domingos, Lagoa Torta, Boa Vista, Poço Grande e Velame	$0,1684 \cdot IAR_c + 0,2523$
Tábua	$0,5025 \cdot IAR_c + 0,2523$

Admitiu-se que as relações Q_r/Q_m , não deveriam exceder ao valor 0,70 para as condições hidrológicas das bacias do rio de Contas e no Alto Salitre e 0,50 para as condições hidrológicas da região Semi-Árida. Em função disto corrigiu-se os valores que excedessem a este limite para o posterior cálculo da Q_r , conforme mostrado na Tabela 5.6.3.

Tabela 5.6.3 - Parâmetros de dimensionamento e características das barragens

Reservatórios / Barragens	Altura do maciço (m)	Compr. da crista (m)	Área alagada (km²)	Volume do reserv. (Vr), em hm³	Bacia de drenag. (km²)	Qm increm (m³/s)	Va (hm³/ano)	IAR = Vr/Va	Vr/Va corrig.	Vr corrig. (hm³)	Qr/Q	Qr/Q corrig.	Qr (m³/s)
Piatã	50	750	9,0	150,0	275,0	2,359	74,4	2,0	2,0	148,8	1,1	0,7	1,65
Campinas	25	1300	17,5	145,8	1.160,0	2,712	85,5	1,7	1,7	145,8	0,9	0,7	1,90
João Vaz	30	1350	12,0	120,0	2.754,0	2,960	93,3	1,3	1,3	120,0	0,8	0,7	2,07
Cristalândia	20	920	3,6	36,0	3.518,0	1,117	35,2	1,0	1,0	36,0	0,7	0,7	0,74
São Timóteo	25	280	2,4	20,0	154,0	0,275	5,4	3,7	2,0	10,9	1,1	0,7	0,19
Iguatemi	20	1300	8,8	58,3	4.150,0	3,099	97,7	0,6	0,6	58,3	0,5	0,7	1,53
Jiló	25	150	0,9	7,5	160,0	0,286	9,0	0,8	0,8	7,5	0,6	0,7	0,17
Itanagé	25	400	1,0	16,7	135,0	0,241	7,6	2,2	2,0	15,2	1,1	0,7	0,17
Faz. Palmito	30	350	0,5	5,3	64,0	0,114	3,6	1,5	1,5	5,3	0,8	0,7	0,08
São João	25	850	3,5	29,2	447,3	0,800	25,2	1,2	1,2	29,2	0,7	0,7	0,56
Faz Tanque	25	800	4,5	37,5	420,0	0,428	13,5	2,8	2,0	27,0	1,1	0,7	0,30
Imbé	25	1000	6,7	55,8	480,0	0,489	15,4	3,6	2,0	30,9	1,1	0,7	0,34
Brejo da Gameleira	30	650	15,0	150,0	930,0	0,949	29,9	5,0	2,0	59,8	0,7	0,7	0,66
Rio Seco	25	400	4,0	33,3	440,0	0,449	14,2	2,4	2,0	28,3	0,7	0,7	0,31
S. Domingos	30	870	5,5	55,0	368,0	0,828	26,1	2,1	2,0	52,2	0,5	0,7	0,45
Lagoa da Torta	25	1042	4,8	40,0	1.049,0	0,572	18,0	2,2	2,0	36,1	0,5	0,7	0,31
Boa Vista	40	620	8,6	114,8	1.266,0	2,120	66,9	1,7	1,7	114,8	0,5	0,7	1,05
Tábua	25	950	3,8	31,7	796,0	0,677	21,3	1,5	1,5	31,7	1,0	0,5	0,34
Poço Grande	25	550	20,0	166,7	2.056,3	1,748	55,1	3,0	2,0	110,2	0,5	0,5	0,87
Velame	20	540	5,0	33,3	740,0	0,444	14,0	2,4	2,0	28,0	0,5	0,5	0,22

Com isto o investimento total necessário para implantar os reservatórios propostos passou de 689 milhões para 640,7 milhões de reais, resultando numa economia de 48,3 milhões de reais, ou seja, cerca de 7,0% dos investimentos.

A Tabela 5.6.1 mostra a localização, características e custos dos reservatórios preconizados pelo PERH-BA em decorrência da otimização realizada. Os Cartogramas 5.6.4, 5.6.5 e 5.6.6 identificam os locais de implantação de cada obra proposta. A seguir, na Tabela 5.6.2 são apresentadas as vazões regularizadas por estes reservatórios e os períodos que estas obras entrarão em operação.

Tabela 5.6.4 - Características dos reservatórios propostos para o PERH-BA

Bacia Hidrográfica	Unid. de Balanço	Reservatório	Curso d'água	Capacid. total (hm³)	Área alagada (km²)	Vazão regulariz. (m³/s)	Altura maciço (m)	Comprim. da crista (m)	Custo total da obra (mil R\$)
Rio de Contas	9.1.a	Piatã	Rio de Contas	150,0	9,0	1,651	55	750	56.190,4
	9.1.a	Campinas	Rio de Contas	145,8	17,5	1,899	30	1.300	42.464,7
	9.1.a	João Vaz	Rio de Contas	120,0	12,0	2,072	35	1.350	44.602,6
	9.1.a	Cristalândia	Rio de Contas	36,0	3,6	0,741	25	920	23.870,8
	9.1.g	São Timóteo	Riacho Fundo	20,0	2,4	0,193	30	280	11.861,2
	9.1.g	Iguatemi	Rio São João	58,3	8,8	1,532	25	1.300	39.295,6
	9.1.b	Jiló	Rio Brumado	7,5	0,9	0,168	30	150	3.327,1
	9.1.c	Itanagé	Rch Cachoeirinha	16,7	1,0	0,169	30	400	19.063,1
	9.1.e	Faz. Palmito	Rio S. Domingos	5,3	0,5	0,080	35	350	21.023,0
	9.1.e	São João	Rio do Paiol	29,2	3,5	0,560	30	850	37.131,0
	9.1.e	Faz Tanque	Rch São Domingos	37,5	4,5	0,300	30	800	35.852,2
	9.1.e	Imbé	Rch. Imbé	55,8	6,7	0,343	30	1.000	40.022,8
Verde Pequeno	9.2.a	Brejo da Gameleira	Rio Gavião	150,0	15,0	0,664	35	650	36.834,8
	9.2.a	Rio Seco	Rio Seco	33,3	4,0	0,314	30	400	18.949,0
Verde Pequeno	1.5.1.b	S. Domingos	S. Domingos	55,0	5,5	0,451	35	870	41.569,4
Santo Onofre	1.5.2.c	Lagoa da Torta	Santo Onofre	40,0	4,8	0,312	30	1.042	40.600,4
Paramirim	1.5.3.b	Boa Vista	Rio da Caixa	114,8	8,6	1,054	45	620	42.245,4
Salitre	1.6.4.a	Tábua	Salitre	31,7	3,8	0,338	30	950	39.206,5
Jacaré	1.6.2.c	Poço Grande	Milagres	166,7	20,0	0,874	30	550	26.752,9
Verde	1.6.2.b	Velame	Rch da Bandeira	33,3	5,0	0,222	25	540	19.814,0
TOTAIS				1.306,9	137,1	13,9			640.676,8

Tabela 5.6.5 - Vazões regularizadas por quinquênio pelos reservatórios programados pelo PERH-BA

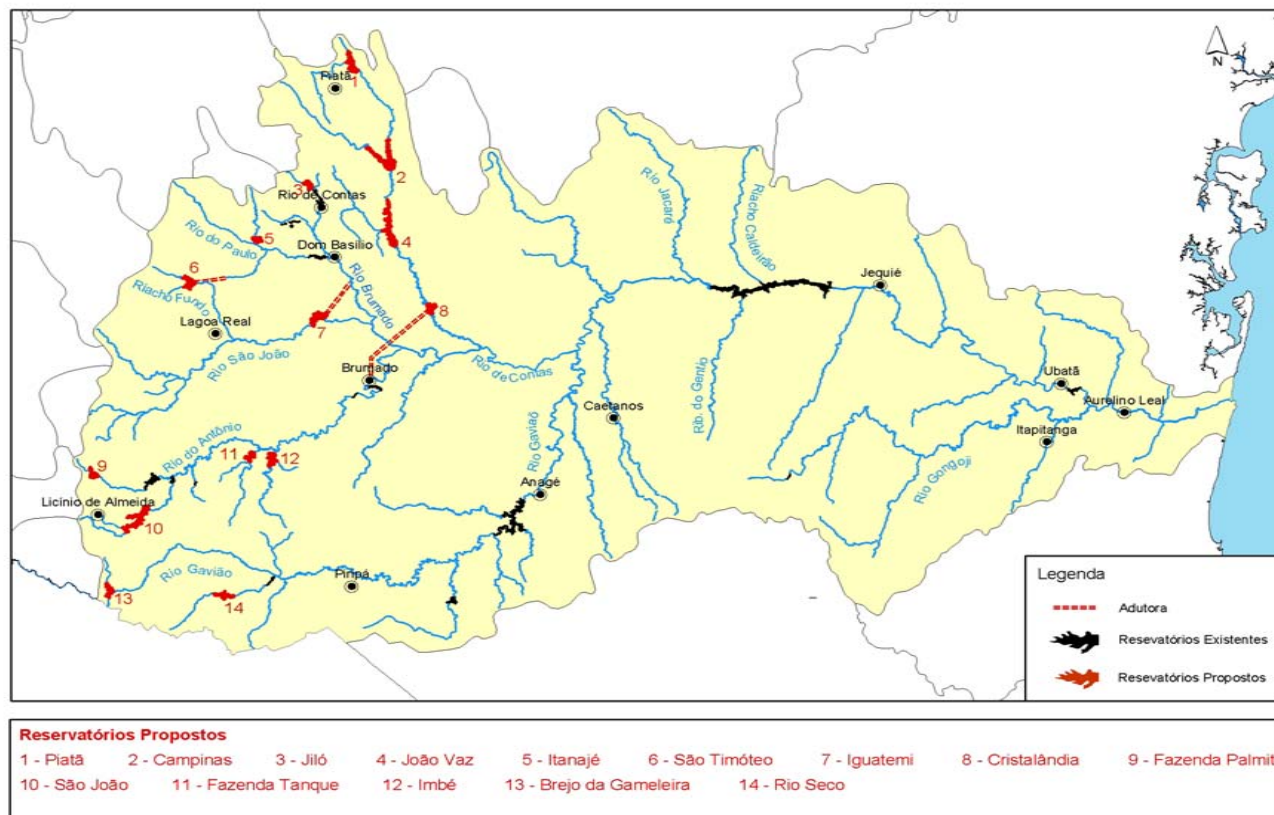
Bacia Hidrográfica	Unid. de Balanço	Barragens e adutoras	Curso d'água	Vazões ativadas por quinquênio (m³/s)			
				até 2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Rio de Contas	9.1.a	Cristalândia	Rio de Contas	0,740			
Rio de Contas	9.1.a	Piatã	Rio de Contas		1,651		
Rio de Contas	9.1.a	João Vaz	Rio de Contas		2,070		
Rio de Contas	9.1.g	Iguatemi	Rio São João		1,532		
Verde Pequeno	1.5.1.b	S. Domingos	S. Domingos		0,451		
Rio de Contas	9.2.a	Brejo da Gameleira	Rio Gavião		0,664		
Santo Onofre	1.5.2.c	Lagoa da Torta	Santo Onofre		0,312		
Rio de Contas	9.1.a	Campinas	Rio de Contas			1,899	
Rio de Contas	9.1.g	São Timóteo	Riacho Fundo			0,193	
Rio de Contas	9.1.e	Imbé	Rch. Imbé			0,343	
Salitre	1.6.4.a	Tábua	Salitre			0,338	
Jacaré	1.6.2.c	Poço Grande	Milagres			0,874	
Rio de Contas	9.1.b	Jiló	Rio Brumado				0,168
Rio de Contas	9.1.c	Itanagé	Rch Cachoeirinha				0,169
Rio de Contas	9.1.e	Faz. Palmito	Rio S. Domingos				0,080
Rio de Contas	9.1.e	São João	Rio do Paiol				0,560
Rio de Contas	9.1.e	Faz Tanque	Rch São Domingos				0,300
Rio de Contas	9.2.a	Rio Seco	Rio Seco				0,314
Paramirim	1.5.3.b	Boa Vista	Rio da Caixa				1,054
Verde	1.6.2.b	Velame	Rch da Bandeira				0,222
Totais				0,740	6,680	3,646	2,867

A sobreposição da ativação de vazões pelos reservatórios programados pelo Governo do Estado com aqueles propostos pelo PERH-BA resultou em grandes incrementos de vazões regularizadas, conforme mostrado na Tabela 5.6.6

Tabela 5.6.6 - Vazões totais regularizadas pelas barragens programadas pelo Governo Estadual e propostas pelo PERH-BA.

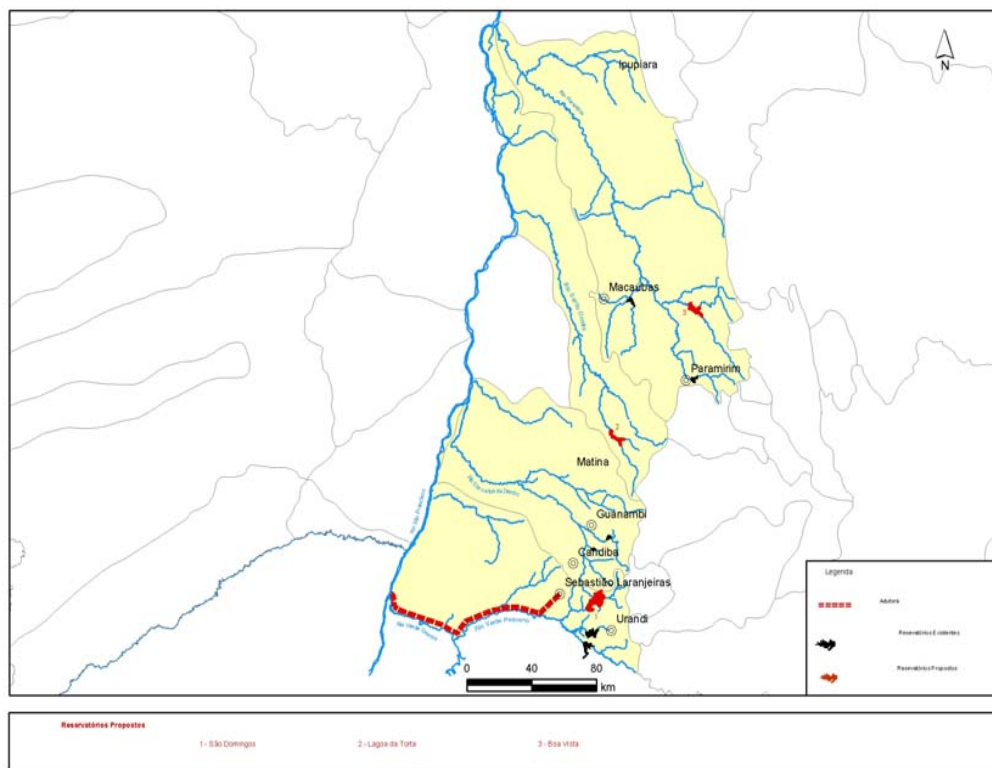
RPGAs		Ativação de vazões regularizadas (m³/s)				
Cód.	Nome	até 2.000	2.001 a 2.005	2.006 a 2.010	2.011a 2.015	2.016 a 2.020
I	Extremo Sul				75,50	
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	0,59	396,15			
III	Leste	0,93				
IV	Rio de Contas	39,26	1,58	6,44	1,54	1,51
V	Recôncavo Sul					
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	16,24				
VII	Rio Paraguassú	86,06	18,81	3,09		0,36
VIII	Rio Itapicuru	9,82	7,77			
IX	Rios Real e Vaza-Barris	1,77				
X	Submédio São Francisco	0,06				
XI	Rio Salitre	0,03			0,34	
XII	Lago do Sobradinho	0,02				
XIII	Rios Jacaré e Verde	1,02		1,09	0,87	0,31
XIV	R Carnaíba de Dentro, Sto Onofre e Paramirim	2,20	0,90	0,32		1,05
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	2,42		0,45		
XVI	Rio Grande	53,76				
XVII	Rio Corrente	27,50			84,32	12,99
SUB-TOTAIS		241,68	425,21	11,38	162,57	16,21
TOTAIS ACUMULADOS		241,68	666,89	678,28	840,85	857,06

Embora as barragens destinadas prioritariamente à geração de energia proporcionam os maiores incrementos de vazões (599,6 m³/s) em relação às propostas pelo PERH-BA (13,9 m³/s), elas estão situadas em regiões de baixo ou nulo déficit hídrico (bacias dos rios Jequitinhonha, Mucuri e Corrente) e pouco contribuirão para melhorar a disponibilidade de água para atendimento de demandas consuntivas nas áreas deficitárias da Bahia. Entretanto, poderão proporcionar oportunidades de desenvolvimento regional ainda não detectadas.



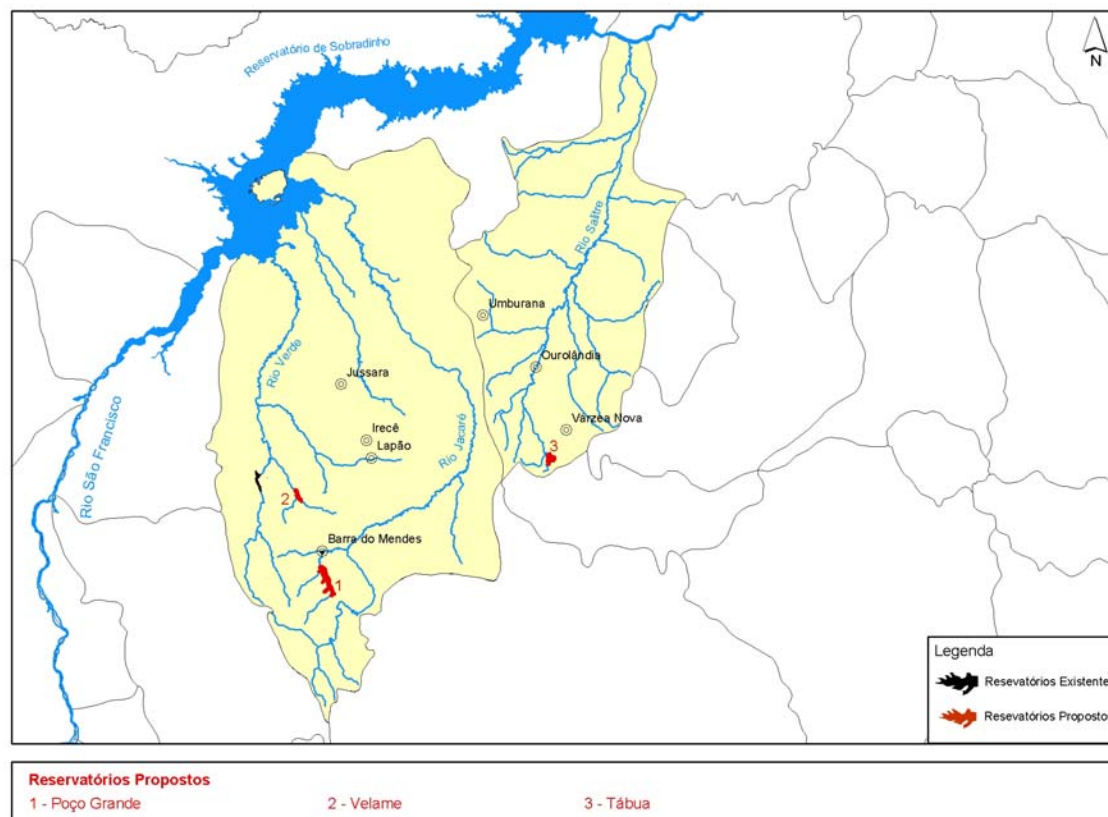
Cartograma 5.6.1 - Localização dos reservatórios propostos na bacia do Rio de Contas





Cartograma 5.6.2 - Localização dos reservatórios propostos nas bacias dos Rios Verde Pequeno, Santo Onofre e Paramirim





Cartograma 5.6.3 - Localização dos reservatórios propostos na bacia dos Rios Verde, Jacaré e Salitre



5.6.3 Otimização da Distribuição dos Poços Tubulares

Paralelamente à otimização das obras de aproveitamento das águas superficiais, revisou-se a distribuição dos poços e dos investimentos ao longo do período de implementação do PERH.

A fim de melhor distribuir os investimentos necessários, propôs-se que o número de poços implantados por quinquênio obedecesse as seguintes taxas: 20% até o ano 2005; 30% de 2006 a 2010; 30% de 2011 a 2015 e, 20% de 2016 a 2020.

Dentro deste critério, optou-se por manter os prazos de implantação dos poços dos projetos de irrigação da SEAGRI (situados na região do aquífero Tucano nas bacias dos rios Vaza-Barris e Itapicuru) até o ano de 2.005, distribuindo os demais poços de forma a alcançar as taxas de implantação preconizadas. Para tal, procedeu-se como segue:

- reduziu-se o número de poços nas bacias dos rios Salitre e Jacaré, de forma que a oferta fosse da mesma ordem de grandeza que a demanda;
- propôs-se que nas UBs onde ocorre o aquífero Tucano nas bacias dos rios Vaza-Barris e Itapicuru, somente sejam perfurados poços nesta formação hidrogeológica e, por apresentarem vazões mais elevadas, resultou num menor número de poços;
- a implantação dos poços nas bacias dos rios Salitre, Verde, Jacaré e parte da bacia do Paraguaçu ocorrerá a uma taxa muito baixa (2 a 3%) até o ano de 2005 quando, então, passarão a ser implantados de forma mais intensiva;
- nas demais regiões, a implantação obedecerá as taxas antes preconizadas.

Como resultado da otimização, o número de poços a serem implantados no estado passou de 3.685 para 3.460, enquanto que as vazões ativadas passou de 7,793 m³/s para 7,417 m³/s. Apesar das reduções no número de poços e nas vazões ativadas, todas as demandas foram atendidas. A Tabela 5.6.7 mostra a variação do número de poços e dos níveis de ativação de água subterrânea.

Tabela 5.6.7 - Quantidade de poços a serem perfurados e vazões ativadas por domínio hidrogeológico no período 2000 a 2020.

Regiões Hidrológicas	Vazões potenciais	Até ano 2000		Período 2000-2020		Taxas de ativação (%)	
		Nº de Poços	Vazões (m³/s)	Nº de Poços	Vazões (m³/s)	até 2000	até 2020
Embasamento cristalino semi-árido	12,19	1.791	1,49	1.269	1,05	12,2%	20,8%
Embasamento cristalino úmido	24,92	2.549	2,12	487	0,40	8,5%	10,1%
Calcários úmidos	34,67	563	1,56	8	0,01	4,5%	4,5%
Calcários secos	24,24	2.759	6,90	532	1,32	28,5%	33,9%
Metassedimentos	31,76	1.496	2,91	510	0,98	9,2%	12,2%
Extremo Sul	55,23	77	0,53	6	0,02	1,0%	1,0%
Urucuia	698,87	1.121	14,01	0	0,00	2,0%	2,0%
Tucano	171,77	333	2,78	324	2,67	1,6%	3,2%
Recôncavo	70,94	298	4,14	6	0,04	5,8%	5,9%
Coberturas rasas	184,26	1.167	3,73	259	0,78	2,0%	2,4%
Coberturas profundas	49,26	153	0,49	59	0,17	1,0%	1,3%
TOTAL	1.358,11	12.307	40,67	3.460	7,42		

Conforme comentado anteriormente, a perfuração de poços obedecerá a uma escala de prioridades ditada, entre outros aspectos, pelas disponibilidades financeiras. Por esta razão, programou-se a implementação dos poços segundo a distribuição apresentada na Tabela 5.6.8.

Tabela 5.6.8 - Quantidade de poços a serem perfurados por RPGA e por período.

Unidades de balanço		Nº de poços a serem perfurados no período 2001-2020				
Nome	Código	2001 a 2005	2.006 a 2.010	2.011 a 2.015	2.016 a 2.020	TOTAL
I	Extremo Sul	8	9	9	5	31
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	22	21	21	13	77
III	Leste	15	18	18	12	63
IV	Rio de Contas	141	178	178	121	618
V	Recôncavo Sul					
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	2	1	1		4
VII	Rio Paraguassú	33	283	283	183	782
VIII	Rio Itapicuru	273	93	93	60	519
IX	Rios Real e Vaza-Barris	124				124
X	Submédio São Francisco				2	2
XI	Rio Salitre	10	104	104	67	285
XII	Lago do Sobradinho					
XIII	Rios Jacaré e Verde	22	298	298	193	811
XIV	Rios Carnaíba de Dentro, Santo Onofre e Par	35	35	35	23	128
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	5	4	4	3	16
XVI	Rio Grande					
XVII	Rio Corrente					
Totais		690	1.044	1.044	682	3.460

A otimização da distribuição dos poços implicou num pequeno incremento (5%) nos custos de implantação, passando de 81,3 milhões para 85,7 milhões de reais. Esta variação se deve, provavelmente, ao aumento do número de poços perfurados no aquífero Tucano. A nova distribuição dos custos por RPGA está mostrada na Tabela 5.6.9.



Tabela 5.6.9 - Custos de implantação dos poços por RPGA no período 2001 a 2020

Unidades de balanço		Custos de implantação dos poços (R\$ x 1000)				
Nome	Código	2001 a 2005	2.006 a 2.010	2.011 a 2.015	2.016 a 2.020	TOTAL
I	Extremo Sul	214,6	224,7	224,7	65,5	729,5
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	530,2	300,3	300,3	181,4	1.312,2
III	Leste	415,8	241,2	241,2	162,7	1.060,9
IV	Rio de Contas	1.924,2	2.403,0	2.403,0	1.634,4	8.364,5
V	Recôncavo Sul					
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	240,0	120,0	120,0		480,0
VII	Rio Paraguassú	443,2	3.749,4	3.749,4	2.423,5	10.365,4
VIII	Rio Itapicuru	24.905,5	1.251,0	1.251,0	802,2	28.209,8
IX	Rios Real e Vaza-Barris	14.880,0				14.880,0
X	Submédio São Francisco				240,0	240,0
XI	Rio Salitre	159,7	1.743,9	1.743,9	1.122,5	4.769,9
XII	Lago do Sobradinho					
XIII	Rios Jacaré e Verde	348,5	4.842,9	4.842,9	3.138,9	13.173,1
XIV	R. Carnaíba de Dentro, Sto Onofre e Paramirim	508,6	514,3	514,3	329,1	1.866,3
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	71,1	58,0	58,0	44,9	231,9
XVI	Rio Grande					
XVII	Rio Corrente					
Totais		44.641,3	15.448,6	15.448,6	10.145,0	85.683,5

Em decorrência da perfuração dos poços distribuídos conforme a tabela anterior, o incremento de oferta de água subterrânea ao longo do período 2000 a 2020 ocorrerá conforme mostrado na Tabela 5.6.10.

Tabela 5.6.10 - Vazões ativadas por poços em cada RPGA até o ano 2020

Unidades de balanço		Vazões ativadas (m³/s) por poços					
Nome	Código	até 2000	2.001 a 2.005	2.006 a 2.010	2.011 a 2.015	2.016 a 2.020	TOTAL
I	Extremo Sul	1,090	0,010	0,015	0,015	0,010	1,140
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	0,727	0,021	0,031	0,031	0,021	0,831
III	Leste	0,328	0,013	0,019	0,019	0,013	0,392
IV	Rio de Contas	1,428	0,129	0,193	0,193	0,129	2,072
V	Recôncavo Sul	0,955					0,955
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	4,003	0,007	0,010	0,010	0,007	4,038
VII	Rio Paraguassú	2,218	0,022	0,258	0,258	0,167	2,922
VIII	Rio Itapicuru	1,718	1,695	0,097	0,097	0,065	3,672
IX	Rios Real e Vaza-Barris	1,453	1,030				2,483
X	Submédio São Francisco	1,773				0,018	1,791
XI	Rio Salitre	1,583	0,013	0,246	0,246	0,160	2,249
XII	Lago do Sobradinho	1,020					1,020
XIII	Rios Jacaré e Verde	3,820	0,040	0,738	0,738	0,479	5,814
XIV	Rios Carnaíba de Dentro, Santo Onofre e Paramirim	0,934	0,031	0,046	0,046	0,031	1,088
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	3,210	0,004	0,005	0,005	0,004	3,228
XVI	Rio Grande	9,277					9,277
XVII	Rio Corrente	5,134					5,134
	TOTAIS	40,669	3,014	1,659	1,659	1,102	48,104
		40,669	7,435				48,104

5.6.4 Ajuste das Áreas Irrigadas

A nova configuração de obras decorrente da otimização da distribuição dos reservatórios e poços resultou numa redução da oferta hídrica em cerca de 2,75 m³/s fazendo com que a área total irrigada seja reduzida em cerca de 3.677,7 ha. Esta redução de área irrigada ocorre somente na região do Alto Rio de Contas, e corresponde a cerca de 0,45% da área total irrigada prevista para o ano de 2020, no estado, não ocasionando alteração substancial nos benefícios gerados no Cenário 4.

A distribuição das áreas irrigadas por UB ao longo do período 2000 a 2020 está mostrada na Tabela A-5.6.1, do Anexo Cap. 5, enquanto que as áreas irrigadas por RPGA estão apresentadas na Tabela 5.6.11.

Tabela 5.6.11 - Distribuição das áreas irrigadas por RPGA (após a otimização)

Unidades de balanço		Áreas irrigadas (ha)				
Cód.	Nome	2.000	2.005	2.010	2.015	2.020
I	Extremo Sul	15.500	18.516	24.044	28.348	33.490
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	4.043	4.829	5.769	10.492	15.833
III	Leste	3.221	3.848	4.597	5.491	6.560
IV	Rio de Contas	27.953	32.043	41.476	49.944	55.276
V	Recôncavo Sul	5.678	6.302	6.996	7.766	8.620
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	12.829	15.295	18.237	21.743	25.924
VII	Rio Paraguassú	24.469	36.303	54.855	85.622	101.596
VIII	Rio Itapicuru	3.507	8.844	14.432	14.800	15.200
IX	Rios Real e Vaza-Barris	2.394	4.605	4.836	5.087	5.360
X	Submédio São Francisco	40.922	66.595	87.766	101.919	113.115
XI	Rio Salitre	7.746	9.067	10.614	12.425	14.544
XII	Lago do Sobradinho	10.161	12.164	19.288	31.790	44.737
XIII	Rios Jacaré e Verde	7.548,8	8.734	10.204	11.922	14.064
XIV	R Carnaíba de Dentro, Sto Onofre e Paramirim	6.373	7.015	7.723	8.502	9.359
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	34.219	54.852	84.431	114.947	132.892
XVI	Rio Grande	62.245	74.860	90.033	108.281	130.227
XVII	Rio Corrente	40.263	55.337	66.653	76.431	87.926
		309.070	419.212	551.953	695.508	814.723

5.6.5 Revisão das Demandas Hídricas

Como houve necessidade de ajustes apenas nas áreas irrigadas da UB do Alto Rio de Contas, todas as demandas hídricas (com exceção da irrigação) permaneceram inalteradas e, portanto, valem os valores relativos ao Cenário 4 antes apresentados.

Assim, de posse das novas áreas irrigadas, calcularam-se as demandas hídricas para irrigação por UB (Tabela A-5.6.2, do Anexo Cap. 5) e por RPGA (Tabela 5.6.12) para cada período (quinqüênio) estudado.

Tabela 5.6.12 - Demandas de irrigação por RPGA para ao longo do período de implantação do PDRH-BA

Unidades de balanço		Demandas médias de irrigação (m³/s)				
Cód.	Nome	2.000	2.005	2.010	2.015	2.020
I	Extremo Sul	1,96	2,18	2,42	2,70	3,03
II	Rios Pardo e Jequitinhonha	1,47	1,68	1,97	2,48	3,88
III	Leste	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24
IV	Rio de Contas	12,26	13,18	14,90	17,08	18,85
V	Recôncavo Sul	1,72	1,82	1,92	2,03	2,15
VI	Recôncavo Norte e Inhambupe	5,54	5,66	5,78	5,92	6,06
VII	Rio Paraguassú	7,50	8,95	11,34	15,09	22,84
VIII	Rio Itapicuru	2,12	2,37	2,88	3,96	6,82
IX	Rios Real e Vaza-Barris	1,53	1,76	2,04	2,37	2,76
X	Submédio São Francisco	40,57	48,76	58,63	70,55	84,95
XI	Rio Salitre	7,29	7,90	8,57	9,29	10,08
XII	Lago do Sobradinho	7,03	9,18	12,46	17,58	25,74
XIII	Rios Jacaré e Verde	5,55	6,07	6,63	7,24	7,92
XIV	R Carnaíba de Dentro, Sto Onofre e Paramirim	2,67	2,73	2,80	2,87	2,95
XV	Calha do Médio São Francisco na Bahia	23,27	26,25	31,73	42,11	62,58
XVI	Rio Grande	26,80	30,77	35,42	40,93	47,54
XVII	Rio Corrente	22,58	24,35	26,47	29,05	32,23
TOTAIS		170,0	193,8	226,2	271,5	340,6

5.6.6 Balanço Hídrico

De posse das novas ofertas hídricas (barragens e poços) e das áreas irrigadas ajustou-se o balanço hídrico para o cenário escolhido considerando estas novas variáveis e utilizando os mesmos critérios descritos no item 4.3.2.

Os cálculos foram realizados para a situação atual (ano 2000) e para todos os quinquênios até o ano 2020 obtendo-se os saldos hídricos por UB apresentados na Tabela 5.6.13. A partir destes resultados elaborou-se os Cartogramas 5.6.4 a 5.6.8 onde estão mostrados os saldos hídricos em cada UB para cada quinquênio.

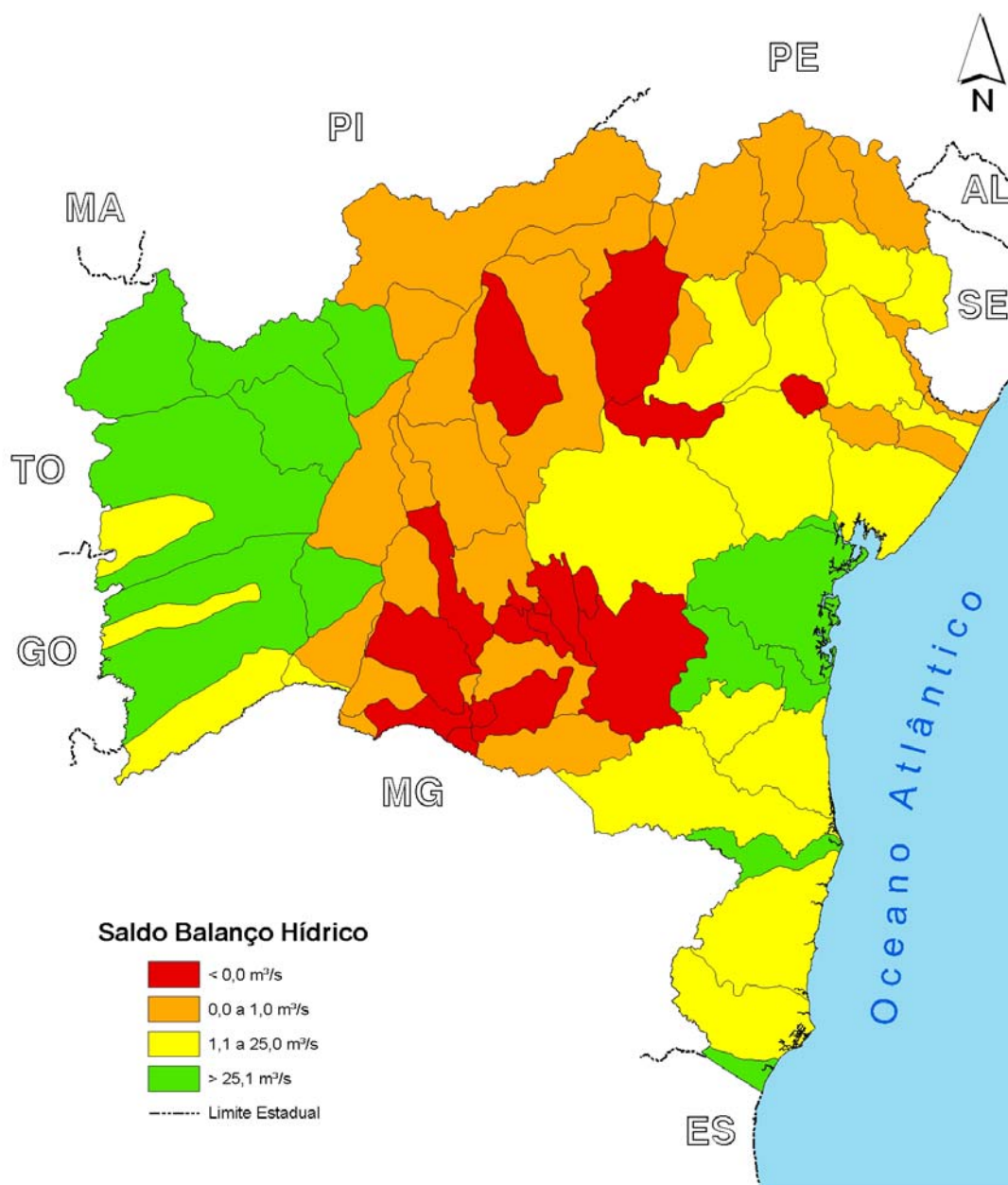
Tabela 5.6.13 - Saldo hídrico por unidade de balanço por UB no período 2000 a 2020

Bacias e unidades de balanço	Ano 2000	Ano 2005	Ano 2010	Ano 2015	Ano 2020
Alto Carinhanha	20,259	20,144	20,014	19,867	19,700
Baixo Carinhanha	21,637	21,526	21,399	21,255	21,092
Alto Corrente Área da PCH Correntina	19,022	19,065	19,108	19,149	19,190
Remanescente do Alto Corrente	109,312	108,758	108,001	119,077	119,776
Baixo Corrente	117,134	115,314	113,153	122,675	121,650
Região do Rio Pitubas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Riacho Brejo Velho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Riacho do Brejo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PCH Alto Fêmeas	22,617	22,028	21,350	20,568	19,668
Alto Rio Grande	72,588	69,324	65,463	60,848	55,256
Médio Rio Grande	98,640	95,261	91,285	86,546	80,812
Alto Rio Preto	40,326	40,191	40,037	39,862	39,663
Baixo Rio Preto	42,538	42,243	41,903	41,511	41,059
Baixo Rio Grande	141,929	138,132	133,679	128,397	122,043
Áreas de drenagem dos Reserv. Estreito e Cova da Mand	-0,009	-0,007	-0,004	-0,001	0,000
Bacia do Verde Pequeno	-4,701	-4,109	-3,127	-0,881	0,000
Baixo Rio Verde Grande	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Área de Drenagem do Reservatório de Ceraima	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Bacia do Carnaíba	-0,271	0,561	0,495	0,427	0,359
Bacia do Santo Onofre	-0,084	-0,087	0,216	0,216	0,211
Área de Drenagem do Reservatório do Zabumbão	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,002
Médio Paramirim	0,034	0,031	0,032	0,033	1,066
Baixo Paramirim	0,072	0,047	0,028	0,011	0,887
Região do Riacho Curralinho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Riacho Santa Rita	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Riacho Mandé	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sub-Bacias da Região de Xique-Xique	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Margem Esquerda do Lago Sobradinho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Área de Drenagem do Reservatório de Mirorós	0,020	0,017	0,015	0,012	0,009
Bacia do Rio Verde	-1,013	-1,320	-0,093	0,070	0,206
Bacia do Rio Jacaré	0,103	-0,105	-0,172	0,533	0,453
Margem Direita do Lago Sobradinho	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Alto Salitre	-0,155	-0,311	-0,253	0,106	0,034
Baixo Salitre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Rio Curaçá	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038
Região do Rio da Vagem	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região do Rio Macururé	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Região de Paulo Afonso	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Área de Drenagem de Cocorobó	0,056	0,046	0,036	0,024	0,011
Médio Vaza Barris	1,271	2,067	1,788	1,455	1,060
Baixo Vaza Barris	1,042	0,796	0,529	0,514	0,496
Área de Drenagem do Reservatório de Ponto Novo	0,793	2,448	2,294	2,087	1,807
Área de Drenagem do Reservatório de Jacurici	0,318	0,321	0,326	0,332	0,332
Área Remanescente do Alto Itapicuru	5,821	11,032	10,432	9,729	8,163
Área de Drenagem do Reservatório de Araçá	-0,008	-0,007	-0,001	0,005	0,006
Médio Itapicuru a Montante do Aquífero Tucano	8,175	13,557	12,967	12,291	10,791
Médio Itapicuru na Região do Aquífero Tucano	11,365	18,251	17,441	16,328	13,722
Baixo Itapicuru	10,685	15,980	15,222	14,174	11,444
Alto Rio Real	0,105	0,099	0,091	0,084	0,076
Baixo Rio Real	0,040	0,041	0,041	0,040	0,039
Área de Drenagem do Reservatório do Apertado	-0,234	-0,234	1,419	1,321	1,296
Alto Paraguassú	11,101	26,005	24,903	22,245	18,502
Área de Drenagem do Reserv. de São José do Jacuípe	0,385	0,350	0,309	0,264	0,214
Médio Paraguassú	7,163	22,069	20,902	17,206	10,045
Baixo Paraguassú	65,694	64,695	63,006	62,755	59,977
Alto Inhambupe	0,198	0,186	0,179	0,172	0,167
Baixo Inhambupe	0,503	0,502	0,499	0,496	0,492
Bacias do Recôncavo Norte	14,542	14,892	14,842	14,839	14,486
Bacias do Recôncavo Sul	28,183	28,122	27,947	27,747	27,529
Alto Rio de Contas	-2,001	-1,063	1,428	0,942	0,001
Área de Drenagem do Reservatório Luiz Vieira	-0,024	-0,020	-0,012	-0,004	0,136
Área de Drenagem do Reservatório do Paulo	-0,213	-0,215	-0,216	-0,027	0,105
Médio Brumado	-0,986	-0,986	0,706	0,590	0,402
Área de Drenagem do Reservatório de Truvisco	-0,020	-0,017	-0,011	-0,005	0,294
Sub-Bacia do Rio do Antônio	-0,047	-0,070	0,101	0,406	1,247
Remanescente da Bacia do Rio Brumado	0,367	0,297	1,677	1,660	2,246
Área de Drenagem do Reservatório de Anagé	0,071	-0,025	0,446	0,177	0,001
Médio Rio de Contas até Reservatório de Pedras	-0,517	-0,520	2,221	1,521	0,893
Médio Rio de Contas até Reservatório Funil	26,742	25,708	23,179	21,986	19,924
Bacia do Rio Gongogi	5,219	5,215	5,217	5,219	5,206
Baixo Rio de Contas	34,914	34,239	32,536	31,755	30,391

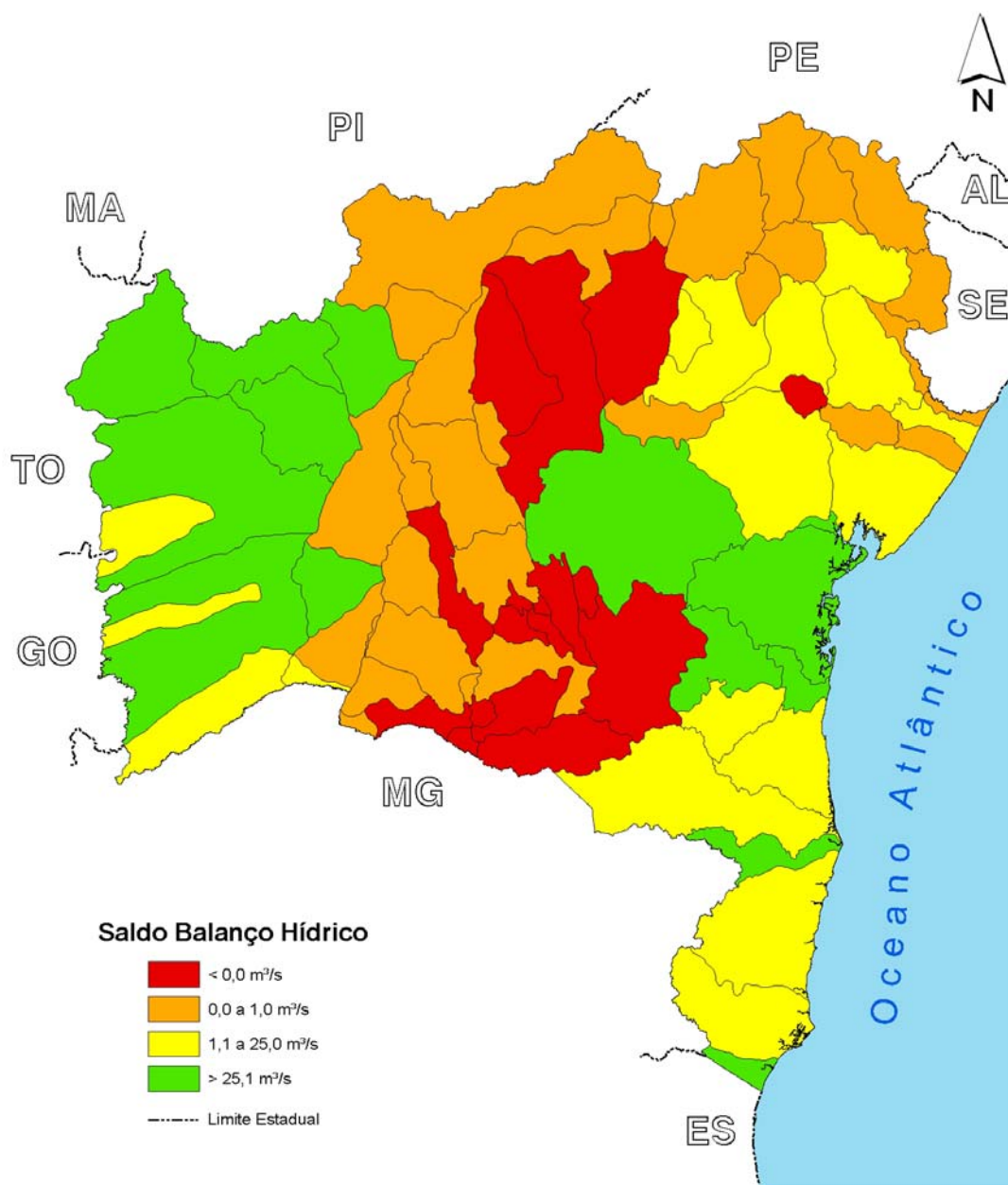
Verificou-se que com a implementação do PERH a quantidade de UBs que apresentará déficits hídricos decrescerá a partir do ano 2005 zerando em 2020. Da mesma forma, os déficits hídricos totais no estado decrescerão conforme apresentado na Tabela 5.6.14.

Tabela 5.6.14 - Número de UBs com déficits e valores dos déficits hídricos no estado por quinquênio.

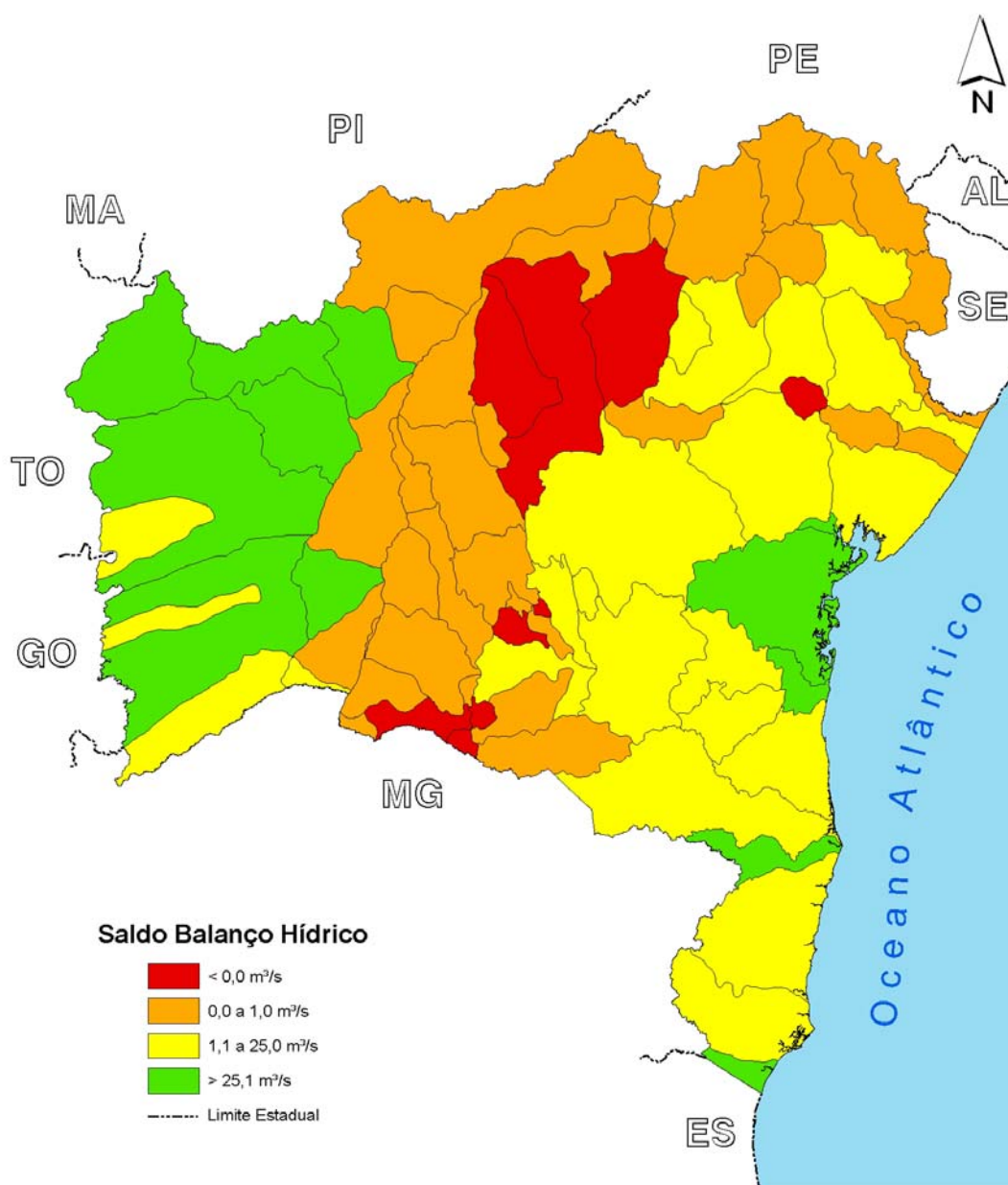
Discriminação	até ano 2.000	2.001 a 2.005	2.006 a 2.010	2.011 a 2.015	2.016 a 2.020
Nº de UBs com déficits hídricos	16	16	9	5	0
Déficits hídricos totais (m³/s)	-10,28	-9,10	-3,89	-0,92	0,00



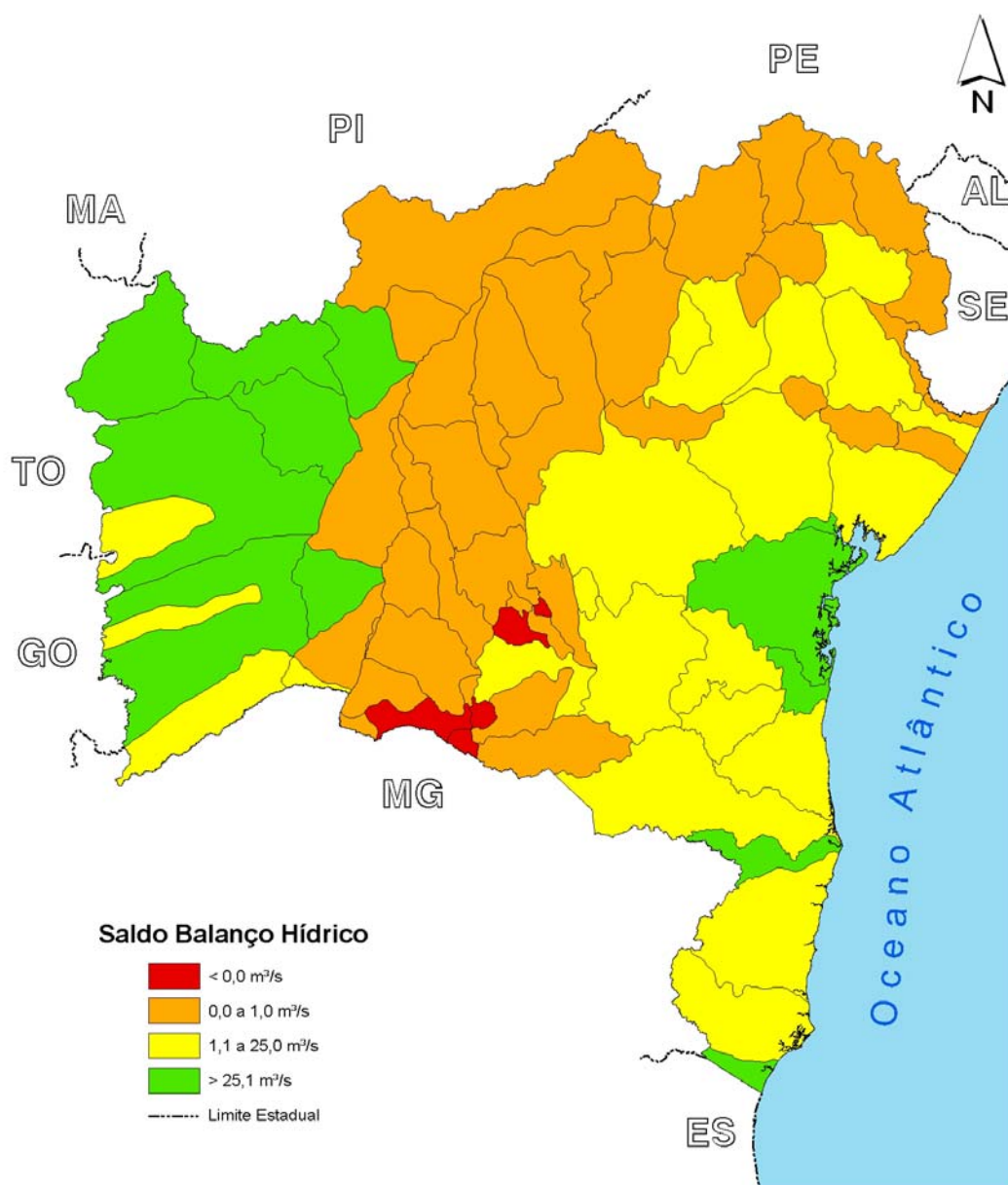
Cartograma 5.6.4 - Saldos Hídricos por UBs- Situação Atual



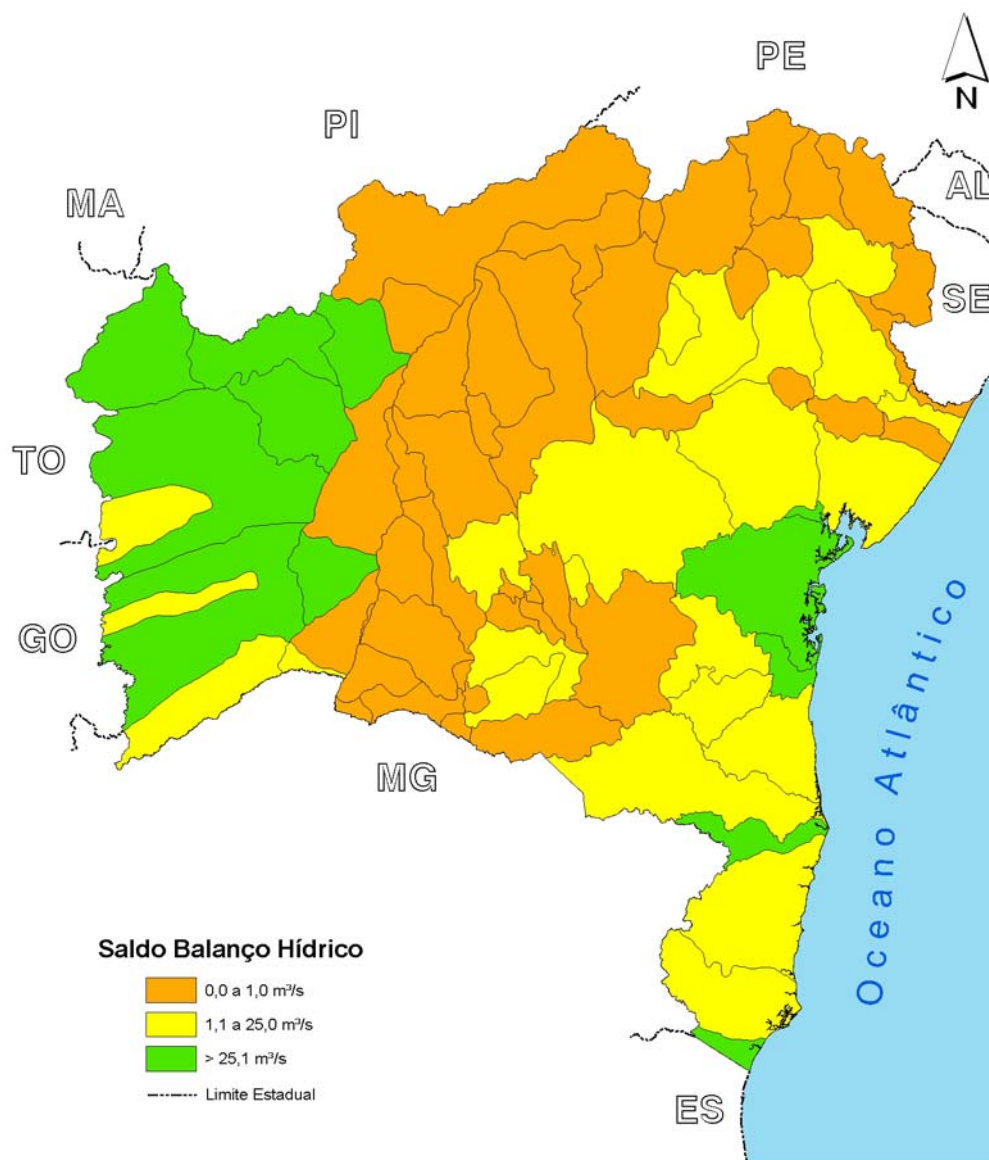
Cartograma 5.6.5 - Saldos Hídricos por UBs - Anos 2001 - 2005



Cartograma 5.6.6 - Saldos Hídricos por UBs - Anos 2006 - 2010



Cartograma 5.6.7 - Saldos Hídricos por UBs - Anos 2011 - 2015



Cartograma 5.6.8 - Saldos Hídricos por UBs - Anos 2016 - 2020

