



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

FLÁVIA BEZERRA AMORIM

**IMPACTO DA ADOÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS NO
BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO SOBRE A
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Salvador
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FLÁVIA BEZERRA AMORIM

**IMPACTO DA ADOÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS NO
BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO SOBRE A
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Orientador: PhD. Lafayette Dantas da Luz
Co-orientador: Dr. Fernando Genz

Salvador
2009

A524 Amorim, Flávia Bezerra

Impacto da Adoção de Vazões Ecológicas no Baixo Curso
do Rio São Francisco sobre a Geração Hidrelétrica / Flávia
Bezerra Amorim. – Salvador, 2009.

113 f. : il. color.

Orientador: Lafayette Dantas da Luz

Co-orientador: Fernando Genz

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2009.

1. Vazão Ecológica. 2. Usinas Hidrelétricas. 3. Rio São
Francisco I. Universidade Federal da Bahia. II. Título.

CDD: 621.31

FLÁVIA BEZERRA AMORIM

IMPACTO DA ADOÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS NO BAIXO CURSO DO RIO
SÃO FRANCISCO SOBRE A GERAÇÃO HIDROENERGÉTICA

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 30 de março de 2009

Banca Examinadora:

Prof. PhD. Lafayette Dantas da Luz
Universidade Federal da Bahia –UFBA

Prof. Dr. Fernando Genz
Universidade Federal da Bahia –UFBA

Prof. Dr. Severino Soares Agra Filho
Universidade Federal da Bahia –UFBA

Prof. PhD. Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins
Universidade Federal do Ceará -UFC

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai misericordioso, que nos abençoa e acalenta todos os dias das nossas vidas.

À minha família pelo apoio, compreensão e carinho em toda caminhada. Ao meu amado esposo, Fernando Silva, pela dedicação, incentivo e auxílio.

Aos orientadores, Lafayette Dantas da Luz, que colaborou, desde a iniciação científica, para o desenvolvimento do meu conhecimento, e Fernando Genz (Rajendra) pela paciência e orientações na simulação hídrica.

Ao Grupo de Pesquisa em Geo-Eco-Hidrologia (UFBA), que por meio do projeto “Identificação de regime hidrológico compatível com objetivos ecológicos para o baixo curso do Rio São Francisco”, viabilizou o conhecimento, em campo, da área em estudo.

Aos colegas do MEAU (turma 2006) por compartilharem dos desafios e pelo apoio nos momentos de desânimo e dificuldades.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB pelo apoio com bolsa de mestrado.

Muito obrigada por proporcionarem mais essa conquista em minha vida.

“Estudar as manifestações da natureza é trabalho que agrada a Deus. É o mesmo que rezar, que orar. Procurando conhecer as leis naturais, glorificando o primeiro inventor, o Artista do Universo, se aprende a amá-lo, pois que um grande amor a Deus, nasce de um grande saber.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

Esta dissertação discute uma abordagem para o processo de determinação de vazões ecológicas, baseada no “paradigma das vazões naturais” proposto por Poff *et al.* (1997), mas, ainda, de forma a contemplar os múltiplos usos da água. Os estudos desenvolvidos visaram identificar o impacto sobre a geração hidrelétrica na hipótese de adoção de um regime dinâmico de vazões (RDV) no baixo trecho do Rio São Francisco. Isso foi realizado por meio de simulação de cenários, os quais se propõem a atender demandas ambientais e ecológicas, em condição distinta das vazões mínimas atuais mantidas a jusante dos barramentos. Para essa simulação foi usado esquema matemático de fluxos em rede, com o modelo ‘AcquaNet’, computando-se a potência gerada pelo sistema de usinas hidrelétricas da CHESF em termos médios mensais. Consideraram-se os RDVs sem e com restrições de vazões, estas referentes às condições atualmente praticadas quanto à máxima cota de inundação (8.000 m³/s) e quanto às cotas mínimas de captação e aspectos ambientais (1.300 e 1.100 m³/s). Também, um bloco de simulações foi realizado considerando diferentes condições hídricas da bacia, nas quais as exigências quanto a RDVs mudavam para cada condição. Essa última abordagem corresponderia a situações de utilização da previsão climática na operação dos reservatórios. Dos diversos resultados obtidos, verifica-se que seria plausível se praticar certos regimes de vazões, contemplando momentos de cheias e vazantes que reproduzam parcialmente condições do regime natural e, ainda, considerando restrições impostas pela realidade atual, sem comprometer significativamente a produção hidrelétrica. A adoção de RDVs que consideram maiores descargas, por impactarem a produção de energia mais fortemente, deveriam ser objeto de discussão pela sociedade, além de contemplar outros usos não explicitamente considerados neste estudo. A consideração das vazões ecológicas nos usos múltiplos das águas é fundamental para conciliar a saúde dos ecossistemas aquáticos com as necessidades humanas. Esta dissertação visa ser uma contribuição inicial para esse caminho.

Palavras-Chave: Vazão Ecológica, Usinas Hidrelétricas, Rio São Francisco

ABSTRACT

This dissertation deals with the process of determining environmental flows taking into account the "paradigm of the natural flow" proposed by Poff *et al.* (1997), also considering the multiple uses of water. The developed studies aimed to identify the impact on hydropower generation resulting from the adoption of a dynamic flows' regime for the lower reach of San Francisco river. This was done through simulation of scenarios that aims to provide environmental and ecological benefits, condition distinct from the currently adopted minimum flow released downstream the dams. This simulation was carried out by using mathematical scheme of flows in network, using the model 'AcquaNet'. Generated power by the hydroelectric system was computed on averaged monthly basis. The simulated dynamic flows' regimes were considered with and without constraints for the maximum and minimum flows. Those constraints address the current restrictions applied to discharges released by the hydropower plants: 8000 m³/s for the flooding flows aiming to avoid inundations in some villages; and 1300 and 1100 m³/s for minimum flows in order to allow pumping stations to work and to meet some environmental needs. A set of simulations was done considering different hydric conditions in which the requirements for dynamic flows regime switch for each condition. This latter approach mimics the situation of applying climate prediction in reservoirs operation. The obtained results imply that is reasonable to implement dynamic flows regime downstream the dams, including events of floods and low-flows that partially reproduce some conditions of the natural regime, also considering restrictions imposed by the current reality, without compromising significantly the hydroelectric production. The adoption of dynamic flows' regimes that require bigger discharges should be subject to discussion by society, yet considering other uses not explicitly included in this study, due to their greater impact on energy production. The consideration of environmental flows in the multiple uses of water is essential to reconcile the health of aquatic ecosystems with human needs. This dissertation aims to be an initial contribution to this path.

Keywords: Environmental Flow, Hydropower, San Francisco River

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de uma seção transversal de uma planície fluvial (adaptado de Christofolletti, 1981).....	17
Figura 2: Representação esquemática da dinâmica hidrológica quadri-dimensional de um rio...	17
Figura 3: Influência dos níveis fluviométricos na diversidade de vegetação marginal. (Adaptação de Keddy, 1985)	19
Figura 4: Impacto do barramento na hidrodinâmica do rio	23
Figura 5: Áreas de várzea no trecho baixo do rio São Francisco.....	36
Figura 6: Extração de argila para artesanato na várzea Matias de Souza.	37
Figura 7: Ocupação urbana das áreas de inundação no trecho baixo do rio São Francisco	38
Figura 8: Usinas Hidrelétricas em operação com potência acima de 30MW.....	39
Figura 9: Localização da estação fluviométrica “Traipu” em relação às usinas hidrelétricas do trecho submédio do rio São Francisco.....	45
Figura 10: Sazonalidade interanual do fluviograma médio anual do baixo trecho do rio São Francisco	48
Figura 11: Regimes dinâmico de vazão (m ³ /s) representando, cada um, uma seqüência de permanências mensais para uma condição hídrica ‘média’	49
Figura 12: Representação do sistema de reservatórios do rio São Francisco no desenho da rede de fluxo do Acquanet.....	55
Figura 13: Representação esquemática do funcionamento de uma usina hidrelétrica	56
Figura 14: Descarga Sólida em suspensão (t/dia) nas estações fluviométricas a montante e a jusante do reservatório de Sobradinho. (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003; LIMA <i>et al</i> , 2001)	60
Figura 15: Valores médios mensais de vazões da série histórica do posto fluviométrico ‘Traipu’ com indicação do início de operação das oito usinas hidrelétricas localizadas no trecho submédio do rio São Francisco.....	61
Figura 16: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos ‘pré-barragem’, ‘pós-Xingó’ e ‘pós-Sobradinho’ na condição hídrica ‘seca’	63
Figura 17: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos ‘pré-barragem’, ‘pós-Xingó’ e ‘pós-Sobradinho’ na condição hídrica ‘média’.	64
Figura 18: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos ‘pré-barragem’ e ‘pós-Sobradinho’ na condição hídrica ‘úmida’.	65
Figura 19: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos ‘pré-barragem’ e ‘pós-Sobradinho’ na condição hídrica ‘muito úmida’.	66
Figura 20: Padrões hidrológicos por condição hídrica, ocorridos no baixo curso do rio São Francisco antes do início de operação das usinas hidrelétricas em 1955.....	67
Figura 21: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) utilizados na demanda ambiental da 1 ^a e 2 ^a rodada de simulação	71
Figura 22: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) utilizados na demanda ambiental da 3 ^a rodada de simulação.....	72
Figura 23: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por caso simulado – 1 ^a Rodada.....	76
Figura 24: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por situação simulada – 2 ^a Rodada	78
Figura 25: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por situação simulada – 3 ^a Rodada	81
Figura 26: Representação esquemática de um trecho do rio em corte transversal e em vista superior, mostrando a associação dos níveis fluviométricos com as cheias marginais prováveis.	89
Figura 27: Comporta na Várzea Matias de Souza.....	89
Figura 28: Canal na margem da Lagoa do Morro.....	90
Figura 29: Canal na margem do rio, atravessando a estrada Propriá-Pindoba.	90
Figura 30: Lagoa Pindoba às margens do rio São Francisco.	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de métodos e técnicas para determinação de vazão ecológica segundo alguns autores (BENETTI <i>et al.</i> , 2003).	25
Quadro 2: Início das obras e operação das usinas hidrelétricas localizadas no submédio e baixo trecho do rio São Francisco.	40
Quadro 3: Classificação da CHid com base na anomalia da vazão média anual e 1 ^o	47
Quadro 4: Prioridades no atendimento das demandas dos elementos utilizados na simulação..	53
Quadro 5: Condições hídricas em cada período da série de vazões naturais.	62
Quadro 6: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) utilizados para a 1 ^a rodada de simulação	68
Quadro 7: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) da CHid 'seca' utilizados para a 2 ^a rodada de simulação.....	69
Quadro 8: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) da CHid 'média' utilizados para a 2 ^a rodada de simulação.....	69
Quadro 9: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) da CHid 'úmida' utilizados para a 2 ^a rodada de simulação.....	69
Quadro 10: Regimes dinâmicos de vazão (m ³ /s) da CHid 'muito úmida' utilizados para a 2 ^a rodada de simulação	70
Quadro 11: Frequência com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.	75
Quadro 12: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada	75
Quadro 13: Frequência em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.	76
Quadro 14: Frequência com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.	77
Quadro 15: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada	77
Quadro 16: Frequência em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.	78
Quadro 17: Frequência com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária – 3 ^a Rodada.	80
Quadro 18: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada – 3 ^a Rodada	80
Quadro 19: Frequência em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.	81
Quadro 20: Frequência com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.	82
Quadro 21: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO GERAL	14
2.1	Objetivos Específicos.....	14
3	MODELOS DE FUNCIONAMENTO DE AMBIENTES FLUVIAIS	15
3.1	Conceito do Contínuo Fluvial	15
3.2	Conceito de Descontinuidade Serial	16
3.3	Conceito do Pulso de Inundação	17
3.3.1	Importância Ecológica das Planícies Inundáveis	18
4	VAZÃO ECOLÓGICA.....	22
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO	35
5.1	Usinas Hidrelétricas da Área de Estudo do Rio São Francisco	39
5.1.1	Usina Hidrelétrica de Sobradinho	40
5.1.2	Usina Hidrelétrica de Itaparica.....	41
5.1.3	Usina Hidrelétrica do Complexo Paulo Afonso – Moxotó.....	41
5.1.4	Usina Hidrelétrica de Xingó	42
6	METODOLOGIA	44
6.1	Obtenção dos Dados	44
6.2	Análise dos Dados Hidrológicos	46
6.3	Regime Dinâmico de Vazão.....	48
6.4	Modelo de Simulação Do Sistema Hídrico.....	50
6.4.1	Desenho dos Cenários das Vazões no Baixo Curso do Rio São Francisco.....	52
6.4.2	Simulação da Geração Hidrelétrica	56
7	AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DO BAIXO TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO	60
8	REGIME DINÂMICO DE VAZÃO NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO	67
9	SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA: GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA VERSUS REGIME DINÂMICO DE VAZÕES	74
9.1	Primeira Rodada de Simulação	74
9.2	Segunda Rodada de Simulação	77

9.3	Terceira Rodada de Simulação.....	79
10	CONCLUSÃO	84
11	RECOMENDAÇÕES	88
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – DADOS DE ENTRADA PARA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA NO ACQUANET (CHESF, 2008; ONS, 2008)	98
	ANEXO A – QUADRO DE METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS (IWMI, 2007)	100
	ANEXO B – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS USINAS HIDRELÉTRICAS DO SIN	111
	ANEXO C – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS PARA ESTUDO DE REGIMES DE VAZÕES ECOLÓGICAS (AMORIM e CIDREIRA, 2006)	112

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência da água na natureza caracteriza-se por uma variabilidade temporal e espacial decorrente de características geográficas e climáticas. Em consequência, apresenta escassez em determinadas regiões e épocas do ano, e abundância em outras.

Os múltiplos usos da água e o consequente aumento da demanda fizeram surgir problemas de demandas conflitantes. De acordo com Lanna (1997), esses conflitos podem ser:

- ✓ Conflitos de destinação de uso: ocorrem quando a água é utilizada para atender a outro tipo de uso que não seja os estabelecidos em projeto;
- ✓ Conflitos de disponibilidade qualitativa: ocorrem quando existe degradação da qualidade da água devido ao lançamento de poluentes tornando a água inadequada para determinados usos;
- ✓ Conflitos de disponibilidade quantitativa: ocorrem devido ao uso intensivo da água ocasionando, em alguns casos, a escassez dos recursos hídricos.

O uso da água a montante em ponto de um rio impacta a satisfação do usuário a jusante. A disponibilidade de água de uma bacia hidrográfica deve atender aos diversos usos em toda sua extensão, sendo eles: abastecimento para população, abastecimento de indústrias, conservação do ecossistema, dessedentação de animais, calado para navegação, irrigação de áreas agrícolas, aquicultura, produção de energia por meio de hidrelétricas, recreação, turismo etc.

Na década de 50, a industrialização no Brasil desencadeou a construção de usinas hidrelétricas de grande porte. Com o crescimento da população e o consequente aumento da demanda por água, passou-se a construir, na década de 70, reservatórios para controle do regime do rio, a fim de evitar longos períodos de seca e inundações devastadoras (BRANDÃO, 2004).

Com o passar do tempo os impactos das interferências antrópicas no meio natural foram tornando-se visíveis e com consequências negativas para o ecossistema,

comprometendo o bem-estar social e econômico do próprio homem. Diante dos problemas desencadeados pela regularização fluvial foram intensificados os estudos sobre a quantidade de água que deve permanecer no rio, após as retenções e retiradas para o uso, a fim de não comprometer a biodiversidade aquática.

Essa quantidade de água foi denominada 'vazão ecológica', que por muitos anos entendeu-se por uma vazão mínima constante ao longo de todo o ano, geralmente maior que a vazão mínima natural do rio. Assim, assumia-se que se o ambiente suporta vazões menores que a "ecológica" então uma vazão única maior irá satisfazer a fauna e flora dependentes do sistema fluvial. Atualmente existe um consenso de que a vazão ecológica deve variar durante o ano, aproximando-se do regime hidrológico natural, que é particular para cada rio – 'paradigma das vazões naturais' proposto por Poff *et al.* (1997).

De acordo com O'Keeffe (2006), o regime de vazões ecológicas compreende um fluxo adequado em quantidade, qualidade e sincronismo com o ecossistema local, considerando os múltiplos usos da água. Isso significa que para ter uma vazão ecológica em um rio tem que haver estudos multidisciplinares com objetivos de atender aos diversos usos das águas em termos quali-quantitativos, incluindo a demanda ambiental como uma necessidade preferencial.

Além disso, O'Keeffe (2006) expõe algumas questões que devem ser respondidas ao longo dos estudos de vazões ecológicas em um rio:

- ✓ Como era o ecossistema?
- ✓ Como ele está agora?
- ✓ Quais as condições seriam desejáveis que ele estivesse?
- ✓ Que vazão e qualidade da água são necessárias?
- ✓ Qual a relevância disso?
- ✓ Como implementar?
- ✓ Como saber se os objetivos estão sendo alcançados?

Além da preocupação em relação à quantidade de água disponível para os usos que possam ocorrer em uma determinada região, é importante abordar a qualidade dos corpos d'água como forma de tratar da vazão ecológica em sua plenitude, considerando sempre que os aspectos quali-quantitativos são indissociáveis.

Em conjunto com estudos hidrológicos e ecológicos, que tradicionalmente são fundamentais para a definição de vazões ecológicas, têm sido agregados aspectos socioeconômicos e culturais das comunidades ribeirinhas como forma de equilibrar as demandas por água entre os diversos grupos de interesse.

Apesar de diversos estudos, a ecologia não tem conseguido fornecer subsídios imediatos para soluções de problemas ambientais, com predições seguras. Para Starzomski *et. al* (2004), o grande desafio é prognosticar resultados e analisar compensações, essenciais para a tomada de decisão e negociação entre os grupos de interesse. Segundo Hansson (2003), essa dificuldade deve-se ao alto nível de variabilidade que é o maior obstáculo para compreender e prever relações ecológicas. Já para Stanford e Ward (2001), a ecologia de rios regulados tem se tornado uma ciência preditiva porque as respostas biofísicas têm sido repetidamente observadas em rios em todo o mundo.

Neste trabalho, foram identificados os aspectos naturais do regime hidrológico do rio São Francisco que é a primeira etapa para o estudo de vazões ecológicas e deve estar de acordo com as características fluviais antes da interferência. Para a simulação hidrológica, é importante ressaltar que foram determinados regimes de vazões com padrões hidrológicos semelhantes ao regime natural do rio e não exatamente a vazão ecológica, pois esta última requer estudos multidisciplinares e não apenas a quantidade de água que deve ser mantida. Por isso, nesse trabalho foi utilizada a expressão 'Regime Dinâmico de Vazão' (RDV) ao invés de 'Regime de Vazão Ecológica', que compreende uma idéia mais ampla. Porém, a identificação de um regime hidrológico que atenderia as demandas ambientais é um primeiro passo para chegar a um regime de vazão ecológica, e isso não deve ser desprezado.

2 OBJETIVO GERAL

Esta dissertação visou identificar os compromissos entre a geração hidrelétrica e a adoção de um regime dinâmico de vazões no trecho baixo do rio São Francisco, por meio de simulação de cenários de demandas ambientais distintas das vazões mínimas atuais a jusante dos barramentos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Compreender o impacto do sistema de reservatórios localizado no trecho Submédio do rio São Francisco sobre o regime hidrológico do trecho baixo do rio;
- ✓ Identificar padrões hidrológicos similares ao que ocorriam antes da implantação dos reservatórios supondo que estes permitiriam a inundação de lagoas marginais potencializando alguns processos ecológicos nas calhas fluviais e adjacências;
- ✓ Discutir e propor regimes dinâmicos de vazões para o baixo trecho do rio São Francisco, visando cumprir o papel ecológico da variação das vazões;
- ✓ Calcular o impacto na geração de energia hidrelétrica devido à adoção de regimes dinâmicos de vazões, distintos das restrições mínimas atuais.

3 MODELOS DE FUNCIONAMENTO DE AMBIENTES FLUVIAIS

3.1 CONCEITO DO CONTÍNUO FLUVIAL

O Conceito do Contínuo Fluvial (*River Continuum Concept* - RCC), proposto por Vannote *et al* (1980) é baseado na teoria do equilíbrio de energia da geomorfologia fluvial, que afirma que desde a nascente até a foz as variabilidades físicas dentro do sistema fluvial apresentam um contínuo gradiente de condições.

Neste conceito, os processos fluviais são destacados apenas nas dimensões longitudinal e temporal, tornando irrelevantes os efeitos da profundidade e das inundações laterais sazonais. Dessa forma, o rio é subdividido em três trechos principais: cabeceira (1ª à 3ª ordem); médio curso (4ª à 6ª ordem) e baixo curso (> 6ª ordem). Cada trecho possui características distintas, tais como, vazão, morfologia do canal, carregamento de detritos, tamanho da partícula de material orgânico, produção autotrófica, dentre outras, que determinam um contínuo ajuste biótico ao longo do rio.

Na cabeceira predomina a entrada de material orgânico alóctone, devido ao sombreamento da vegetação ciliar. Alcançando os limites do médio curso, a vazão aumenta junto com a produção primária autóctone e o transporte orgânico de montante. O baixo curso recebe grande quantidade de partículas finas de matéria orgânica e apesar de não existir influência da vegetação, a produção primária é limitada devido a grande profundidade e alta turbidez. As comunidades biológicas fluviais se ajustam a este gradiente de condições de forma a utilizar eficientemente a entrada de energia, com o mínimo de perda. Para isso, comunidades que se estabelecem à jusante dão continuidade aos processos ineficientes da montante.

Além da busca por eficiência energética ao longo do rio, existe também a manutenção do equilíbrio do fluxo de energia no decorrer do tempo. As comunidades biológicas formam uma seqüência de espécies sincronizadas que se revezam sazonalmente. Quando uma espécie completa seu crescimento ela é

substituída por outra, que exerce a mesma função, distribuindo ao longo do ano a utilização da energia.

O conceito do contínuo fluvial descreve a estrutura e função de comunidades ao longo de um sistema fluvial sem interferências antrópicas, fornecendo subsídios para a integração de processos bióticos e abióticos. Segundo Vannote *et al* (1980), o modelo pode ser ajustado para sistemas fluviais com interferências não naturais, particularmente quando é alterado o grau de relação entre autotrofia e heterotrofia, ou é afetada a capacidade do transporte.

3.2 CONCEITO DE DESCONTINUIDADE SERIAL

O conceito da descontinuidade serial (CDS) foi proposto por Ward e Stanford em 1983 como uma extensão do conceito do contínuo fluvial. Baseado no modelo de Vannote (1980), o CDS prevê respostas de ecossistemas fluviais para fluxos regulados e propõe que os rios têm uma tendência para recuperar suas condições naturais a partir de certa distância de uma barragem.

Esta distância de descontinuidade é teoricamente previsível e estimada a partir da análise de diversas variáveis bióticas e abióticas. Quanto mais distante for esse ponto de recuperação, partindo da barragem, maior é a extensão fluvial impactada e mais difícil será a recuperação das condições naturais do ambiente. A intensidade do efeito é mensurada baseando-se em condições a montante e em afluentes desregulados. Stanford e Ward (2001) apresentaram medidas de distâncias descontínuas para nove rios em seis países.

Ward e Stanford (1995) estenderam o conceito acrescentando a dimensão lateral, além da longitudinal que é enfatizada no conceito do contínuo fluvial. A expansão baseou-se em estudos sobre planícies inundáveis que passaram a ocorrer a partir de 1989, tal como o conceito do pulso de inundação.

3.3 CONCEITO DO PULSO DE INUNDAÇÃO

A topografia de uma planície fluvial é composta pela planície de inundação, pelo leito maior excepcional, leito maior sazonal, leito menor, leito de vazante e dique marginal, como apresentado na **Figura 1** (CHRISTOFOLETTI, 1981).

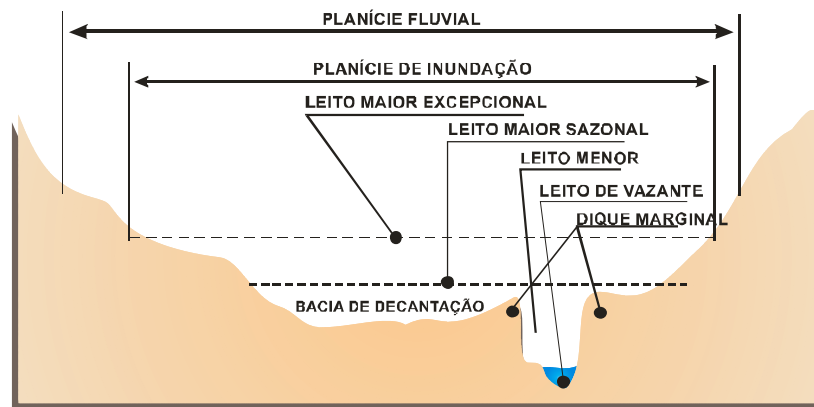


Figura 1: Representação esquemática de uma seção transversal de uma planície fluvial (adaptado de Christofolletti, 1981).

O regime hidrológico fluvial é caracterizado pela variabilidade dos fluxos, tanto no sentido de montante para jusante como no sentido vertical e lateral, além da dimensão temporal (**Figura 2**). Nos períodos secos as águas fluem pelo leito de vazante variando até o leito menor; nas cheias, o nível do rio varia entre o leito menor e o sazonal maior, que é regularmente ocupado, pelo menos uma vez ao ano, alagando a planície de inundação. O leito maior excepcional apenas é submerso nas grandes enchentes, em intervalos irregulares.

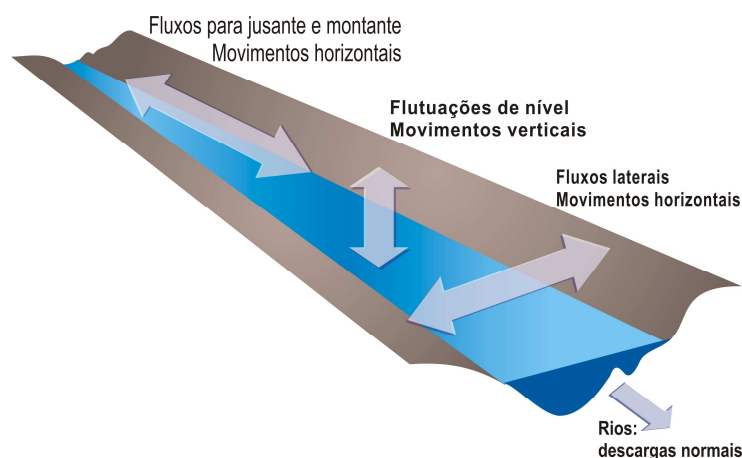


Figura 2: Representação esquemática da dinâmica hidrológica quadri-dimensional de um rio.

Assim, baseado nas características fluviais de grandes rios tais como Amazonas e Mississipi, o conceito do pulso de inundação foi formulado a partir de discussões durante o 1º simpósio de grandes rios sobre a aplicabilidade do conceito do contínuo fluvial em sistemas rio – planície de inundação (JUNK *et al*, 1989). Este conceito enfoca as trocas laterais de água, nutrientes e organismos entre o canal do rio e a planície conectada.

De acordo com Junk *et al* (1989), as flutuações de nível d'água ou os pulsos de inundação periódicos controlam os sistemas de planície que se ligam aos corpos d'água por intermédio de uma zona úmida transicional, determinando comunidades de plantas e animais, produção primária e secundária e ciclo de nutrientes.

O conceito foi construído como um modelo geral para sistemas rio-planície de inundação e a importância ecológica é válida tanto para os períodos de cheia quanto os de estiagem. A seguir, as características e a importância ecológica dos sistemas rio-planície de inundação são abordadas, baseadas no conceito do pulso de inundação.

3.3.1 Importância Ecológica das Planícies Inundáveis

De acordo com Christofolletti (1981), planícies inundáveis são faixas do vale fluvial com baixa declividade, que sazonalmente são alagadas por cheias de determinada magnitude e frequência. A alternância entre inundação e emersão é o aspecto fundamental que controla a erosão e a deposição nas planícies definindo comunidades bióticas, processos biológicos e ambientes característicos em ecossistemas fluviais.

O transbordamento das águas do rio ocorre na condição de vazão de margens plena em que acima desse valor inicia-se a faixa de inundação das planícies. Essa faixa varia ao longo do rio, aumentando gradativamente com o aumento da ordem do rio e surgindo como resposta à magnitude e frequência das cheias (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Os ambientes rio-planícies de inundação são caracterizados pela transição entre os ecossistemas aquático e terrestre, refletindo no desenvolvimento de vegetação específica. A disponibilidade de áreas úmidas em períodos que ocorrem naturalmente durante o ano permite a germinação de espécies da flora aquática e anfíbia de ciclo curto (**Figura 3**).

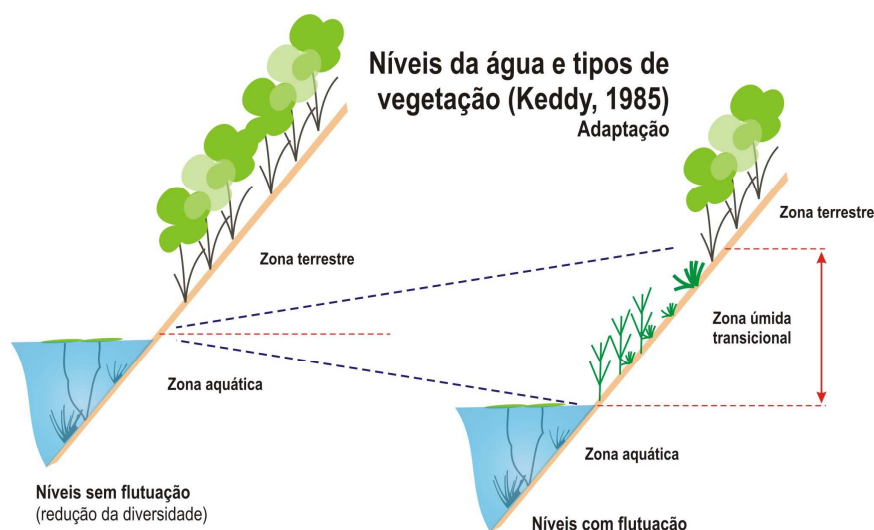


Figura 3: Influência dos níveis fluviométricos na diversidade de vegetação marginal. (Adaptação de Keddy, 1985)

As espécies vegetais mais tolerantes à umidade desenvolvem-se próximas ao curso d'água e as espécies características de solos bem drenados crescem próximas à zona terrestre, compondo um ambiente rico em diversidade (OLIVEIRA, 2004).

A vegetação ciliar tem papéis importantes na biodiversidade do rio, além de controlar o excesso de nutrientes e sedimentos que alcançam o leito por meio do alagamento sazonal das planícies, forma corredores que interligam os remanescentes de matas. À medida que regula a entrada de nutrientes no rio, a exemplo de algumas espécies de macrófitas aquáticas que auxiliam na remoção de nitrogênio e fósforo da água, fornece matéria orgânica com a sua decomposição (PEDRALLI; TEIXEIRA, 2003).

A inundação das áreas marginais auxilia o processo de decomposição, pois no leito do rio existem maiores níveis de oxigênio dissolvido. A matéria orgânica degradada e acumulada no solo durante o período seco é incorporada à água, retardando o

assoreamento das lagoas marginais, pois evita o acúmulo de material nestes ambientes (THOMAZ *et al.*, 2003).

Ao iniciar o decréscimo do nível d'água, os ambientes lacustres desconectam-se do leito principal do rio, drenando sedimentos e aumentando o nível de oxigênio dissolvido nas lagoas (HENRY, 2003). No decorrer do período de baixos níveis fluviométricos as plantas aquáticas que se beneficiaram das áreas alagadas no período de cheia morrem e liberam nutrientes para as áreas inundáveis que estão expostas. Esses nutrientes são acumulados no solo e utilizados pela vegetação terrestre que irá se desenvolver (THOMAZ *et al.*, 2003).

A entrada de sedimentos e de matéria orgânica fornece a matéria prima que cria a estrutura física do habitat, os substratos e os locais de desova, e armazena os nutrientes que sustentam as plantas e os animais aquáticos (BARON *et al.*, 2003). Durante as cheias, a retenção de sedimentos e matéria orgânica pelas raízes da vegetação forma microhabitat para pequenos animais e outras plantas que se fixam nesse substrato (PEDRALLI; TEIXEIRA, 2003).

Assim como a vegetação, os ciclos biológicos da fauna estão sincronizados com as variações sazonais do regime hidrológico. As características das vazões, como as amplitudes, durações, frequências, taxas de recessão e ascensão e a época em que ocorrem as cheias e secas, acionam processos migratórios com a finalidade de reprodução ou busca por alimento. Além disso, as inundações facilitam a distribuição de organismos pelo rio, proporcionando diversidade de habitats para peixes adultos e condições de sobrevivência para alevinos (BARON *et al.*, 2003).

Quando inicia o período de vazante as águas escoam das planícies para o leito do rio, desconectando lagoas marginais e tornando favoráveis as condições do ambiente para espécies da fauna e flora que são diferentes dos períodos de cheia.

Como se observa no caso do rio São Francisco os reservatórios modificaram a dinâmica natural do ambiente no trecho a jusante das barragens, desfazendo a continuidade do rio, diminuindo a frequência e alterando a duração e período de

inundações das planícies. Isso tem causado desaparecimento de lagoas marginais no baixo curso do rio que funcionam como berçários para alevinos, impactando a pesca e o plantio em áreas férteis deixadas pelas águas em épocas de vazante (RIEPPER, 2001).

A alternância na situação do ambiente – períodos de cheia e seca – fornece oportunidade a todos os organismos, em épocas distintas, de sobrevivência no meio. Assim, todos os processos biológicos que ocorrem no ecossistema são interligados e sincronizados com fatores abióticos. Qualquer alteração no padrão da dinâmica fluvial desarmoniza o sistema rio - planícies de inundação desregulando o fluxo de nutrientes e sedimentos e descontrolando a relação entre o regime hidrológico e o ciclo de vida da fauna e flora, comprometendo a biodiversidade local.

4 VAZÃO ECOLÓGICA

A implantação de barragens em um curso d'água tem diversas finalidades voltadas para o desenvolvimento econômico e social de uma região, tais como geração de energia elétrica, retenção de água para irrigação, abastecimento de cidades, controle de inundações etc. Com isso, o regime fluvial passa a ser controlado para suprir as demandas de uso da água pelo homem, atenuando cheias e secas a fim de tornar o rio e a disponibilidade hídrica regularizados.

A regularização do rio por barragens provoca uma descontinuidade longitudinal formando a montante um ambiente lântico e a jusante um ambiente lótico com alterações na variabilidade das vazões. O controle artificial na dinâmica hidrológica altera as magnitudes e frequências dos fluxos verticais e laterais, afetando todo o sistema fluvial, tanto no leito quanto nas planícies de inundação e lagoas marginais (HENRY, 1999).

A desaceleração do fluxo ao atingir a zona do reservatório propicia a deposição de sedimentos no fundo, assoreando o leito e aumenta a largura do rio nesta seção, inundando as planícies ao redor por um período mais prolongado do que ocorria naturalmente ou até permanentemente (**Figura 4**). Junto com os sedimentos, são depositados ovos e larvas que em condições normais seriam levados pela turbulência das águas para lagoas, embaixamentos ou empoçamentos marginais onde teriam condições adequadas ao desenvolvimento (BIZERRIL; PRIMO, 2001).

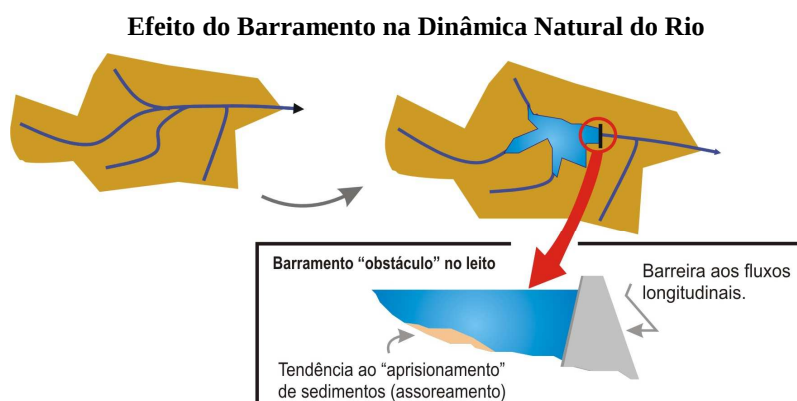


Figura 4: Impacto do barramento na hidrodinâmica do rio

Ao contrário do que ocorre a montante, nos trechos a jusante há uma redução da área inundada impactando a conexão entre as lagoas da planície fluvial, assim as planícies ficam expostas durante todo o ano ou submersas em períodos irregulares, prejudicando espécies que desovam nas margens, pois as oscilações bruscas podem expor ovos, larvas e alevinos ao dessecação e espécies de peixes migratórias que desovam a montante das barragens, mas alimentam-se e crescem nas lagoas marginais (BIZERRIL; PRIMO, 2001).

A regularização do fluxo dos rios traz prejuízos ecológicos em todo o sistema fluvial, tanto no leito quanto nas planícies de inundação. Para minimizar os problemas gerados pela implantação de barragens foram desenvolvidas metodologias para determinar o quanto de água deve ser mantido no leito do rio a fim de proteger o ecossistema aquático.

Ao longo das últimas décadas, existiu apenas a idéia de manutenção de uma vazão mínima no leito do rio, acreditando-se que assim a fauna e flora estariam sobrevivendo em condições satisfatórias. Porém, diversos estudos recentes (COLLISCHONN *et al.*, 2005; LUZ *et al.*, 2005; O'KEEFFE, 2006; RICHTER *et al.*, 2003) afirmam que a saúde do ambiente aquático-terrestre depende da variação sazonal da vazão do rio e não de um nível médio ao longo de todo ano. Essa variação sazonal com o propósito de proteção ambiental é denominada de regime de vazões ecológicas que incluindo os múltiplos usos, forneceria ao ecossistema aquático e a sociedade condições mais adequadas.

Existem muitas definições para 'vazão ecológica', que também é conhecida por vazão ambiental, remanescente ou residual (GONDIM, 2006). São descritas a seguir algumas definições apresentadas por Sarmento (2007).

- ✓ Vazão Ecológica: demanda necessária de água que deve ser mantida em um rio com a finalidade de assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos e aspectos da paisagem (BERNARDO, 1996);
- ✓ Vazão Ambiental, Residual ou Remanescente: quantidade de água que permanece no leito dos rios após as retiradas para atender usos consuntivos e não consuntivos com energia elétrica. (BENNETTI, 2003); Regime de vazões a ser mantido no rio, nas áreas úmidas e nas áreas costeiras de modo a preservar os ecossistemas e seus benefícios onde existir conflitos pelos usos da água e onde as vazões são reguladas (GONDIM, 2006);
- ✓ Vazão de Preservação Ambiental: vazão necessária para manter as funções dos ecossistemas que compõem o rio. São as vazões que preservam as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade com o ciclo da vida das espécies, da fauna, da flora e a taxa de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao curso de água (CRUZ, 2001);
- ✓ Vazão Mínima Residual: valor de referência que deve ser mantido no trecho de um rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água (COLLISCHONN, 2005);
- ✓ Vazão Mínima Ecológica: vazão que se deve garantir a jusante de uma barragem ou tomada de água, para que se mantenham as condições ecológicas naturais de um rio (GONDIM, 2006).

De acordo com Sarmento (2007), todas as terminologias utilizadas para vazão ecológica são equivalentes, levando em consideração que todas exprimem o objetivo de preservar o ecossistema fluvial, mesmo que de forma indireta.

Já para O’Keeffe (2006), o regime de vazões ecológicas, para ser atendido em sua plenitude, deve compreender um fluxo adequado não apenas em quantidade, mas em qualidade e sincronismo com o ecossistema local, respeitando os múltiplos usos da água.

Para a determinação da vazão ecológica têm-se utilizado métodos variados, com classificação em vários grupos. Segundo Sarmento (2007), existem em torno de 207 metodologias distribuídas em 44 países (**ANEXO A**). O **Quadro 1** apresenta grupos de métodos e técnicas apresentadas por alguns autores:

Quadro 1: Classificação de métodos e técnicas para determinação de vazão ecológica segundo alguns autores (BENETTI *et al.*, 2003).

McMahon (1992)	Stalnaker <i>et al.</i> (1995)	Tharme e King (1998)
Métodos das descargas históricas	Técnicas de fixação de padrões	Métodos hidráulicos de classificação
Métodos de limites mínimos de sobrevivência	Técnicas intermediárias	Métodos de classificação de habitats
Métodos de simulação de habitats	Técnicas incrementais	Métodos hidrológicos
		Métodos holísticos

Benetti *et al.* (2003) subdividiram os grupos de métodos desenvolvidos por diversos autores em seis categorias, acrescentando as categorias que utilizam regressões múltiplas e métodos informais. A seguir são apresentados diversos métodos para a determinação de vazões ecológicas, classificando-os de acordo com as categorias propostas por Benetti *et al.* (2003).

- **Métodos hidrológicos:** usam dados históricos de descargas para determinar a vazão ecológica, são eles:
 - ✓ Método da vazão média mínima de 7 dias com período de recorrência de 10 anos - $Q_{7,10}$: sugere vazões ecológicas baseado numa série histórica de vazão mínima que se observa durante sete dias consecutivos, para um período de retorno de dez anos;
 - ✓ Método Northern Great Plains Resource Program (NGPRP): recomenda vazões ecológicas para a postura e crescimento de

espécies de peixes e de vazões de descarga para o transporte de sedimentos. A vazão ecológica recomendada para cada mês é igual à vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo, com exceção para os meses de vazões mais elevadas, nos quais a vazão ecológica corresponde à vazão que é igualada ou excedida em 50% do tempo (SARMENTO, 2007).

- ✓ Método de Montana (TENNANT, 1976): desenvolvido a partir de observações sobre habitats e vazões feitas durante 10 anos nos Estados americanos de Montana, Nebraska e Wyoming;
 - ✓ Método da vazão aquática de base: utiliza vazão mediana do mês de menores vazões do ano, ou seja, período de estiagem;
 - ✓ Método da curva de permanência: baseado nos registros históricos.
- **Métodos de classificação hidráulica:** consideram as mudanças em variáveis hidráulicas em uma seção transversal do rio.
 - ✓ Método do perímetro molhado: relaciona o perímetro molhado com a vazão para garantir as necessidades de desova e passagem de peixes.
 - **Métodos utilizando regressões múltiplas:** correlacionam variáveis ambientais com o tamanho das populações de peixes e invertebrados.
 - **Métodos de classificação de habitats:** combinam as características hidráulicas de um trecho de rio, tais como velocidade, profundidade e substrato, com preferências de habitat para uma dada espécie.
 - ✓ Instream Flow Incremental Methodology (IFIM): utiliza o modelo Physical Habitat Simulation System (PHABSIM), simulando a

qualidade e quantidade de habitats em função das variações na vazão.

- **Metodologias holísticas:** consideram as necessidades do ecossistema e suas inter-relações, identificando os eventos críticos decorrentes da variabilidade das vazões. Utiliza a combinação de diversos métodos para alcançar resultados mais satisfatórios.
 - ✓ Building Blocks Methodology – BBM (Construção de blocos): desenvolvido na África do Sul e Austrália pelo Department of Water Affairs and Forestry e cientistas da University of Cape Town (BENETTI *et al.*, 2003);
 - ✓ Ecologically Sustainable Water Management – ESWM (Manejo Ecologicamente Sustentável da Água – MESA): proposto por Richter *et al.* (2003). Visa o gerenciamento dos recursos hídricos para o atendimento aos usos múltiplos da água, incluindo as necessidades dos ecossistemas.
 - ✓ Downstream Response to Imposed Flow Transformations (DRIFT) - desenvolvido na África utilizando aspectos sócio-econômicos (BROWN; KING, 2000).
- **Métodos informais:** negociação entre grupos com interesses conflitantes em relação ao uso da água, pesquisa de opinião entre usuários etc.

Diversos autores (RICHTER *et al.*, 1997; Keddy, 2000; RICHTER *et al.*, 2003; LUZ *et al.*, 2004; COLLISCHONN *et al.*, 2005; O'KEEFFE, 2006) defendem um regime de vazões ecológicas de forma a preservar as características peculiares a cada época do ano, ao contrário dos métodos tradicionalmente utilizados que definem uma vazão mínima única que não reflete a realidade natural. Com o intuito de suprirem falhas encontradas em métodos estritamente hidráulicos e hidrológicos, surgiram

metodologias que incluem nas suas etapas as necessidades do ecossistema e a solução de forma participativa (**ANEXO C**).

O método *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM) utiliza o modelo *Physical Habitat Simulation System* (PHABSIM), simulando a qualidade e quantidade de habitats em função das variações na vazão. Essa metodologia divide-se em cinco fases:

- ✓ Identificação do problema: análise legal-institucional e física;
- ✓ Planejamento do estudo: elaboração de um plano para aplicação do método;
- ✓ Implementação do estudo: coleta de dados e utilização do modelo de simulação de habitats;
- ✓ Análise de alternativas: comparação das alternativas apresentadas pelos usuários com as condições de referência;
- ✓ Resolução do problema: solução negociada entre os pontos conflitantes.

O método *Building Blocks Methodology* (BBM) foi desenvolvido na África do Sul e Austrália pelo *Department of Water Affairs and Forestry* e cientistas da *University of Cape Town*. As etapas deste método abordam diagnóstico ambiental, elaboração de um plano de propostas por uma equipe multidisciplinar e análise e escolha de cenários alternativos, considerando os aspectos econômicos e custos para atingir ou manter o cenário escolhido (THARME e KING, 1998).

Na África também foi desenvolvido a metodologia holística *Downstream Response to Imposed Flow Transformations* (DRIFT) que compreende quatro módulos:

- ✓ Biofísico: descreve a condição presente do ecossistema de forma a prever a alteração em decorrência de mudanças nas vazões;

- ✓ Sociológico: identificação dos impactos aos usuários devido à alteração de vazões;
- ✓ Desenvolvimento de cenário: faz o cruzamento dos módulos biofísico e sociológico por meio de um banco de dados, de forma a prever as consequências de alterações de vazões;
- ✓ Econômico: descreve, para cada cenário, custos com mitigação e compensação.

Richter *et al.* (2003) propuseram um método para um manejo ecológico da água de forma a atender aos usos múltiplos, inclusive as demandas do ecossistema. A metodologia proposta - denominada *Ecologically Sustainable Water Management* (ESWM) - é composta de seis etapas:

- ✓ Estimar a vazão exigida pelo ecossistema;
- ✓ Determinar as influências das atividades humanas;
- ✓ Identificar áreas de potencial incompatibilidade;
- ✓ Diálogo colaborativo para busca de soluções;
- ✓ Conduzir experimentos de manejo de água para resolver incertezas;
- ✓ Projetar e implementar um plano de gestão adaptativo.

Em geral, estudos mais simples utilizam métodos hidrológicos e hidráulicos, adotando um valor único de vazão, baseada apenas em séries históricas e morfologia do canal fluvial. Estudos mais completos têm utilizado as metodologias IFIM, BBM e ESWM, que reconhecem a importância de uma visão holística no

gerenciamento dos usos múltiplos da água, porém poucos explicitam claramente a relação entre hidrologia e biota.

Em aplicações na África do Sul, foi verificado que o método IFIM não foi adequado, pois o enfoque usado era para determinação de vazão para manutenção de ecossistemas enquanto que o IFIM é aplicado para determinar vazões para sobrevivência de espécies individuais de peixes (BENETTI *et al.*, 2003). Nesse país é adotado o método *Building Blocks Methodology* (BBM) e para análises preliminares são utilizados métodos hidrológicos. O BBM apresenta etapas que incluem diagnóstico ambiental, elaboração por uma equipe multidisciplinar de um plano de propostas e análise e escolha de cenários alternativos, considerando os aspectos econômicos e custos para atingir ou manter o cenário escolhido (KING; LOUW, 1998).

No Chile utilizam-se métodos hidrológicos com estimativas de vazões mínimas constantes ao longo do tempo. Dentre as dificuldades encontradas na aplicação de uma vazão ecológica pode-se mencionar: não há regulamentação do termo 'vazão ecológica' tornando o marco legal frágil para sua implementação efetiva; dificuldades em ter uma gestão integrada dos recursos hídricos e falta uma definição consistente do nível de conservação do ecossistema que se deseja (DOMÍNGUEZ; FINOTTI, 2005).

Para regiões semi-áridas do Sul de Portugal vêm sendo desenvolvidos estudos específicos, visto que os métodos tradicionalmente usados em cursos de água perenes não se aplicam em rios intermitentes que possuem grande variabilidade do regime hidrológico durante o ano. Os objetivos ambientais, nestes estudos, visam assegurar entre outras questões a mimetização do regime hidrológico natural; a manutenção das características geomorfológicas do leito, da zona e da vegetação ripária. Para atender a estes objetivos, a metodologia para vazão ecológica proposta utiliza a combinação de vários métodos como os hidráulicos e os de classificação de habitat, em cada etapa, para cada objetivo (ALVES; BERNARDO, 2000).

Na Austrália e na Nova Zelândia, a estratégia de gerenciamento dos recursos hídricos segue etapas bem definidas, após o levantamento de informações técnicas sobre o corpo hídrico em estudo. As etapas apresentadas levam em consideração a complexidade e a variabilidade das relações entre os processos ecológicos e a hidrologia (ANZECC; ARMCANZ, 2000):

- ✓ Definição de objetivos preliminares para o manejo: identificação dos valores ambientais para cada uso do corpo d'água e a localização em que cada valor será adotado;
- ✓ Determinação de metas: ajuste dos objetivos do manejo e definição de metas adequadas às características sócio-ambientais da região;
- ✓ Monitoramento e programas de avaliação: desenvolvimento de critérios e indicadores de desempenho para avaliar os resultados dos programas de monitoramento;
- ✓ Resultados preliminares: baseados em objetivos alcançados.

Vários Estados brasileiros utilizam métodos hidrológicos para determinar vazões com algum objetivo ecológico. Porém esta determinação é indireta, não existindo nenhuma abordagem ecológica em essência. A definição é por meio do critério de outorga de direitos de uso de água (BENETTI *et al.*, 2003).

No rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo, Pelissari e Sarmento (2001) determinaram uma vazão ecológica por meio da metodologia IFIM que levou em conta o habitat utilizado pelas espécies de peixe: *Geophagus brasiliensis* (Cará), o *Astyanax taeniatus* (Piaba) e o *Hypostomus affinis* (Cascudo). Foram determinados três valores de vazão mínima para atender a demanda ecológica, uma para cada trecho analisado.

Cruz (2005) desenvolveu uma metodologia para determinação de regimes de vazão ecológica em situação de carência de dados, utilizando como estudo de caso a

bacia do rio Santa Maria no Rio Grande do Sul. A etapa ecológica da metodologia foi baseada no cruzamento de informações de vegetação ao longo da planície de inundação e informações hidrológicas estimadas a partir de análise de pulsos.

Genz e Luz (2007) propuseram uma metodologia para considerar a variabilidade hidrológica inter-anual na definição de vazões ecológicas. A metodologia consiste na definição de um índice de condição hídrica da bacia hidrográfica (CHid), a partir da série histórica de vazão, classificando os anos em análise em categorias, 'muito seco', 'seco', 'médio', 'úmido' ou 'muito úmido'. Dessa forma, a avaliação da alteração hidrológica e a determinação de vazões ecológicas corresponderão às características de escoamento de cada ano. Brandão (2004) também realizou estudos de cenários hidrológicos classificando as séries de vazões afluentes as usinas hidrelétricas de Três Marias e Sobradinho em anos 'seco', 'mediano' e 'úmido', correspondendo às probabilidades de 25, 50 e 75%, respectivamente.

Para considerar a variabilidade climática na determinação de regimes de vazão ecológica é necessário obter a previsão da precipitação e variáveis climáticas, estimadas por modelos meteorológicos e de clima, e associar com modelos hidrológicos Chuva-Vazão, para conhecer em curto e longo prazo a previsão de vazões afluentes aos reservatórios. As condições de afluência nos reservatórios das usinas hidrelétricas influenciam na geração de energia e na vazão a jusante do sistema (ANEEL; OMM, 2004). Realizando-se uma previsão hidroclimática é possível utilizar o índice de condição hídrica da bacia hidrográfica para indicar qual regime de vazão ecológica deverá ser mantido a jusante de reservatórios, equilibrando o atendimento entre as demandas ambientais e de geração hidrelétrica.

Segundo observou-se em diversos trabalhos, atualmente existe um propósito para a aplicação de métodos holísticos e informais, pois permitem a participação dos usuários e negociação entre grupos com interesses conflitantes em relação ao uso da água. É indicado utilizar métodos que exigem informações menos complexas em casos de estudos com carência de dados, recursos materiais e humanos. Os métodos podem ser utilizados de forma complementar para obtenção de melhores resultados, como vem sendo aplicado em diversos países (BENETTI *et al.*, 2003).

Por essas experiências, fica nítida a importância do gerenciamento dos recursos hídricos com metas bem definidas, adequadas sócio-ambientalmente à região. As metodologias devem ser utilizadas de forma complementar e cada trecho de um rio deve ser abordado a partir de suas peculiaridades e necessidades de modo a atender realmente as necessidades ambientais das comunidades ribeirinhas (COLLISCHONN *et al.*, 2005).

Como já mencionado, a função da vazão ecológica é manter um fluxo adequado em quantidade, qualidade e sincronismo com o ecossistema local, simulando condições naturais. Porém, muitas vezes, não é possível fornecer ao ambiente as condições existentes antes da interferência antrópica, por isso é necessário decidir o grau de proteção que se deseja alcançar. Abaixo, segue um exemplo de objetivos ordenados hierarquicamente quanto ao grau de proteção (BEECHER, 1990):

1. Restauração das condições naturais originais: antes da interferência antrópica;
2. Não degradação com restauração parcial: melhorar a situação atual do ambiente;
3. Não degradação: manter a situação atual do ambiente;
4. Nenhuma perda de características bióticas e abióticas: eventuais perdas bióticas e abióticas devem ser compensadas em outros trechos do rio ou períodos do ano;
5. Fixação de percentagem de perda: consentimento de determinada degradação ambiental;
6. Nenhuma perda de diversidade genética: manutenção de um número mínimo de exemplares de cada espécie;
7. Sobrevivência de populações: preservação de *habitats* para sobrevivência de pelo menos um macho e uma fêmea de cada espécie.

No caso do baixo curso do rio São Francisco, não há estudos sobre a ecologia fluvial, sendo utilizado o método hidrológico de Montana, por ser mais simples, para a determinação da vazão mínima ecológica na Foz. Os métodos tradicionais para determinação de vazões mínima ecológica dão subsídios à determinação de

regimes dinâmicos de vazão, desde que adaptados de modo a atender a sazonalidade fluvial e as necessidades ambientais de cada bacia hidrográfica, tais como incorporando o uso do índice de condição hídrica (CHid) e realizando determinação de vazão mensal. É assim que as metodologias holísticas têm sido aplicadas, utilizando métodos hidrológicos e hidráulicos em associação com os efeitos das alterações hidrológicas sobre os aspectos sócio-econômicos, reconhecendo as interações ecológicas e o homem como parte de um mesmo ecossistema.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO

O rio São Francisco nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, a aproximadamente 1.200 m de altitude, atravessa o Estado da Bahia, fazendo a divisa deste Estado ao norte com Pernambuco e a divisa natural dos Estados de Sergipe e Alagoas, antes de desaguar no Oceano Atlântico, completando uma extensão de 2.863 km (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

A bacia do rio São Francisco possui uma área de aproximada de 639.000 km² e subdividi-se em trechos alto, médio, submédio e baixo. As principais características dessas regiões são descritas a seguir, de acordo com CODEVASF (2000).

- ✓ Alto São Francisco: estende-se desde a Serra da Canastra até a cidade de Pirapora (MG) abrangendo a Usina Hidrelétrica de Três Marias. A topografia é ligeiramente acidentada, com altitudes de 1.600 a 600 m;
- ✓ Médio São Francisco: compreende o trecho desde Pirapora até a cidade de Remanso (BA), nos Estados de Minas Gerais e Bahia. Os vales são encaixados em fraturas com desenvolvimento de profundas gargantas e *canyons*;
- ✓ Submédio São Francisco: estende-se de Remanso até a UHE Xingó (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003). A altitude varia de 800 a 200 m, com topografia ondulada e presença de vales abertos.
- ✓ Baixo São Francisco: Estende-se da UHE Xingó (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003) à foz, no Oceano Atlântico. A altitude varia de 200 m até o nível do mar, com presença de algumas serras que atingem 500 m.

O foco deste trabalho são as usinas hidrelétricas instaladas no trecho submédio do rio São Francisco e o regime hidrológico no baixo curso do rio que se estende do município de Pão de Açúcar à foz, no Oceano Atlântico, situando-se em áreas dos Estados de Sergipe e Alagoas.

De acordo com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004), o rio São Francisco apresenta a maior diversidade de peixes de água doce da região Nordeste, porém observa-se um número reduzido

Além do desaparecimento das lagoas marginais, os barramentos em série impedem os peixes migratórios de deslocar-se para montante do rio a fim de reproduzir (BOMFIM, 1999).

De acordo com depoimentos de moradores ribeirinhos do baixo trecho do rio São Francisco, apresentados no trabalho desenvolvido por Rieper (2001), praticava-se a agricultura de subsistência a base do cultivo de arroz em várzeas e em lagoas marginais ao rio. O regime sazonal da vazão possibilitava a pesca e o plantio em áreas férteis deixadas pelas águas em épocas de vazante. Atualmente o pescado está escasso devido à falta de inundações sazonais das lagoas marginais que serviam de locais para desova de peixes.

A várzea Matias de Souza, localizada no baixo curso do rio São Francisco, no período de baixas vazões do leito fica praticamente seca. Há extração de argila que é usada para confecção de artesanato de cerâmica, antigamente a várzea era usada para o plantio de arroz (**Figura 6**).



Figura 6: Extração de argila para artesanato na várzea Matias de Souza.

Além da função ecológica, não se deve esquecer que as planícies fluviais desempenham o papel de amortecimento das cheias em áreas urbanizadas, por isso tais áreas devem ter o uso de forma sustentável. O aterramento e ocupação de áreas de inundação do trecho baixo do rio São Francisco deve-se, principalmente, ao longo período de seca e redução da cota fluvial em decorrência da regularização,

que expõe as áreas por um tempo prolongado. Nesse intervalo a população avança em direção ao leito ficando sujeitas a inundações com prejuízos econômicos e até perdas de vidas (**Figura 7**).



Figura 7: Ocupação urbana das áreas de inundação no trecho baixo do rio São Francisco

Em 2004, a Agência Nacional de Águas (ANA), o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) e os órgãos gestores dos Estados elaboraram o Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013). Neste plano, apesar de existirem estudos sobre séries de vazões naturais do rio São Francisco, não há estudos sobre a ecologia fluvial que é um fator importante para a definição de um regime de vazões ecológicas. Em relação a essa definição, não houve trabalhos mais profundos, apenas a utilização do método hidrológico de Montana, por ser mais simples.

Constata-se, por meio do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco, que as informações disponíveis sobre a ecologia fluvial do baixo trecho do rio são insuficientes para a definição de um regime de vazões ecológicas que garanta a biodiversidade do sistema rio-planície de inundação. Então, foi adotado valor de $1.300\text{m}^3/\text{s}$ como vazão mínima ecológica na foz, até a realização de novos estudos para confirmação desse valor ou revisão utilizando outras metodologias. Porém, a ONS (2007) recomenda a redução para valores iguais ou inferiores a $1.100\text{m}^3/\text{s}$ quando necessário, por meio de instrumento legal, com a finalidade de proporcionar maior armazenamento nos reservatórios.

No Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco está sinalizado o desenvolvimento de estudo para o estabelecimento de um regime de vazões ecológicas como prioridade imediata, conforme deliberação do comitê.

5.1 USINAS HIDRELÉTRICAS DA ÁREA DE ESTUDO DO RIO SÃO FRANCISCO

No curso submédio da bacia do rio São Francisco, cinco represamentos e oito usinas hidrelétricas estão instalados em série, fornecendo energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN). No trecho alto do rio São Francisco está em operação a UHE Três Marias desde 1962 (**Figura 8**). Este trabalho aborda apenas as UHEs localizadas no trecho submédio do rio São Francisco, considerando que estas exercem uma influência maior sobre as alterações hidrológicas no baixo curso do rio.

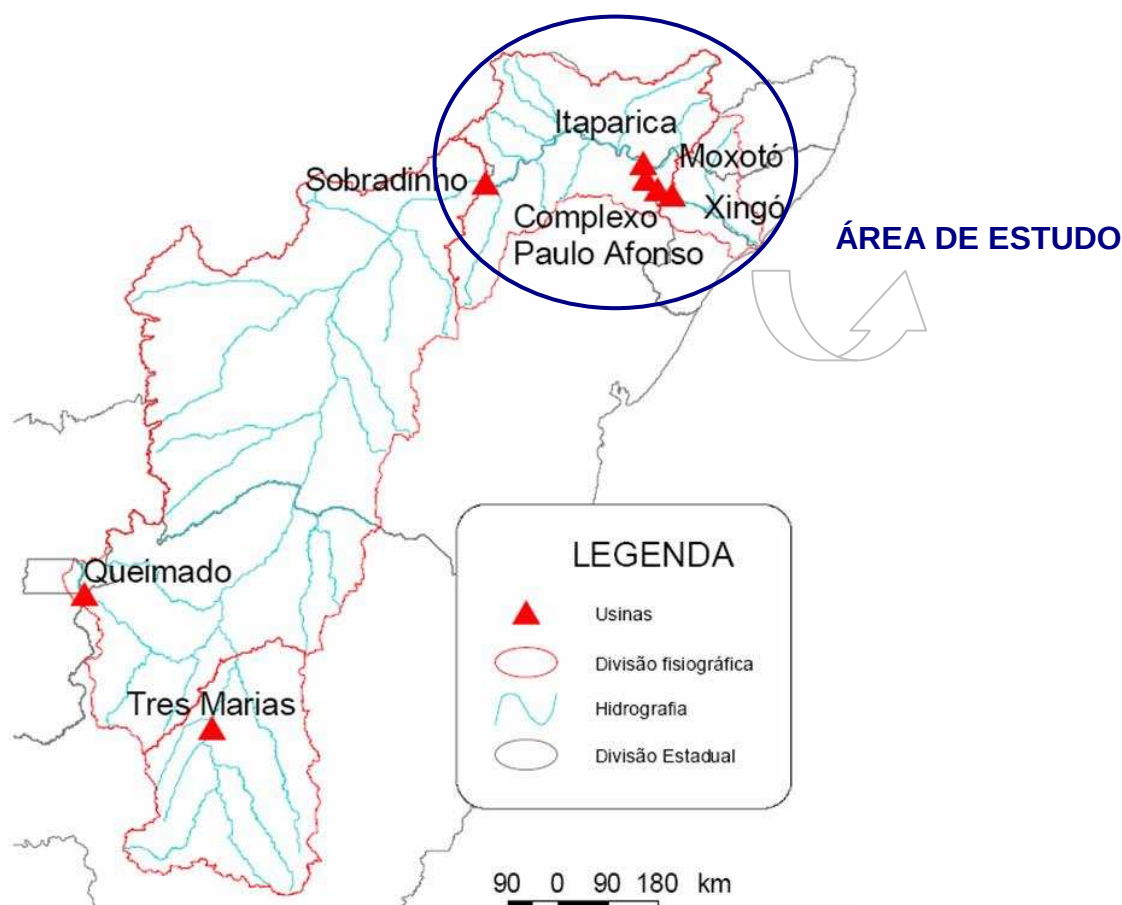


Figura 8: Usinas Hidrelétricas em operação com potência acima de 30MW.

Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004)

O primeiro aproveitamento hidrelétrico instalado foi o complexo Paulo Afonso – Moxotó com início das obras de Paulo Afonso I em 1948. Em 1979, todas as UHEs do complexo já estavam em operação. Em seguida foram instaladas as UHEs dos reservatórios de Sobradinho, Itaparica e Xingó (**Quadro 2**).

Quadro 2: Início das obras e operação das usinas hidrelétricas localizadas no submédio e baixo trecho do rio São Francisco.

USINAS HIDRELÉTRICAS	INÍCIO DAS OBRAS	INÍCIO DE OPERAÇÃO
Paulo Afonso I	1948	1955
Paulo Afonso II	1955	1961
Paulo Afonso III	1967	1971
Apolônio Sales (Moxotó)	1971	1977
Paulo Afonso IV	1972	1979
Sobradinho	1973	1979
Luiz Gonzaga (Itaparica)	1979	1988
Xingó	1987	1994

Fonte: www.chesf.gov.br

A seguir estão descritas as características de cada usina hidrelétrica, de acordo com CHESF (2008).

5.1.1 Usina Hidrelétrica de Sobradinho

A usina hidrelétrica de Sobradinho localiza-se no estado da Bahia distando da foz do rio São Francisco cerca de 748 Km. O reservatório de Sobradinho é o principal regularizador de vazões do rio (2.060 m³/s no trecho a jusante de Sobradinho até a foz) possuindo cerca de 320 Km de extensão, superfície de espelho d'água de 4.200Km² e volume máximo de 34.116 Mm³. A taxa de evaporação média no reservatório é igual a 139,08 mm/mês. O reservatório de Sobradinho possui as seguintes restrições de jusante (ONS, 2007):

- ✓ **Vazão máxima:** 8.000 m³/s para controle de cheia, correspondente ao tempo de recorrência de 15 anos;
- ✓ **Vazão mínima:** 1.300 m³/s, média diária;

- ✓ **Variação de nível:** taxa de variação máxima de 0,50 m na cidade de Juazeiro (BA).

Compreende a UHE de Sobradinho: casa de força com 6 unidades geradoras com potência unitária de 175.050 kW, totalizando 1.050.300 kW e engolimento mínimo por turbina de 710m³/s. As vazões turbinadas de Sobradinho seguem para o reservatório de Itaparica.

5.1.2 Usina Hidrelétrica de Itaparica

A usina hidrelétrica de Itaparica, que passou a se chamar Luiz Gonzaga, localiza-se no estado de Pernambuco distando da foz do rio São Francisco cerca de 312 Km. O reservatório de Itaparica tem a função de regularização das vazões afluentes diárias e semanais das usinas do complexo hidrelétrico de Paulo Afonso, por isso não existem restrições de jusante (ONS, 2007). A taxa de evaporação média no reservatório é igual a 134,25 mm/mês.

Compreende a UHE de Itaparica: casa de força com 6 unidades geradoras com potência unitária de 246.600 kW, totalizando 1.479.600 kW e engolimento mínimo por turbina de 457 m³/s. As vazões turbinadas de Itaparica seguem para o complexo Paulo Afonso - Moxotó.

5.1.3 Usina Hidrelétrica do Complexo Paulo Afonso – Moxotó

O complexo Paulo Afonso – Moxotó (PAM) integra as UHEs Paulo Afonso I, II, III, IV e Moxotó, localizadas na cidade de Paulo Afonso, no estado da Bahia, exceto Moxotó que encontra-se em Delmiro Gouveia, no estado de Alagoas.

As UHEs Paulo Afonso I, Paulo Afonso II e Paulo Afonso III possuem o mesmo represamento, já a vazão afluente a UHE Paulo Afonso IV é proveniente do

reservatório de Moxotó, em paralelo, através de um canal de derivação. O complexo PAM tem a seguinte constituição:

- Paulo Afonso I: casa de força com 3 unidades geradoras com potência unitária de 60.000 kW, totalizando 180.001 kW e engolimento mínimo por turbina de 84 m³/s;
- Paulo Afonso II: casa de força com 6 unidades geradoras, sendo 2 unidades com potência unitária de 70.000 kW, 1 unidade com potência unitária de 75.000 kW e 3 unidades com potência unitária de 76.000 kW, totalizando 443.000 kW. O engolimento mínimo médio por turbina é 120 m³/s;
- Paulo Afonso III: casa de força com 4 unidades geradoras com potência unitária de 198.550 kW, totalizando 794.200 kW e engolimento mínimo por turbina de 266 m³/s;
- Paulo Afonso IV: casa de força com 6 unidades geradoras com potência unitária de 410.400 kW, totalizando 2.462.400 kW e engolimento mínimo por turbina de 385 m³/s;
- Moxotó: casa de força com 4 unidades geradoras com potência unitária de 100.000 kW, totalizando 400.000 kW e engolimento mínimo por turbina de 550m³/s.

As vazões turbinadas de Paulo Afonso I, II, III, IV e Moxotó seguem para a UHE de Xingó.

5.1.4 Usina Hidrelétrica de Xingó

O aproveitamento hidrelétrico de Xingó localiza-se entre os estados de Alagoas e Sergipe, distando da foz do rio São Francisco cerca de 200 Km. O reservatório de Xingó tem operação a fio d'água, com o volume de 3.800 Mm³ e área superficial de 60 Km². A taxa de evaporação média no reservatório é igual a 134,25 mm/mês. O reservatório de Xingó possui as seguintes restrições de jusante (ONS, 2007):

- ✓ **Vazão máxima:** 8.000 m³/s para controle de cheia, correspondente ao tempo de recorrência de 15 anos;
- ✓ **Vazão mínima:** 1.300 m³/s, média diária para captação dos sistemas de abastecimento de água e projetos de irrigação.

Compreende a UHE de Xingó: casa de força com 6 unidades geradoras com 527.000 kW de potência unitária, totalizando 3.162.000 kW e engolimento mínimo por turbina de 500 m³/s.

6 METODOLOGIA

Foi empregada a metodologia detalhada adiante, para a avaliação das alterações hidrológicas decorrentes de sistemas de reservatórios e para a determinação dos padrões hidrológicos propostos para o Regime Dinâmico de Vazão (RDV) a ser praticado a jusante do sistema de usinas hidrelétricas da CHESF (baixo trecho do rio), visando atingir o objetivo de identificar as perdas na geração hidrelétrica em decorrência da adoção desse regime, por meio de simulação de diferentes cenários, cujos RDV representariam um atendimento que atualmente é desconsiderado.

6.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

As informações fluviométricas da seção no baixo trecho do rio São Francisco foram coletadas no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), no seu sistema de informações hidrológicas, e gerenciadas por meio do software 'Hidro', fornecido pela ANA, que permite ao usuário visualizar os dados.

No baixo trecho do rio São Francisco estão instalados sete postos fluviométricos com dados disponíveis no banco de dados da ANA. Para a seleção do posto fluviométrico usou-se como critério de escolha a disponibilidade de dados de vazão antes (1955) e após (1994) a operação das usinas hidrelétricas instaladas no trecho submédio do rio São Francisco. Como os períodos de cheia iniciam-se em outubro, foi adotado o ano hidrológico com início em outubro e término em setembro.

Para a avaliação da condição atual do regime hidrológico do baixo trecho do rio São Francisco foram utilizados os dados de vazões do posto fluviométrico de 'Traipu' (código 49660000), localizado a jusante da UHE Xingó (**Figura 9**), cuja série histórica estende-se de 1938 a 2003. Devido à indisponibilidade de dados completos nos outros postos fluviométricos e série histórica mais curta, não houve possibilidade de utilizá-los na análise. A série de vazão observada corresponde a dados medidos diretamente no posto fluviométrico e apresenta a influência da operação dos reservatórios (ANEEL; OMM, 2004).

Para a análise das alterações hidrológicas e determinação dos regimes dinâmicos de vazão foi utilizada a série de vazões naturais diárias da UHE Xingó reconstituídas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e utilizadas para a operação do SIN (Sistema Interligado Nacional). A série de vazões naturais se estende de 1931 a 2003, e representa uma situação do regime hidrológico sem a regularização dos reservatórios. As séries de vazões naturais são calculadas a partir dos dados observados e das informações sobre as demandas de água para os usos não consuntivos e usos consuntivos (ANEEL; OMM, 2004).



Figura 9: Localização da estação fluviométrica “Traipu” em relação às usinas hidrelétricas do trecho submédio do rio São Francisco

Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003)

Para estruturar o modelo de simulação do sistema de reservatórios do trecho submédio do rio São Francisco foram utilizadas as informações oriundas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (**APÊNDICE A**):

- ✓ Reservatórios $\Rightarrow$ volumes característicos; tabela cota-área-volume; vazão natural afluente ao reservatório e taxa de evaporação;
- ✓ Usinas Hidrelétricas $\Rightarrow$ potência mensal desejada; potência total instalada; rendimento do conjunto turbina-gerador; número de turbinas; índice de disponibilidade; engolimento mínimo por turbina; curva de engolimento máximo da turbina; curva-chave de jusante.

6.2 ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Na análise de alterações hidrológicas decorrentes de barragens comparam-se as características do regime fluvial do período antes da barragem com o período posterior, porém esse confronto direto pode esconder a interferência climática, deixando duvidosa a avaliação.

Quando se analisa uma alteração hidrológica, a variabilidade climática interanual que ocorre naturalmente interfere na compreensão do problema, pois um ano em que houve pouca chuva e, conseqüentemente, baixos níveis fluviométricos, pode ser confundido com um impacto causado pelo reservatório, conduzindo a resultados equivocados (GENZ; LUZ, 2007). Por isso, é necessário discriminar, em uma série histórica de dados hidrológicos, anos que apresentaram características climáticas de estiagem dos anos chuvosos.

Com o objetivo de ter uma confiabilidade nos resultados, foi utilizado o índice 'condição hídrica da bacia hidrográfica' (CHid), que classifica as vazões anuais em 'muito seca', 'seca', 'média', 'úmida' e 'muito úmida', de acordo com a proposta de Genz e Luz (2007). A condição hídrica da bacia hidrográfica (CHid) é definida com base nas vazões naturais, pela expressão:

$$\text{Anomalia} = (Q - Q/p) / \sigma$$

Onde:

$Q \Rightarrow$ vazão média anual;

$Q/p \Rightarrow$ vazão média de longo período – corresponde à média das vazões médias diárias anuais;

$\sigma \Rightarrow$ desvio padrão das vazões médias anuais.

Determinando-se a anomalia para cada ano da série histórica de vazão e adotando-se um desvio padrão, têm-se os seguintes limites para a classificação da condição hídrica da bacia (**Quadro 3**).

Quadro 3: Classificação da CHid com base na anomalia da vazão média anual e 1σ .

LIMITES	CLASSE DA CHID	VALOR DA CHID
Anomalia < -1,5	Muito seca	-2
-1,5 < Anomalia < -0,5	Seca	-1
-0,5 < Anomalia < 0,5	Média	0
0,5 < Anomalia < 1,5	Úmida	1
Anomalia > 1,5	Muito Úmida	2

Fonte: Genz e Luz (2007).

Para a avaliação das alterações hidrológicas decorrentes da operação do sistema de reservatórios da área de estudo do rio São Francisco, foi realizada a classificação da condição hídrica para os dados da série de vazões naturais diárias reconstituídas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

A série de vazões naturais diárias reconstituídas pelo ONS representa uma condição que ocorreria sem a existência das UHEs. A série de vazões observadas no posto fluviométrico 'Traipu' representa a situação atual do baixo trecho do rio São Francisco. Assim, considera-se que se, por exemplo, em um ano qualquer da série de vazões naturais, após a operação das UHEs, a condição hídrica é 'seca', então no mesmo ano no posto fluviométrico 'Traipu' também existirá essa condição, independente do valor de vazão que ele apresenta, pois esta vazão também é controlada pelo reservatório e não apenas pela condição hídrica.

Após a identificação da condição hídrica de cada ano, pode-se fazer a avaliação da alteração hidrológica entre anos de mesma classificação, sem o risco de comparar situações climáticas distintas.

6.3 REGIME DINÂMICO DE VAZÃO

Depois de identificadas as condições hídricas de cada ano da série de vazões naturais, são identificados os padrões hidrológicos do rio, por condição hídrica. Cada ano possui características particulares, colocando em evidência as diferenças interanuais de vazões (**Figura 10**).

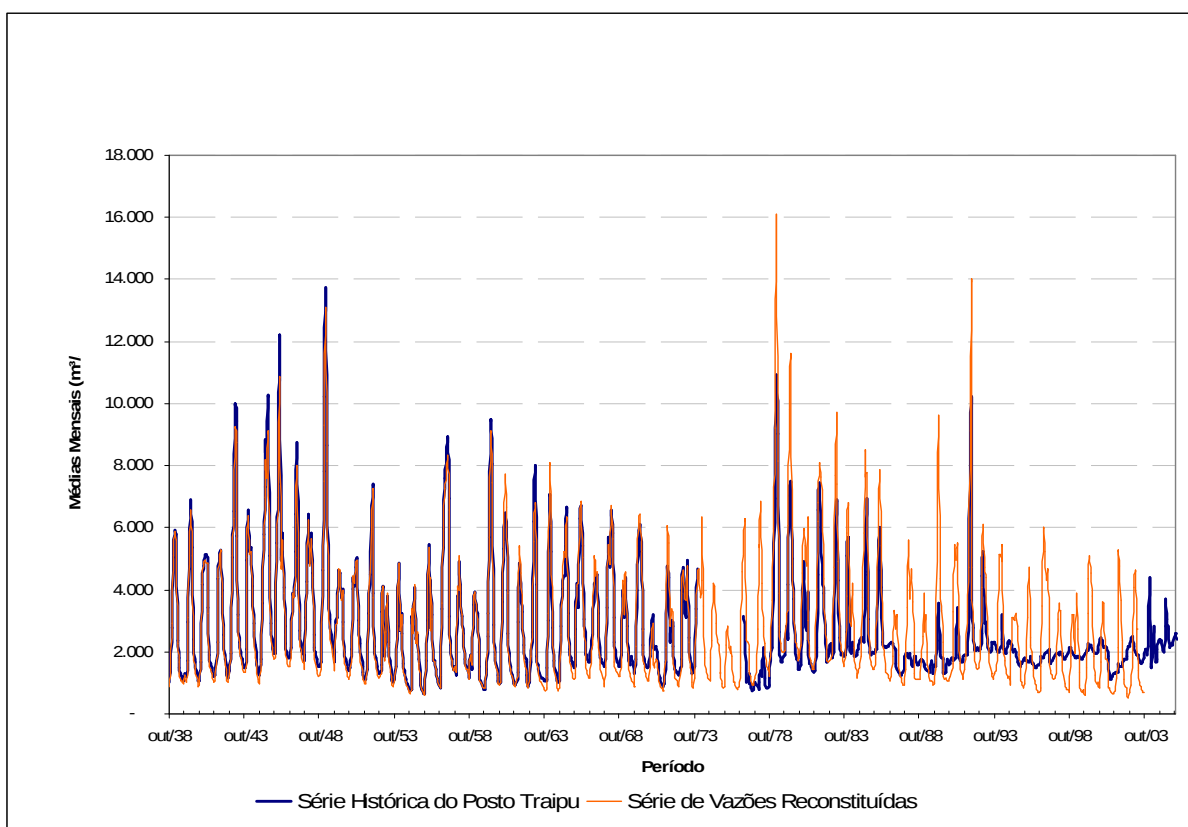


Figura 10: Sazonalidade interanual do fluviograma médio anual do baixo trecho do rio São Francisco

Na **Figura 10** verifica-se que a série de vazões naturais reconstituídas do baixo trecho do rio São Francisco apresenta menores amplitudes a partir do ano de 1992. Antes do ano de 1955, em que não havia barramentos, o regime hidrológico

apresentou picos de cheia de 14.000 m³/s em 1949 e em torno de 4.000 m³/s em 1953, essas diferenças hidrológicas entre cada ano são naturais.

A partir da série de vazões naturais, são delineados regimes dinâmicos de vazão por condição hídrica visando representar a variabilidade e o sincronismo do regime fluvial. Para isso foi utilizado o método da curva de permanência mensal a partir de dados diários de vazão, pois assim é possível contemplar a sazonalidade mensal na adoção de vazões ecológicas, conforme proposto por Cruz (2001).

A curva de permanência é obtida da frequência da ocorrência dos dados hidrológicos diários e representa a frequência com que um determinado valor é igualado ou excedido. Por exemplo, a vazão de referência Q90, em um rio, corresponde a uma vazão em que 90% do tempo se têm vazões iguais ou superiores a ela.

Para cada mês foi construída uma curva de permanência, então cada condição hídrica possui doze curvas. A partir de cada curva mensal de CHid diferente é extraída vazões de referência para compor um regime dinâmico de vazão (**Figura 11**).

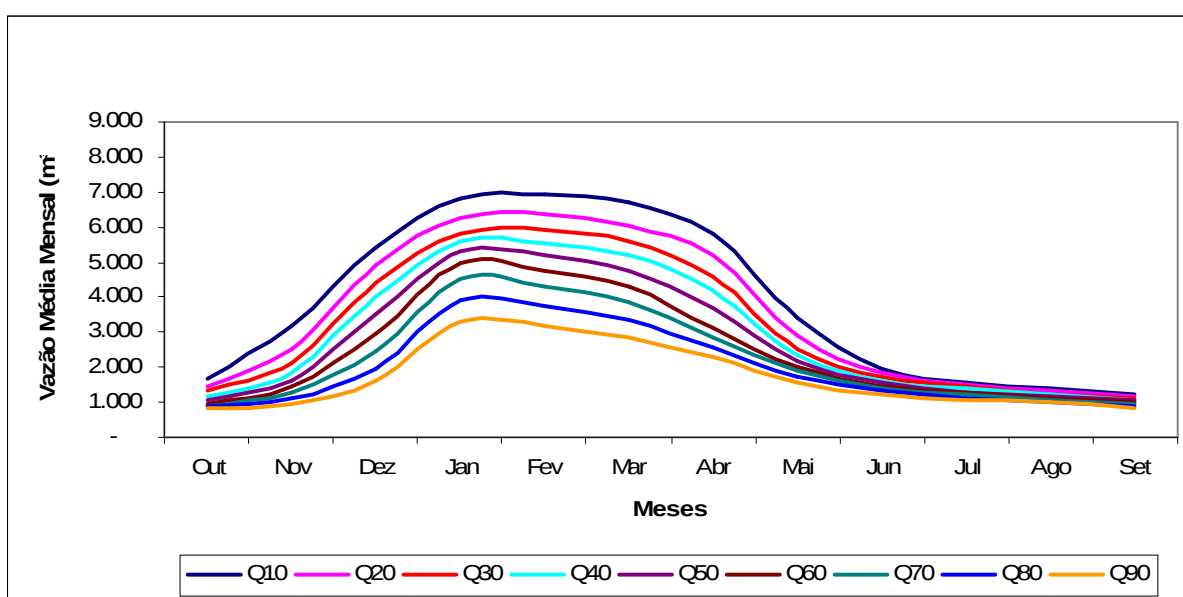


Figura 11: Regimes dinâmico de vazão (m³/s) representando, cada um, uma seqüência de permanências mensais para uma condição hídrica 'média'

Cada valor do mês na figura acima corresponde a uma vazão da curva de permanência mensal.

No caso em estudo, para a determinação de um regime dinâmico de vazão (RDV), foram extraídos de cada curva valores de vazões com permanências de 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 e 10%, construindo 9 regimes dinâmicos de vazão para cada CHid, totalizando 36 RDV. Esses regimes dinâmicos de vazão constituíram a demanda ambiental nos cenários de simulação hidrológica, de acordo com a condição hídrica, do baixo trecho do rio São Francisco no intervalo de ano de 1932 a 2003.

6.4 MODELO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO

De acordo com Dupuy (1996), o conhecimento dos processos naturais pode ser alcançado por meio da construção de modelos. Dessa forma passa-se a ter um controle explicativo e preditivo do ambiente natural utilizando o potencial das ferramentas experimentais e matemáticas. Starzomski *et al.* (2004) diz que, mesmo com poucas informações sobre os mecanismos, é possível fazer predições e obter respostas para subsidiar ações em curto-prazo, avaliando vários cenários em modelos de simulação, pois muitos padrões se repetem.

Um modelo deve representar uma realidade, traduzindo simplificada e de forma generalizada as características mais importantes de uma situação. Assim, a complexidade da realidade é reduzida para facilitar o entendimento do sistema em análise.

No sistema em estudo, após a proposição dos regimes dinâmicos de vazão com permanências diferentes, para a finalidade de atender demandas ambientais e ecológicas, partiu-se para a simulação de cenários a fim de compreender o comportamento do sistema em situações distintas e verificar a perda de potência gerada em cada situação.

Para isso, foi utilizado o *software* 'LabSid AcquaNet' que é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas, originado do modelo MODSIM (LABADIE, 1988). O modelo MODSIM passou por adaptações no Colorado State University – USA e na Escola Politécnica da USP, surgindo três versões: MODSIMP32 (1999); MODSIMLS (2001) e o ACQUANET (2002). A versão 'ACQUANET' é constituída de uma base comum com seis módulos independentes (alocação de água, qualidade de água, irrigação, produção de energia, análise econômica para alocação e curvas de aversão a risco), que executam simulações específicas (FARIA, 2003).

O modelo 'AcquaNet' tem sido utilizado em diversos trabalhos e órgãos de gestão de recursos hídricos (Faria, 2003; Lerner, 2006; Roberto, 2002) para analisar sistemas complexos de aproveitamento de recursos hídricos. Lerner (2006) avaliou os impactos na geração hidrelétrica ao longo do rio São Francisco, frente à hipótese de transposição de vazões para bacias do nordeste setentrional, tendo concluído que no pior dos casos de transposição (demanda perene equivale ao valor máximo de vazão diária permitida na outorga da ANA - 114,3 m³/s) haverá um impacto de aproximadamente 7.508 MW em 5 anos de operação, equivalente à usina de Xingó (potência instalada de 3.000 MW) operando com toda potência instalada durante 2 meses e meio.

O *software* 'LabSid AcquaNet' permite a representação esquemática do problema, utilizando dados mensais de vazão em todos os elementos do sistema, reservatórios, demandas e *links*, e atribuindo diferentes prioridades de atendimento à demandas, reservatórios e UHEs. Dar prioridades aos elementos do sistema significa estabelecer a ordem de atendimento das demandas e dos volumes-meta dos reservatórios. Esse valor pode variar de 1 a 99, os quais indicam prioridade máxima e mínima, respectivamente.

A inserção de dados mensais no sistema a ser simulado é importante para avaliar uma demanda ambiental com comportamento sazonal. O 'Acquanet' pode realizar duas opções de cálculos em dois tipos de simulação.

Opções de cálculo:

- Estados hidrológicos: considera a quantidade de água armazenada nos reservatórios para determinar os valores de demanda, volume meta e prioridades que serão utilizadas nos cálculos;
- Calibração: utiliza valores fornecidos pelo usuário sem considerar se o estado hidrológico atual do sistema permitirá atender as demandas e prioridades especificadas pelo usuário

Tipos de simulação:

- Simulação Contínua: cálculos de maneira seqüencial no tempo, recomendado para se obter uma idéia inicial do comportamento do sistema ao longo do tempo;
- Planejamento Tático: cálculos estatísticos, recomendado para fazer o planejamento e/ou a operação de sistemas de reservatórios.

Neste trabalho, a simulação de cenários de vazões de restrições distintas das vazões mínimas atuais a jusante dos barramentos foi realizada com a opção de cálculo em calibração e em simulação contínua no módulo de produção de energia elétrica. Essas opções de cálculo e simulação permitem ao usuário definir as prioridades, demandas e volumes-meta, independente do volume de água armazenado no reservatório.

6.4.1 Desenho dos Cenários das Vazões no Baixo Curso do Rio São Francisco

A adoção de um regime dinâmico de vazão a ser mantido no baixo trecho do rio São Francisco implica em uma análise de cenários alternativos exprimindo as condições hidrológicas desejadas para que atendam as necessidades do ecossistema. No

momento da avaliação de cenários poderão ser identificados pontos de conflitos entre usuários.

Para a simulação foram escolhidos onze casos de demanda ambiental no baixo trecho do rio São Francisco:

- Caso sem restrição: simulando sem restrições mínimas de vazão;
- Caso de restrição 1.300 m³/s: utilizando restrições mínimas atuais de vazão;
- Casos de regime dinâmico de vazão: considerando a curva de permanência mensal em cada condição hídrica do ano:
 - Caso Q_x – demanda ambiental mensal equivalente a vazão cuja permanência é X% em cada mês. Para X foram consideradas as permanências 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%.

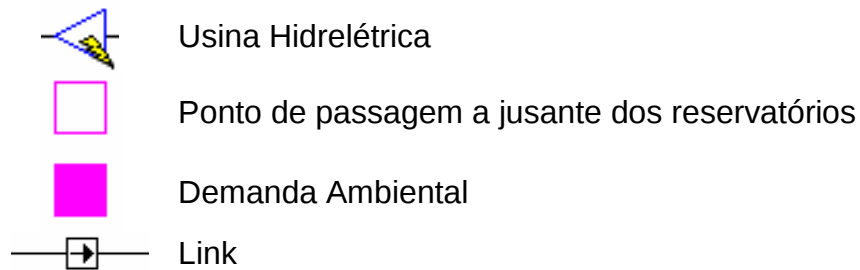
No caso sem restrição foi escolhida prioridade máxima no atendimento às demandas de geração de energia elétrica e prioridade mínima nas demandas ambientais. Esses níveis de prioridades foram escolhidos para poder verificar o valor máximo de potência gerada nas usinas sem a interferência dos demais usos do sistema. Nos demais casos a demanda ambiental possui prioridade máxima para ser possível avaliar a perda de potência nas UHE (**Quadro 4**).

Quadro 4: Prioridades no atendimento das demandas dos elementos utilizados na simulação.

ELEMENTOS DA REDE	PRIORIDADES
Demanda Ambiental	1
Volume do Reservatório de Sobradinho	2
Usinas Hidrelétricas	3
Volumes dos Demais Reservatórios	4

O reservatório de Sobradinho é o que tem maior potencial regularizador, controlando as vazões afluentes aos reservatórios subsequentes e ao trecho baixo do rio São Francisco. Por isso, todos os casos com restrição possuem como segunda prioridade o atendimento ao volume meta do reservatório de Sobradinho, pois só assim viabiliza o atendimento da demanda ambiental. Quando os casos são simulados priorizando primeiro a geração de energia e depois o volume meta do reservatório de Sobradinho, as demandas ambientais não são atendidas totalmente, apresentando déficit no fornecimento das vazões.

A configuração da rede elaborada no Acquanet foi igual para todos os casos simulados, o que é mostrado na **Figura 12**, onde os símbolos a seguir representam:



A geração de energia elétrica foi considerada menos prioritária que a demanda ambiental apenas para possibilitar a avaliação das perdas na geração de energia.

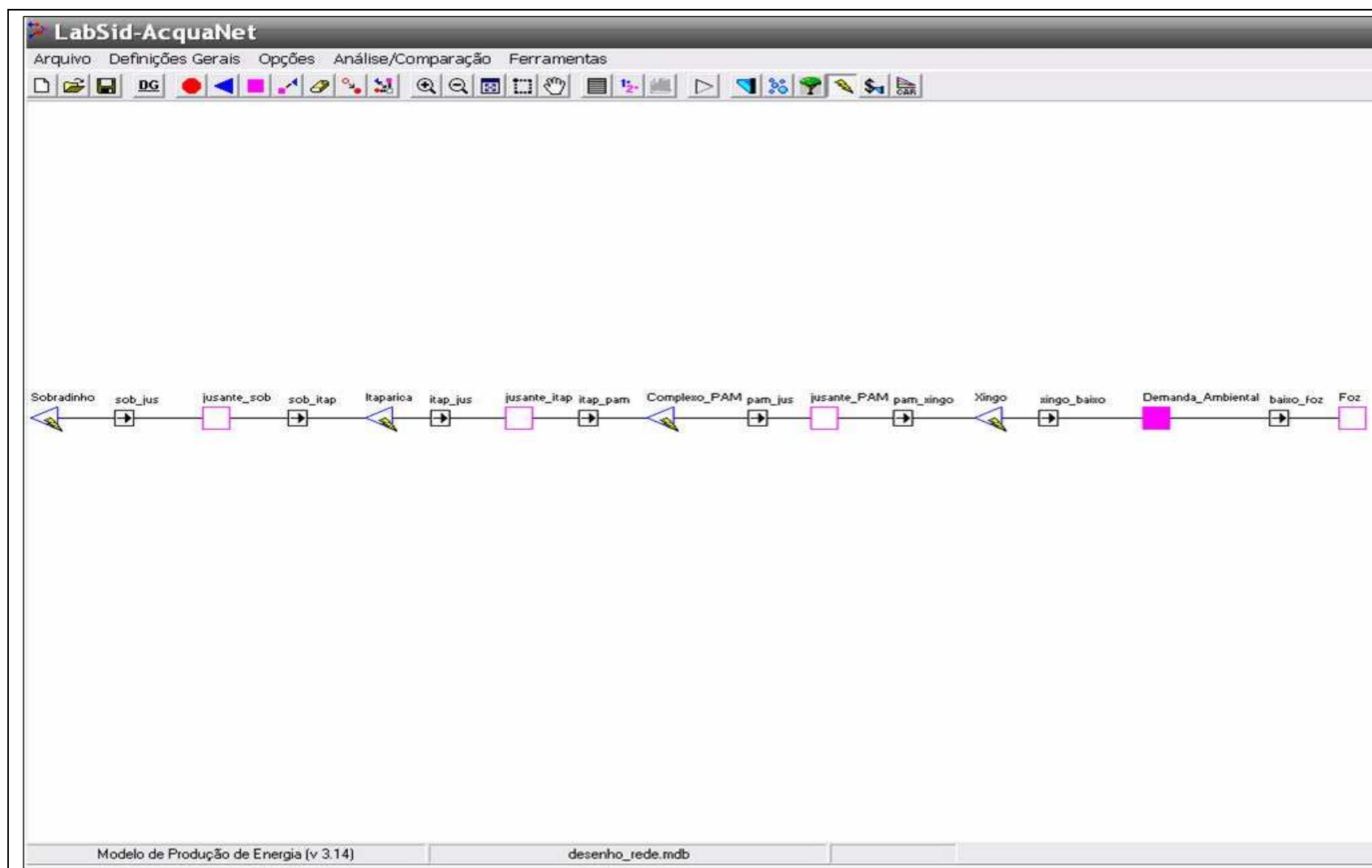


Figura 12: Representação do sistema de reservatórios do rio São Francisco no desenho da rede de fluxo do Acquanet

6.4.2 Simulação da Geração Hidrelétrica

A geração máxima de uma usina hidrelétrica depende da sua potência instalada e da disponibilidade das máquinas (índice de disponibilidade), que inclui as paradas para manutenção. A vazão turbinada é limitada pelas características das turbinas, do gerador e da altura de queda (BRANDÃO, 2004). Para obter os impactos sobre a geração de energia foram analisados os resultados de potência gerada em cada usina, fornecido pelo modelo. A potência gerada é obtida em cada mês de simulação por (Figura 13):

$$P \text{ (KW)} = 9,81 * \eta * Q_t * H$$

Onde:

$P \Rightarrow$ potência gerada

$\eta \Rightarrow$ rendimento médio da usina

$Q_t \Rightarrow$ vazão turbinada

$H \Rightarrow$ altura de queda

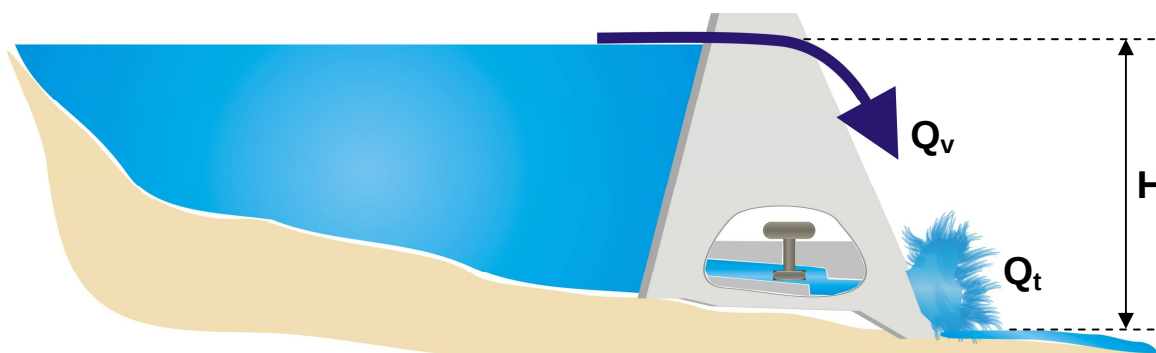


Figura 13: Representação esquemática do funcionamento de uma usina hidrelétrica

O parque gerador de hidroeletricidade do Brasil é formado por 123 usinas hidrelétricas, em que 61 possuem reservatórios de regularização de vazões (ONS, 2008), cuja operação tem sido feita privilegiando a geração de energia elétrica e o controle de cheias. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) gerencia a operação dos reservatórios focando a minimização de custo da geração térmica, de

forma a atender a demanda com certa garantia. Nessa operação, os demais usos da água são considerados apenas como restrições operativas e demandas consuntivas (BRANDÃO, 2004).

As usinas hidrelétricas em operação na área de estudo fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN), juntamente com UHEs das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, de forma a atender as demandas por energia elétrica em todo o Brasil (ONS, 2008) (**ANEXO B**).

A simplificação adotada neste trabalho não leva em conta a demanda por energia elétrica, nem a operação em rede do sistema elétrico brasileiro. O impacto é avaliado pelo valor da potência gerada no sistema de usinas hidrelétricas em diferentes cenários de demandas ambientais. Esta aproximação da realidade foi realizada a partir de médias mensais, apesar de existirem variações diárias e horárias na geração de energia em decorrência de variações na demanda por energia elétrica.

Para isso foram simulados 10 casos de demandas ambientais no baixo curso do rio São Francisco e 1 caso sem restrição, que é a referência para comparação dos impactos na geração nas usinas hidrelétricas devido ao atendimento da demanda ambiental.

Realizou-se três rodadas de simulação mais uma rodada com o caso sem restrição para a obtenção de cenários e situações distintas de forma a auxiliar o processo de tomada de decisão, considerando nesse trabalho apenas questões hidrológicas.

Na 1ª rodada, a partir da série de vazões naturais foram extraídas curvas de permanência mensal sem classificar os anos da série em condições hídricas. Essa 1ª rodada foi realizada para comparar este resultado com a 2ª rodada de simulação, em que os anos da série de vazões naturais foram classificados de acordo com as condições hídricas. Nas duas rodadas foram extraídas de cada curva mensal as permanências Q10, Q20, Q30, Q40, Q50, Q60, Q70, Q80 e Q90 para construir os regimes dinâmicos de vazões.

Na 1ª e na 2ª rodada de simulação não foi utilizada nenhuma limitação para os valores máximos e mínimos de vazão, visando uma simulação com valores de vazão que ocorreriam em condições naturais se não houvesse o sistema de reservatórios no trecho submédio do rio São Francisco. Na 3ª rodada de simulação, foram utilizados os RDV das permanências simuladas na 2ª rodada, porém truncados para valores máximos e mínimos, com o objetivo de atender o que indicam o Plano Anual de Prevenção de Cheias ($Q_{\text{máx}} 8.000\text{m}^3/\text{s}$), o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco ($Q_{\text{mín}} 1.300\text{m}^3/\text{s}$) e a curva bianual de aversão a risco para a região Nordeste ($Q_{\text{mín}} 1.100\text{m}^3/\text{s}$). Isso significa contemplar os múltiplos usos do rio São Francisco, na forma como hoje é praticado.

➤ PRIMEIRA RODADA DE SIMULAÇÃO

Na 1ª rodada de simulação a série de vazões naturais foi utilizada sem distinção de condição hídrica, as diferenças interanuais não foram consideradas. Foram construídas 12 curvas de permanência mensal e 9 regimes dinâmicos de vazão.

➤ SEGUNDA RODADA DE SIMULAÇÃO

Na 2ª rodada de simulação os anos das séries de vazões naturais foram classificados de acordo com as condições hídricas propostas por Genz e Luz (2007). Foram construídas 12 curvas de permanências mensais para cada condição hídrica e 36 regimes dinâmicos de vazão. As condições hídricas refletem as variações hidrológicas interanuais, se aproximando da realidade.

➤ TERCEIRA RODADA DE SIMULAÇÃO

Os regimes dinâmicos de vazão simulados na 1ª e 2ª rodada apresentam vazões abaixo de $1.300\text{ m}^3/\text{s}$ nos meses mais secos e vazões elevadas nos meses de cheia, as quais ocasionariam inundações de cidades ribeirinhas, caso fossem colocadas em prática hoje. Os meses com vazão abaixo de $1.300\text{ m}^3/\text{s}$ não atenderiam aos demais usos da água no baixo curso do rio São Francisco, tais como navegação e captação para irrigação.

Para analisar as possibilidades de adoção de regime dinâmico de vazão no baixo curso do rio São Francisco com o atendimento aos múltiplos usos, incluindo a demanda ambiental do rio, foi realizada uma 3ª rodada de simulação adotando-se as permanências mensais utilizadas na 2ª rodada, truncando os valores máximos e mínimos de acordo com as seguintes restrições:

- ✓ Truncando as vazões mínimas no patamar de 1.300m³/s para as condições hídricas 'média', 'úmida' e 'muito úmida' e no patamar igual a 1.100m³/s para a condição hídrica 'seca'. Estes valores são adotados no baixo trecho do rio São Francisco de acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e com a Curva Bianual de Aversão a Risco para a região Nordeste, respectivamente;
- ✓ Truncando as vazões máximas no patamar igual a 8.000m³/s para todas as condições hídricas de acordo com o Plano Anual de Prevenção de Cheias - ciclo 2006/2007 (ONS, 2006). Essa condição não é infringida adotando-se regimes dinâmicos de vazão delineados a partir da permanência mensal 70% ou maiores.

Em cada caso simulado, somou-se a potência gerada em todos os meses, obtendo a potência gerada na série histórica em cada UHE. Em seguida, somou-se o total gerado de cada UHE, obtendo a potência total gerada no sistema de reservatórios do rio São Francisco. Com esse resultado calculou-se a perda na geração de energia elétrica em relação ao caso sem restrição de vazão para a geração, considerado como referência, ou seja:

$$\text{Perda de Potência} = P_{\text{referência}} - P_{\text{caso}}$$

A partir da situação de referência, obteve-se a variação de potência em cada uma das situações simuladas (**Apêndice A**), possibilitando a análise de perda do potencial de energia gerada diante da imposição de um regime de vazões a serem mantidas a jusante da UHE de Xingó, com o objetivo de atender benefícios ambientais e ecológicos do baixo curso do rio São Francisco.

7 AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DO BAIXO TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO

O represamento em série do rio São Francisco afetou o fluxo natural das suas águas, sedimentos e nutrientes, alterando também as características da foz do rio quanto aos processos de erosão e sedimentação costeiros. Estudos hidrossedimentológicos (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003; LIMA *et al*, 2001) mostram que a descarga sólida a jusante do reservatório de Sobradinho (estações Juazeiro e Traipu) é baixa. Quando se compara este parâmetro na estação Morpará, a montante de Sobradinho nota-se a grande capacidade de retenção, não apenas de vazão, mas também de sedimentos que este reservatório possui (**Figura 14**).



Figura 14: Descarga Sólida em suspensão (t/dia) nas estações fluviométricas a montante e a jusante do reservatório de Sobradinho. (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003; LIMA *et al*, 2001)

A **Figura 15** apresenta a série de médias mensais de vazão do posto fluviométrico 'Traipu', o ano de início da operação de cada usina hidrelétrica e as médias por períodos da série histórica. A série completa de vazão possui média anual 2.686m³/s entre os anos de outubro de 1938 a outubro de 2003.

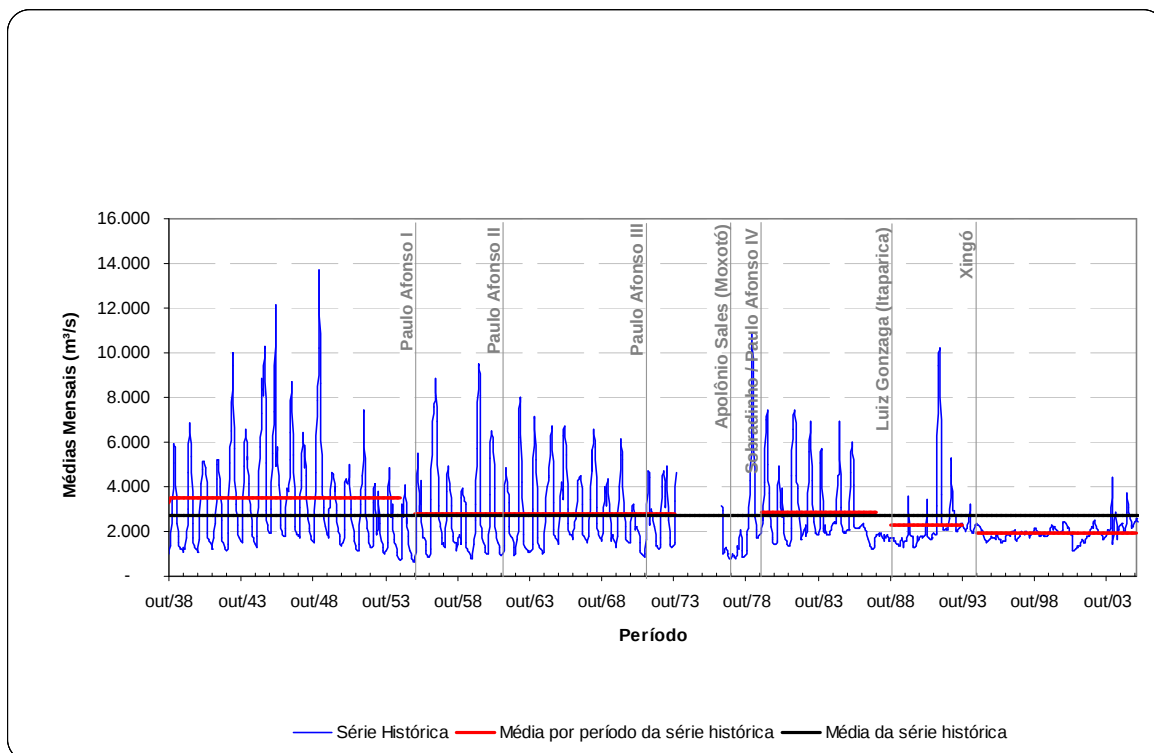


Figura 15: Valores médios mensais de vazões da série histórica do posto fluviométrico 'Traipu' com indicação do início de operação das oito usinas hidrelétricas localizadas no trecho submédio do rio São Francisco.

Pode-se considerar que o regime de vazão do período antes do início da operação das usinas hidrelétricas (1932 a 1954) representa a vazão natural do rio São Francisco, verificando-se na **Figura 15** uma maior variabilidade do fluxo, existindo apenas interferências das características regionais da bacia do rio São Francisco que envolve variações climáticas, relevo, vegetação e outras características naturais e interferências provocadas pelo uso e ocupação do solo da bacia. Ao contrário do que ocorre no período após o início da operação das usinas hidrelétricas, principalmente a partir de 1994, que mostra uma maior regularização da vazão, ou seja, menos ocorrências de cheias e estiagens.

A partir do início da operação da UHE Luiz Gonzaga (Itaparica), em 1988, é evidenciado um decréscimo na vazão média no período entre 1989 e 1992, ficando abaixo da vazão média natural do rio. Porém, os valores mínimos de vazão que eram esperados, em comparação com períodos anteriores, não ocorreram, diminuindo a amplitude da série deste ano em diante.

Verifica-se que após o início da operação do reservatório de Xingó esse fluxo diminuiu, reduzindo os valores máximos de vazão e aumentando os mínimos no período de 1994 a 2003 quando comparados com o período sem interferência das barragens. Observa-se que o período possui amplitudes menores, aproximando os valores de máximos e mínimos da média do período.

Para analisar as alteração na variabilidade da vazão, minimizando a interferência climática, foram analisadas médias mensais de vazão de acordo com as condições hídricas (CHid) de cada ano a fim de haver comparação entre anos de mesma condição climática (**Quadro 5**).

Quadro 5: Condições hídricas em cada período da série de vazões naturais.

PERÍODOS/CHID	SECA	MÉDIA	ÚMIDA	MUITO ÚMIDA
Pré-Barragem (1932 – 1955)	1932; 1934; 1936; 1953; 1954; 1955	1933; 1935; 1937; 1938; 1939; 1940; 1941; 1942; 1944; 1948; 1950; 1951; 1952	1943; 1947	1945; 1946; 1949
Pós-Sobradinho (1980 – 1987)	1987	1986	1981; 1984; 1985	1980; 1982; 1983
Pós-Xingó (1995 – 2003)	1995; 1996; 1997; 1998; 1999; 2001; 2002; 2003	2000	-	-

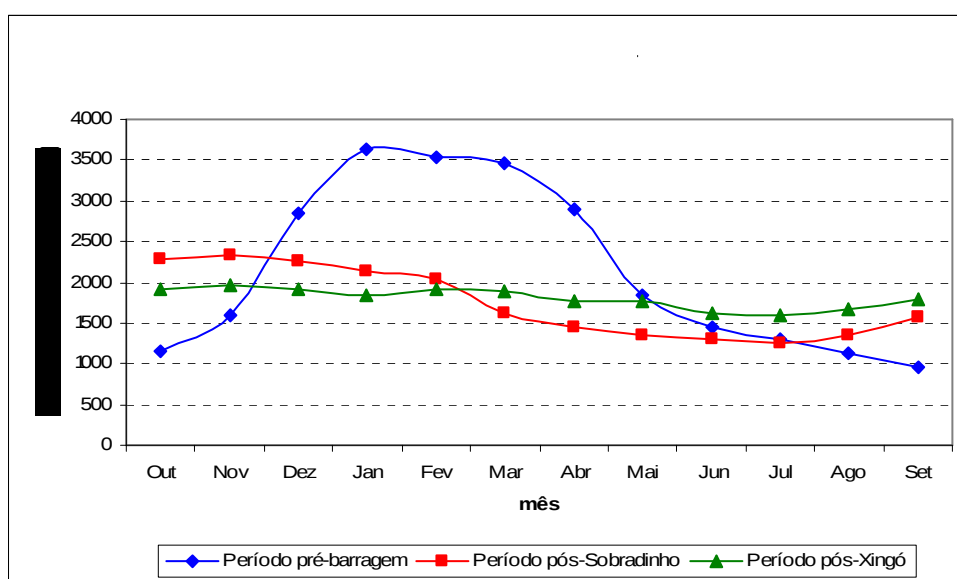
A série histórica analisada não apresentou anos com CHID ‘muito seca’. O período imediatamente após a operação da usina hidrelétrica de Sobradinho apresentou a condição hídrica ‘úmida’ e ‘muito úmida’, ao contrário do período após a operação da usina hidrelétrica de Xingó que não apresentou estas condições hídricas, predominando uma época de estiagem.

A diminuição na magnitude das vazões após a operação da UHE Xingó, observada na **Figura 15**, foi agravada por causa de vários anos sequenciais em condição hídrica ‘seca’. Assim, o comportamento das vazões a jusante de Xingó no período

de 1995 a 2002 não teve influência apenas da presença desse represamento, mas na verdade é uma situação agravada pela condição climática e pelo efeito cumulativo dos reservatórios a montante.

Por outro lado, o regime hidrológico do baixo trecho do rio São Francisco nos anos antes e logo após a operação do reservatório de Sobradinho aparentemente não havia apresentado relevantes alterações nas suas características (**Figura 15**) porque a condições hídricas nesse período foi 'úmida' e 'muito úmida' amenizando o impacto. A cheia de 1979/1980 atingiu as cidades ribeirinhas ao rio São Francisco e seus afluentes provocando perdas materiais e humanas (ANEEL; OMM 2004).

Para reduzir os efeitos da condição climática sobre a avaliação hidrológica e assim, poder analisar mais diretamente o efeito da presença do reservatório, foram comparados os períodos 'pré-Barragens', 'pós-Sobradinho' e 'pós-Xingó' dentro da mesma condição hídrica. A **Figura 16**, **Figura 17**, **Figura 18** e **Figura 19** mostram as diferenças nos padrões hidrológicos no baixo curso do rio São Francisco entre os períodos antes da implantação das barragens e após, de acordo com as condições hídricas 'seca', 'média', 'úmida' e 'muito úmida'.

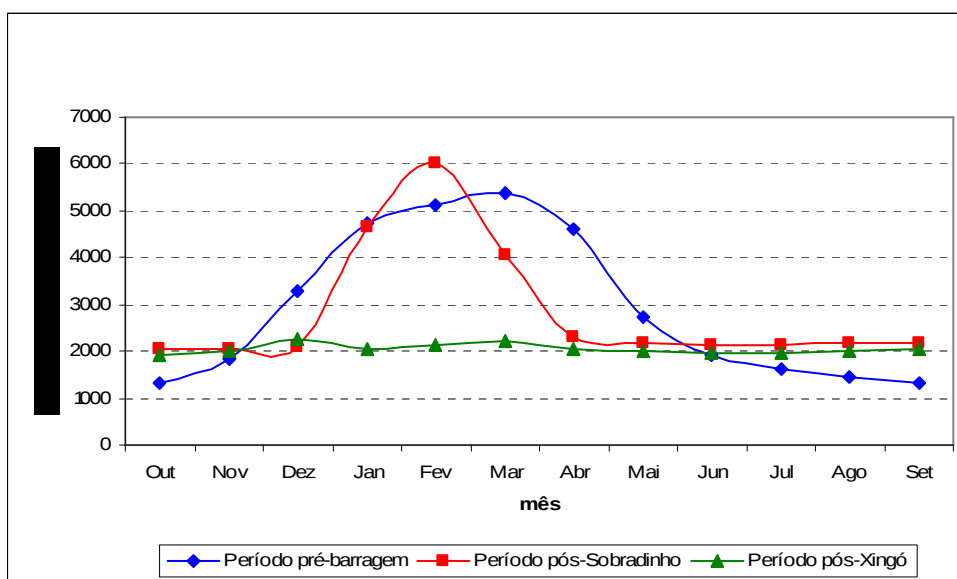


Nota: O período 'pós-Sobradinho' corresponde apenas ao ano 1987

Figura 16: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos 'pré-barragem', 'pós-Xingó' e 'pós-Sobradinho' na condição hídrica 'seca'.

O regime hidrológico nos anos secos dos períodos pós-Sobradinho e pós-Xingó sofreu um grande impacto (**Figura 16**), principalmente nos meses de vazões máximas (dezembro a abril), reduzindo a variabilidade da série hidrológica e a amplitude das vazões. Os períodos de seca e cheia deixam de ser bem definidos, havendo uma elevação das vazões mínimas e redução das vazões máximas. Antes da implantação das barragens, as vazões máximas da condição hídrica 'seca' ocorriam entre os meses de janeiro a março.

Dentre os anos considerados de condição hídrica 'média' (**Figura 17**), o período pós-Xingó foi o que mais apresentou mudanças no padrão de vazões mensais que ficou regularizado entorno de 2.000 m³/s durante todo o ano 2000, associado às longas estiagens que ocorreram nesse período, coincidindo com consumo elevado de energia e comprometendo os volumes dos reservatórios, levando a crise de energia (ANEEL; OMM 2004).

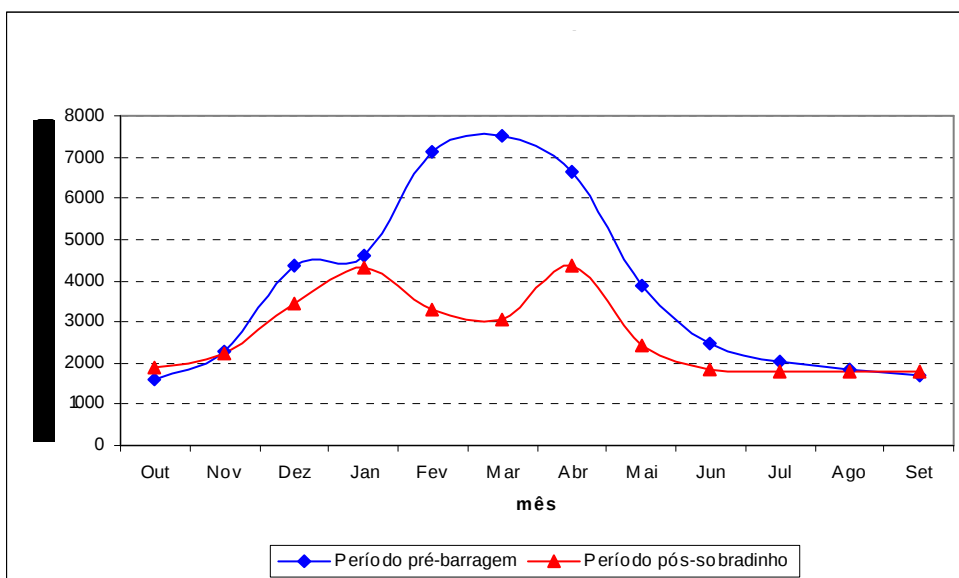


Nota: O período 'pós-Sobradinho' corresponde apenas ao ano 1986 e o período 'pós-Xingó' corresponde apenas ao ano 2000

Figura 17: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos 'pré-barragem', 'pós-Xingó' e 'pós-Sobradinho' na condição hídrica 'média'.

O período 'pós-Sobradinho' (**Figura 17**) apresentou um aumento das taxas de ascensão e recessão, um retardamento para o início da cheia e uma antecipação do final. Houve redução da duração das cheias e extensão da duração da época de menores vazões.

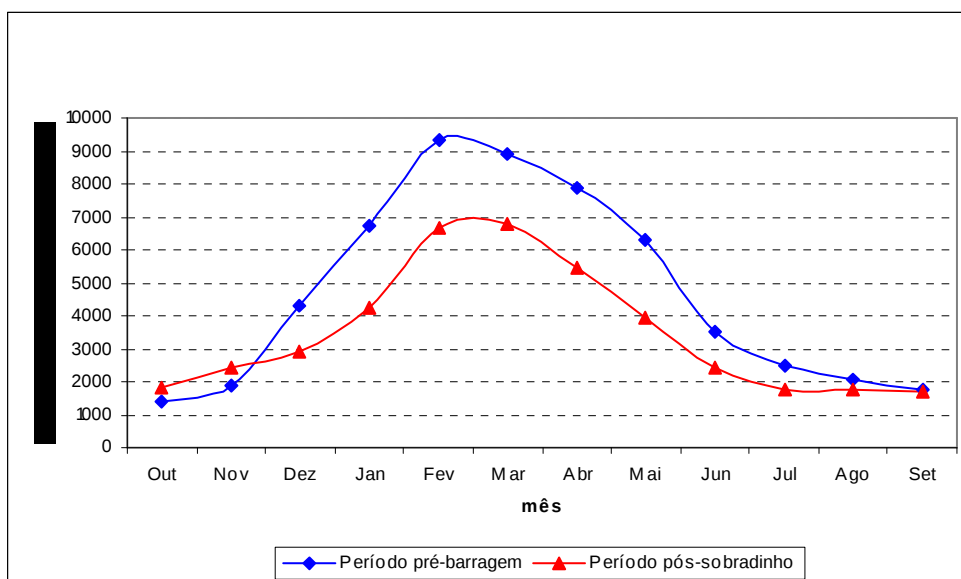
Na condição hídrica 'úmida' (**Figura 18**), o período 'pós-sobradinho' apresentou redução das vazões máximas e surgimento de dois picos de cheia (janeiro e abril). As vazões mínimas mantiveram as magnitudes semelhantes a período 'pré-barragens', assim como a duração.



Nota: O período 'pós-Xingó' não apresentou condição hídrica 'úmida'

Figura 18: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos 'pré-barragem' e 'pós-Sobradinho' na condição hídrica 'úmida'.

Na condição hídrica 'muito úmida' (**Figura 19**), não houve alteração relevante na duração das vazões máximas e mínimas, nem nos meses de ocorrência, porém houve uma redução das vazões máximas.



Nota: O período 'pós-Xingó' não apresentou condição hídrica 'muito úmida'

Figura 19: Gráfico comparativo das médias mensais de vazão entre os períodos 'pré-barragem' e 'pós-Sobradinho' na condição hídrica 'muito úmida'.

De acordo com Pruski *et al.* (2005), no trecho baixo do rio São Francisco é constatado um aumento da precipitação média anual e da vazão mínima e uma redução das vazões média e máxima ao longo do período de 1950 a 1999. Essa evidência está relacionada ao represamento em série do rio no trecho submédio, que regulariza a vazão diminuindo a ocorrência de vazões máximas e mínimas, e aumentando o valor da média do período.

A hidrologia do baixo curso do rio São Francisco na seção do posto fluviométrico 'Traipu' teve alterações decorrentes da implantação das usinas hidrelétricas no curso submédio. Os anos de condições hídricas 'seca' a 'média' apresentaram uma maior vulnerabilidade, sendo visível graficamente a diferença de regimes hidrológicos entre os períodos 'pré-barragens' e 'pós-barragens'. O período de condição hídrica 'muito úmida' manteve as suas características hidrológicas semelhantes ao período pré-barragem.

8 REGIME DINÂMICO DE VAZÃO NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO

Para a determinação do regime dinâmico de vazão foram adotados métodos essencialmente hidrológicos, a fim de auxiliar na definição de valores de vazões necessárias para inundar planícies e conectar lagoas marginais no baixo curso do rio São Francisco. Neste trabalho, pretendia-se associar níveis e vazões com as áreas de inundação, mas por não se obter as informações necessárias isso não ocorreu. Porém a idéia do benefício das inundações foi utilizada como critério para o procedimento adotado.

Assim, assumindo um regime de vazões com padrões similares aos que ocorriam naturalmente, são obtidas condições de contorno para o estudo de vazões ecológicas mais adequadas para a recuperação do rio São Francisco.

A **Figura 20** ilustra os padrões hidrológicos ocorridos no baixo rio São Francisco antes do início da operação das usinas hidrelétricas em 1955, para cada condição hídrica da série histórica.

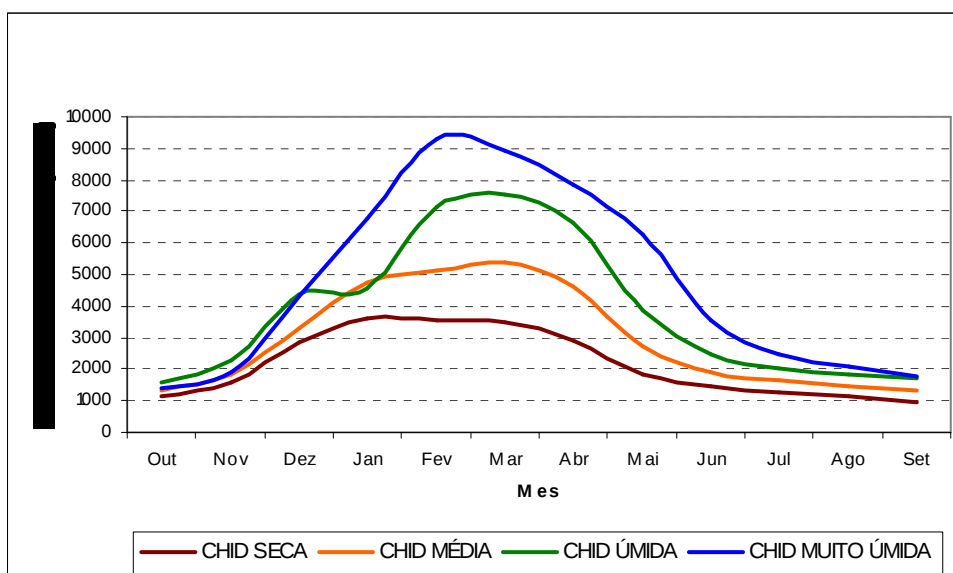


Figura 20: Padrões hidrológicos por condição hídrica, ocorridos no baixo curso do rio São Francisco antes do início de operação das usinas hidrelétricas em 1955

Observa-se que em todas as condições hídricas, as vazões mínimas médias ficavam próximas na faixa de 964 a 1.779 m³/s. Apenas as vazões máximas tinham uma variação maior de 3.633 a 9.316 m³/s. O período de estiagem se estendia de julho a dezembro e as cheias ocorriam de janeiro a junho, com o pico máximo entre fevereiro e março.

A partir da série de vazões naturais do baixo trecho do rio São Francisco obteve-se, utilizando o método da curva de permanência mensal, os regimes dinâmicos de vazão a partir das permanências: Q90, Q80, Q70, Q60, Q50, Q40, Q30, Q20 e Q10.

O **Quadro 6** mostra os valores obtidos para cada permanência para a 1ª rodada de simulação. Estes resultados representam os regimes dinâmicos de vazão no baixo trecho do rio São Francisco utilizando a série de vazões naturais sem distinção de condição hídrica. As vazões máximas atingiram 8.303 m³/s (Q10 em Mar) e as vazões mínimas chegaram a 761 m³/s (Q90 em Set).

Quadro 6: Regimes dinâmicos de vazão (m³/s) utilizados para a 1ª rodada de simulação

Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Q10	1719	3052	5365	6782	8199	8303	7227	3955	2444	2043	1717	1529
Q20	1490	2457	4748	6145	6908	6803	5809	3238	2041	1631	1471	1338
Q30	1349	2115	4261	5714	6148	5869	5008	2773	1833	1500	1313	1174
Q40	1212	1863	3738	5337	5568	5258	4334	2403	1672	1404	1227	1090
Q50	1089	1703	3326	5007	5042	4712	3677	2153	1538	1298	1145	1026
Q60	1002	1521	2916	4489	4419	4115	3070	1957	1421	1223	1067	951
Q70	922	1356	2525	3911	3768	3491	2675	1744	1322	1133	1009	894
Q80	866	1171	2144	3309	3068	2875	2247	1578	1201	1063	942	836
Q90	790	985	1674	2599	2186	2335	1882	1353	1085	949	825	761

Na 2ª rodada de simulação, os regimes dinâmicos de vazão delineados a partir das permanências devem respeitar as características de cada condição hídrica a qual pertence (**Quadro 7 a Quadro 10**). Não se pode exigir, por exemplo, que nos meses de estiagem de um regime de condição hídrica 'seca', a vazão seja superior a 1.300m³/s, pois em condições naturais isso não ocorreria.

O **Quadro 7** apresenta os regimes dinâmicos de vazão da condição hídrica 'seca'. Nessa condição hídrica, as vazões máximas atingiram 5.345 m³/s (Q10 em Jan) e as vazões mínimas chegaram a 660 m³/s (Q90 em Out).

Quadro 7: Regimes dinâmicos de vazão (m³/s) da CHid 'seca' utilizados para a 2ª rodada de simulação

Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Q10	1.407	2.473	4.323	5.345	5.191	4.872	3.792	2.157	1.517	1.254	1.063	961
Q20	1.278	2.058	3.703	4.963	4.292	4.322	3.270	1.935	1.401	1.170	1.014	910
Q30	1.146	1.896	3.302	4.362	3.796	3.720	2.884	1.770	1.310	1.110	975	876
Q40	1.087	1.759	3.059	3.853	3.332	3.291	2.451	1.682	1.228	1.088	944	844
Q50	1.013	1.629	2.746	3.467	2.753	2.844	2.179	1.546	1.166	1.051	901	824
Q60	966	1.403	2.504	3.074	2.353	2.556	2.047	1.427	1.111	992	850	783
Q70	889	1.202	2.242	2.771	2.131	2.282	1.905	1.327	1.076	921	800	750
Q80	800	1.073	2.007	2.450	1.936	2.062	1.718	1.226	1.005	835	756	715
Q90	660	954	1.525	2.145	1.641	1.797	1.453	1.071	901	795	676	664

O **Quadro 8** apresenta os regimes dinâmicos de vazão da condição hídrica 'média'. Nessa condição hídrica, as vazões máximas atingiram 6.921 m³/s (Q10 em Fev) e as vazões mínimas chegaram a 822 m³/s (Q90 em Out).

Quadro 8: Regimes dinâmicos de vazão (m³/s) da CHid 'média' utilizados para a 2ª rodada de simulação

Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Q10	1.649	3.192	5.436	6.839	6.921	6.705	5.820	3.407	1.936	1.567	1.395	1.248
Q20	1.438	2.496	4.903	6.234	6.376	6.045	5.172	2.932	1.827	1.488	1.314	1.172
Q30	1.330	2.125	4.436	5.831	5.924	5.593	4.585	2.541	1.723	1.435	1.254	1.116
Q40	1.171	1.824	4.002	5.569	5.542	5.171	4.185	2.342	1.638	1.372	1.214	1.077
Q50	1.046	1.595	3.527	5.308	5.182	4.764	3.678	2.164	1.543	1.309	1.166	1.041
Q60	972	1.442	2.947	4.985	4.764	4.330	3.148	2.039	1.458	1.266	1.117	1.000
Q70	912	1.296	2.468	4.545	4.300	3.838	2.852	1.882	1.389	1.214	1.070	956
Q80	870	1.139	1.971	3.933	3.759	3.350	2.568	1.712	1.322	1.143	1.032	907
Q90	822	959	1.604	3.290	3.181	2.865	2.272	1.561	1.214	1.061	982	850

O **Quadro 9** apresenta os regimes dinâmicos de vazão da condição hídrica 'úmida'. Nessa condição hídrica, as vazões máximas atingiram 9.647 m³/s (Q10 em Mar) e as vazões mínimas chegaram a 786 m³/s (Q90 em Out).

Quadro 9: Regimes dinâmicos de vazão (m³/s) da CHid 'úmida' utilizados para a 2ª rodada de simulação

Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Q10	1.772	3.197	5.525	6.651	9.068	9.647	8.176	4.469	2.353	1.949	1.624	1.528
Q20	1.650	2.772	4.947	6.136	7.929	8.524	7.707	3.680	2.223	1.858	1.557	1.474
Q30	1.568	2.439	4.747	5.869	6.649	7.664	7.269	3.262	2.176	1.746	1.525	1.415
Q40	1.438	2.186	4.486	5.499	6.246	7.070	6.711	3.058	2.134	1.661	1.501	1.367
Q50	1.385	1.919	4.161	5.047	5.959	6.707	6.451	2.924	2.072	1.626	1.480	1.295
Q60	1.259	1.756	3.749	4.762	5.782	6.348	6.042	2.789	1.994	1.583	1.427	1.231
Q70	1.062	1.566	3.465	4.203	5.563	5.877	5.616	2.561	1.935	1.554	1.348	1.175
Q80	843	1.486	3.036	3.520	5.124	5.580	5.092	2.429	1.837	1.513	1.278	1.079
Q90	786	1.371	2.536	2.891	4.632	4.888	4.590	2.314	1.717	1.430	1.192	1.002

O **Quadro 10** apresenta os regimes dinâmicos de vazão da condição hídrica ‘muito úmida’. Nessa condição hídrica, as vazões máximas atingiram 16.064 m³/s (Q10 em Mar) e as vazões mínimas chegaram a 866 m³/s (Q90 em Out).

Quadro 10: Regimes dinâmicos de vazão (m³/s) da CHid ‘muito úmida’ utilizados para a 2ª rodada de simulação

Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Q10	2.126	4.240	6.051	7.535	11.671	16.064	8.688	8.439	3.413	2.392	2.114	1.904
Q20	1.884	2.903	5.753	7.081	9.796	13.686	8.209	5.975	3.093	2.324	1.997	1.727
Q30	1.680	2.466	4.916	6.805	9.228	12.411	7.651	5.010	2.929	2.252	1.929	1.682
Q40	1.588	2.197	4.398	6.524	8.933	10.461	7.310	4.300	2.791	2.217	1.871	1.655
Q50	1.440	1.902	3.700	6.278	8.376	9.289	6.997	3.967	2.634	2.171	1.840	1.604
Q60	1.257	1.782	3.396	5.996	7.928	8.314	6.294	3.638	2.515	2.113	1.797	1.548
Q70	1.185	1.670	3.027	5.694	7.669	7.851	5.662	3.399	2.431	2.063	1.742	1.509
Q80	1.013	1.430	2.653	5.159	7.463	7.142	5.396	3.254	2.370	2.014	1.671	1.466
Q90	866	1.119	2.087	4.234	7.101	5.862	4.269	2.993	2.229	1.869	1.556	1.378

Na 3ª rodada de simulação, os regimes dinâmicos de vazão delineados a partir das permanências da 2ª rodada de simulação com truncamento para vazões mínimas em 1.100 m³/s (CHid ‘seca’) e 1.300 m³/s (CHid ‘média’ a ‘muito úmida’) e para vazões máximas em 8.000 m³/s (todas as CHid), mesmo não ocorrendo essas limitações em condições naturais, mas são necessárias para permitir calado para navegação e para atender ao nível mínimo em algumas captações de água.

A **Figura 21** ilustra os regimes dinâmicos de vazão da 1ª e 2ª rodada de simulação, e a **Figura 22** ilustra os regimes dinâmicos de vazão da 3ª rodada de simulação.

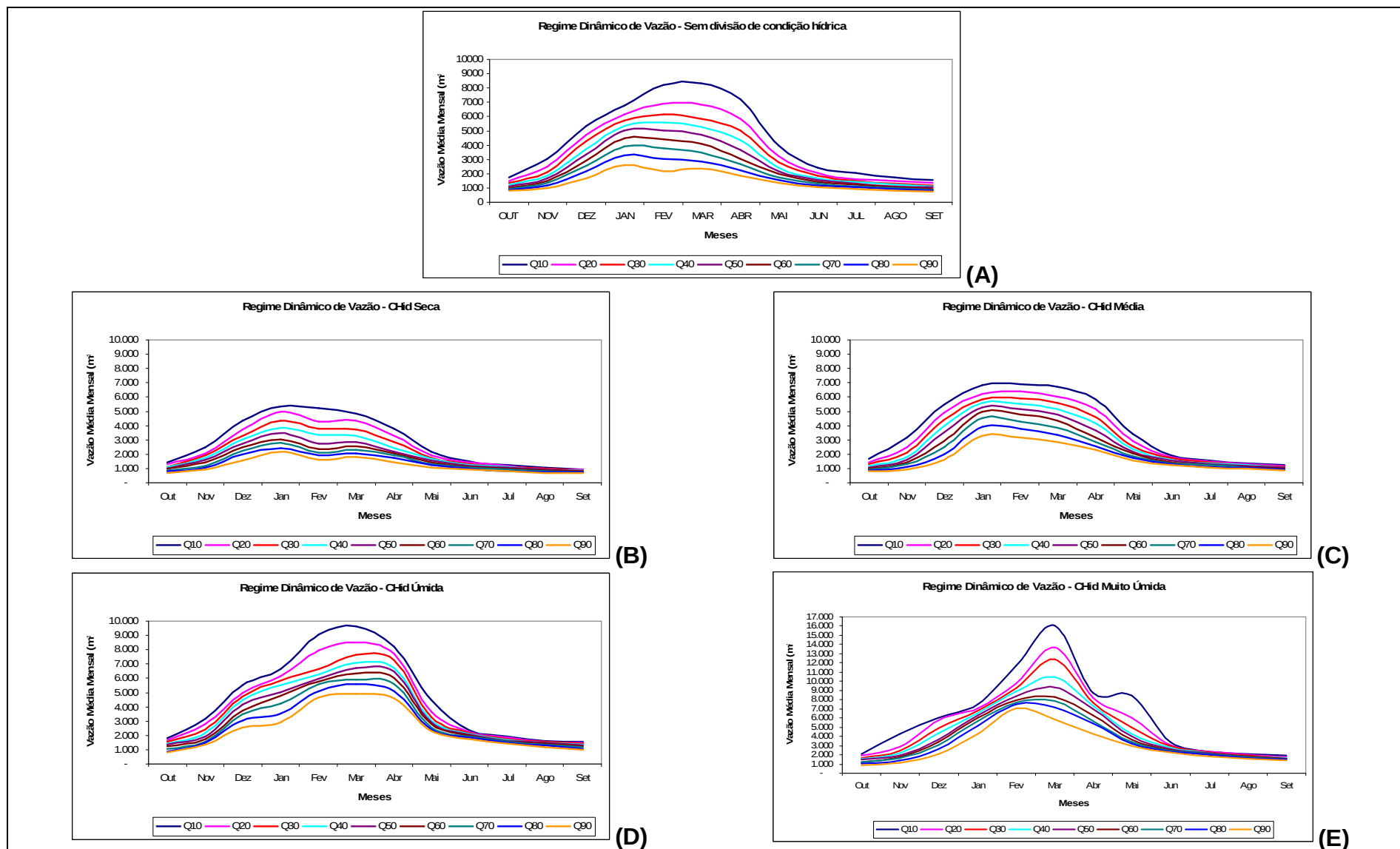


Figura 21: Regimes dinâmicos de vazão (m^3/s) utilizados na demanda ambiental da 1ª e 2ª rodada de simulação

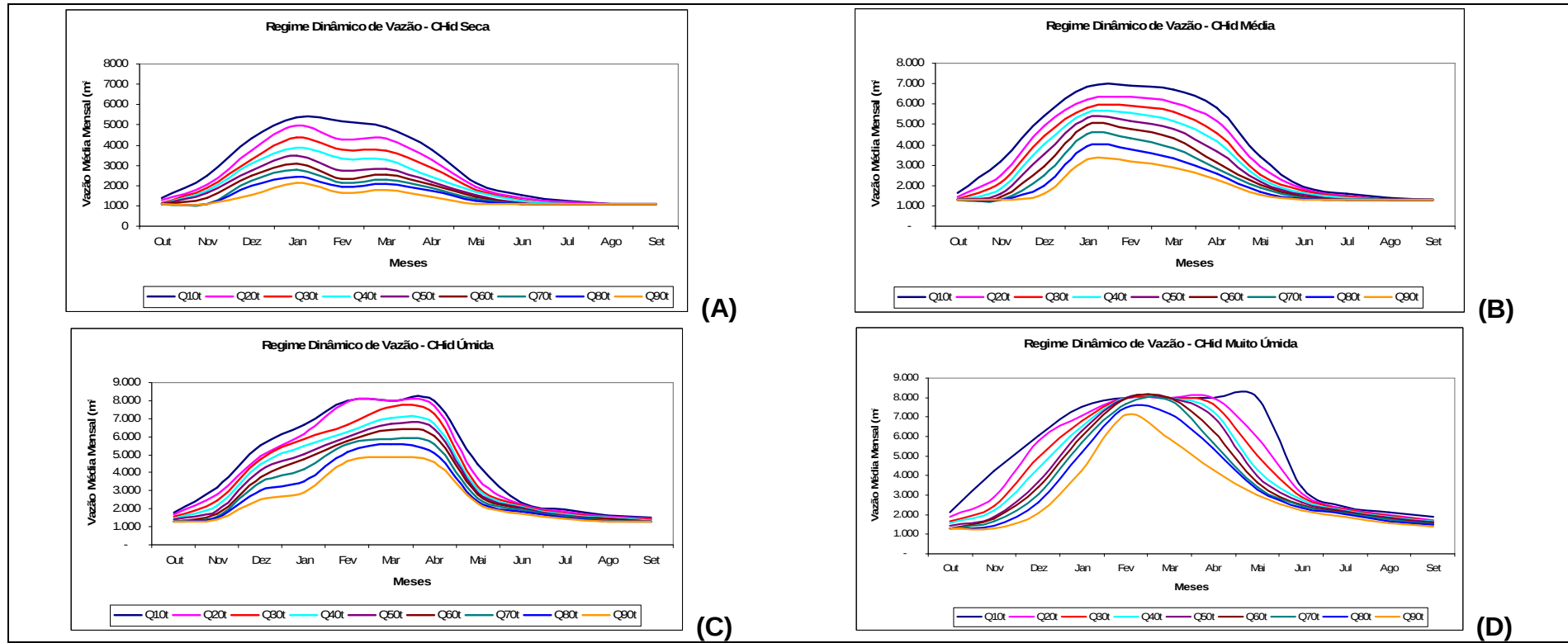


Figura 22: Regimes dinâmicos de vazão (m^3/s) utilizados na demanda ambiental da 3ª rodada de simulação

Os regimes dinâmicos de vazão delineados a partir das permanências Q10; Q20; Q30 sem classificação de condição hídrica (1ª rodada) apresentaram valores de vazão superiores à condição hídrica média e inferior a condição hídrica úmida. Os RDV das permanências de Q40 a Q90 sem classificação de condição hídrica (1ª rodada) apresentaram valores de vazão entre a condição hídrica seca e média.

Os regimes dinâmicos de vazão da condição hídrica 'seca' apresentaram as menores amplitudes entre a vazão máxima e mínima e da condição hídrica 'muito úmida' apresentaram as maiores.

A duração das vazões máximas nas condições hídricas seca, média e nos RDV sem classificação de condição hídrica é de 4 meses, com picos em janeiro, janeiro e março, respectivamente. As condições hídricas 'úmida' e 'muito úmida' apresentaram duração e ocorrência das vazões máximas semelhantes às outras condições hídricas, porém com magnitudes e taxas de ascensão e recessão bem maiores.

As vazões mínimas convergem para um valor médio, variando de 660 a 866 m³/s, condições hídricas 'seca' e 'muito úmida', respectivamente, com uma diferença de 206 m³/s.

Para a determinação da série mensal de demandas ambientais dos cenários de simulação, foram utilizados os regimes dinâmicos de vazão ordenados segundo as condições hídricas do período simulado (1932 a 2003). O revezamento de condições hídricas no ambiente – seca a muito úmida – permite usufruir os benefícios ambientais que cada característica hidrológica isoladamente não forneceria.

9 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA: GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA *VERSUS* REGIME DINÂMICO DE VAZÕES

Após definidos os padrões hidrológicos do baixo curso do rio São Francisco, foram realizadas três rodadas de simulações de cenários hidrológicos, mais uma rodada sem restrição de vazão, a fim de avaliar a diferença na geração de energia hidrelétrica em decorrência dos novos regimes de vazões adotados.

Na 1ª rodada de simulação a série de vazões naturais foi utilizada sem distinção de condição hídrica. Na 2ª rodada de simulação os anos das séries de vazões naturais foram classificados de acordo com as condições hídricas propostas por Genz e Luz (2007). A 3ª rodada de simulação foi realizada adotando-se as permanências mensais utilizadas na 2ª rodada, truncando os valores máximos e mínimos de acordo com as seguintes restrições:

- ✓ Truncando as vazões mínimas no patamar de 1.300 m³/s para as condições hídricas 'média', 'úmida' e 'muito úmida' e no patamar igual a 1.100 m³/s para a condição hídrica 'seca'.
- ✓ Truncando as vazões máximas no patamar igual a 8.000 m³/s para todas as condições hídricas.

Os resultados da simulação hidrológica sem restrição de vazão no baixo trecho do rio São Francisco foram utilizados como valores de referência para a verificação da potência perdida. A potência gerada no sistema de referência foi 4.525.632,04 MW, em 72 anos de simulação.

9.1 PRIMEIRA RODADA DE SIMULAÇÃO

Apenas nos casos de restrição Q90, 1.300 m³/s, Q80 a demanda ambiental no baixo trecho do rio São Francisco foi atendida totalmente. Nos demais casos as vazões

fornecidas para suprir a demanda ambiental foram abaixo do necessário em alguns meses, mesmo sendo atribuída prioridade máxima de atendimento.

Como era esperado, quanto menor a permanência da vazão, representada pelas maiores vazões, é mais difícil manter o atendimento sem falhas (**Quadro 11**).

Quadro 11: Frequencia com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.

Casos	Frequência abaixo da demanda ambiental necessária (%)
Restrição 1.300m³/s	0
RDV Q10	87,85
RDV Q20	75,23
RDV Q30	62,38
RDV Q40	47,57
RDV Q50	32,87
RDV Q60	13,31
RDV Q70	5,44
RDV Q80	0
RDV Q90	0

Verifica-se que com o aumento da permanência das vazões do regime dinâmico houve menor perda energética nas usinas hidrelétricas, que variou de 18,2 a 99,1%, correspondendo aos RDV Q90 e Q10, respectivamente (**Quadro 12**).

Quadro 12: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada

RDV Q90	Restrição 1300m³/s	RDV Q80	RDV Q70	RDV Q60	RDV Q50	RDV Q40	RDV Q30	RDV Q20	RDV Q10
18,2	30,1	31,5	47,2	65,5	76,1	82,3	88,0	93,1	99,1

Nos casos de RDV Q10, Q20, Q30, Q40 e Q50 a potência incremental perdida foi em torno de 6% com o aumento da permanência de 10 para 50%. Já nos casos Q50, Q60, Q70, Q80 e Q90, a potência perdida aumentou rapidamente da permanência do RDV de 90 a 50% (**Figura 23**).

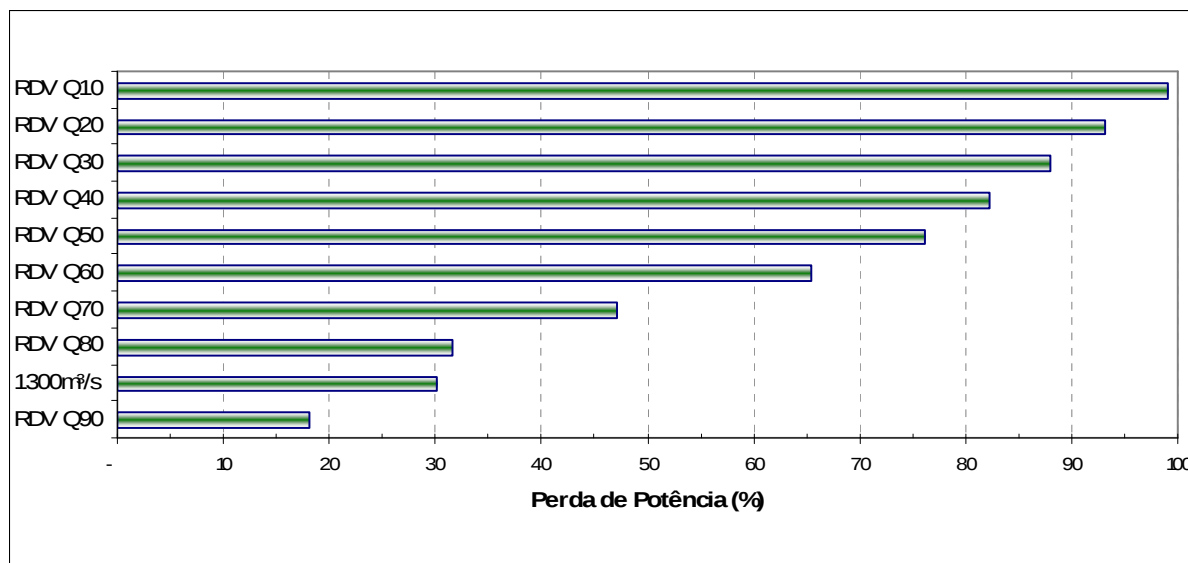


Figura 23: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por caso simulado – 1ª Rodada

A restrição de 1.300 m³/s, adotada atualmente, apresentou uma potência perdida de 30,1%, superior a potência perdida no caso de RDV Q90 (18,2%). Fazendo análise comparativa entre os dois casos observou-se que no caso Q90 todas as UHE passaram menos tempo com déficit de energia (potência desejada - potência gerada) do que no caso de referência 1.300 m³/s (**Quadro 13**).

Quadro 13: Frequencia em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.

QUADRO COMPARATIVO: CASOS Q90 - 1.300m³/s		
Frequencia abaixo da potência desejada (%)		
Usinas	Caso Q90	Caso 1.300m³/s
Complexo_PAM	81,71	82,52
Itaparica	77,20	78,82
Sobradinho	77,43	78,59
Xingó	63,31	65,74

Na primeira rodada de simulação, o caso que melhor favorece a geração de energia é o que utiliza a Q90 mensal para determinação do regime dinâmico de vazão, produzindo um impacto de 18,2% em 72 anos de operação, enquanto que a restrição adotada atualmente leva a um impacto de 30,1%, de acordo com a simulação realizada.

Apesar do regime dinâmico de vazão no caso Q90 possuir uma demanda ambiental acima de 1.300 m³/s nos meses mais chuvosos (máximo de 2.599 m³/s), este caso foi o que apresentou maior potência gerada da série histórica. Porém as vazões nos meses mais secos são abaixo de 1.300 m³/s (mínimo de 761 m³/s), compensando os

meses de cheia o que favorece a geração de energia e o atendimento dos reservatórios ao volume meta.

9.2 SEGUNDA RODADA DE SIMULAÇÃO

Apenas nos casos de RDV Q90, 1.300 m³/s, Q80, Q70 a demanda ambiental no baixo trecho do rio São Francisco foi atendida totalmente. Nos demais casos as vazões fornecidas para suprir a demanda ambiental foram abaixo do necessário em alguns meses, mesmo sendo atribuída prioridade máxima de atendimento.

Como era esperado, quanto menor a permanência da vazão, representada pelas maiores vazões, é mais difícil manter o atendimento sem falhas (**Quadro 14**).

Quadro 14: Frequência com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.

Casos	Frequência abaixo da demanda ambiental necessária (%)
Restrição 1.300m³/s	0
RDV Q10	92,59
RDV Q20	81,13
RDV Q30	62,38
RDV Q40	40,63
RDV Q50	17,25
RDV Q60	1,74
RDV Q70	0
RDV Q80	0
RDV Q90	0

Verifica-se que com o aumento da permanência das vazões do regime dinâmico houve menor perda energética nas usinas hidrelétricas, que variou de 20,1 a 99,7%, correspondendo aos RDV Q90 e Q10, respectivamente (**Quadro 15**).

Quadro 15: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada

RDV Q90	Restrição 1300m ³ /s	RDV Q80	RDV Q70	RDV Q60	RDV Q50	RDV Q40	RDV Q30	RDV Q20	RDV Q10
20,1	30,1	32,8	52,3	76,4	94,8	98,7	99,3	99,6	99,7

Nos casos de RDV Q10, Q20, Q30 e Q40 pouca potência incremental é perdida (menos de 1%) com o aumento da permanência do RDV de 10 para 40%. Já nos casos Q50, Q60, Q70, Q80 e Q90 ocorrem o inverso, a potência perdida aumenta rapidamente da permanência do RDV de 90 a 60% (**Figura 24**).

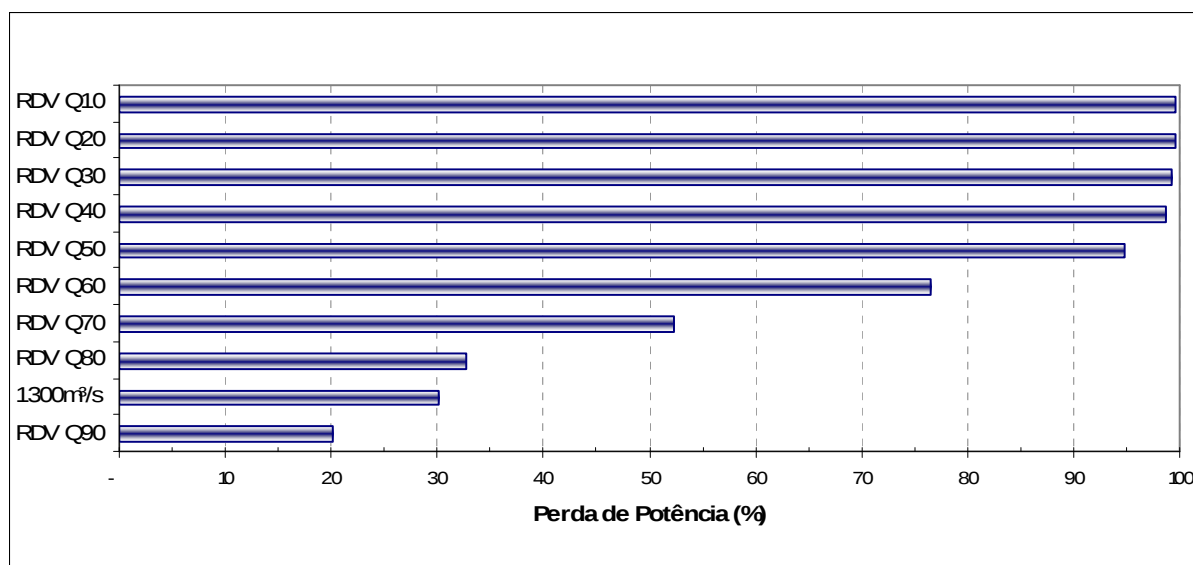


Figura 24: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por situação simulada – 2ª Rodada

De acordo com o resultado das simulações nota-se que o caso em que se adotou o regime dinâmico de vazão com permanência mensal de 90% apresentou maior geração de energia na série histórica do que o caso em que se adotou a restrição de 1.300 m³/s mensal em todo o período, restrição atual a jusante dos reservatórios.

Fazendo análise comparativa entre estes dois casos vê-se que no caso Q90 apenas a UHE Sobradinho apresentou maior frequência gerando abaixo da potência desejada. Todas as outras usinas passaram menos tempo com déficit de energia (potência desejada - potência gerada) do que no caso de referência 1.300 m³/s (Quadro 16).

Quadro 16: Frequencia em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.

QUADRO COMPARATIVO: CASOS Q90 - 1.300m³/s		
Frequencia abaixo da potência desejada (%)		
Usinas	Caso Q90	Caso 1.300m³/s
Complexo_PAM	81,83	82,52
Itaparica	77,20	78,82
Sobradinho	77,20	77,08
Xingó	62,50	65,28

Na segunda rodada de simulação, o caso que melhor favorece a geração de energia é o que utiliza a Q90 mensal para determinação do regime dinâmico de vazão, produzindo um impacto de 20,1% em 72 anos de operação, enquanto que a

restrição adotada atualmente leva a um impacto de 30,1% (1.300 m³/s), de acordo com a simulação realizada.

Apesar do regime dinâmico de vazão no caso Q90 possuir uma demanda ambiental muito acima de 1.300 m³/s nos meses mais chuvosos e nos anos de condições hídricas mais úmidas (máximo de 7.101 m³/s), este caso foi o que apresentou maior potência gerada da série histórica. Porém as vazões nos meses mais secos são abaixo de 1.300 m³/s (mínimo de 660 m³/s), compensando os meses de cheia o que favorece a geração de energia e o atendimento dos reservatórios ao volume meta.

9.3 TERCEIRA RODADA DE SIMULAÇÃO

O regime dinâmico de vazão da terceira rodada de simulação segue o padrão da segunda rodada, mantendo a época em que ocorrem as cheias e estiagens e a duração delas, porém atenuando as magnitudes das cheias e evitando secas extremas, sem estabilizar o nível fluviométrico.

Apenas nos casos Q90, 1.300 m³/s, Q80, Q70 a demanda ambiental no baixo trecho do rio São Francisco foi atendida totalmente. Nos demais casos as vazões fornecidas para suprir a demanda ambiental foram abaixo do necessário em alguns meses, mesmo sendo atribuída prioridade máxima de atendimento.

Como era esperado, quanto menor a permanência da vazão, representada pelas maiores vazões, é mais difícil manter o atendimento sem falhas (**Quadro 17**).

Quadro 17: Frequencia com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária – 3ª Rodada.

Casos	Frequência abaixo da demanda ambiental necessária (%)
Restrição 1.300m³/s	0
RDV Q10t	92,59
RDV Q20t	80,32
RDV Q30t	61,92
RDV Q40t	40,16
RDV Q50t	19,91
RDV Q60t	2,55
RDV Q70t	0
RDV Q80t	0
RDV Q90t	0

Verifica-se que com o aumento da permanência do regime dinâmico de vazão houve menor perda energética nas usinas hidrelétricas, que variou de 32,7 a 99,7%, correspondendo aos RDV Q90t e Q10t, respectivamente (**Quadro 18**).

Quadro 18: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada – 3ª Rodada

RDV Q90t	Restrição 1300m³/s	RDV Q80t	RDV Q70t	RDV Q60t	RDV Q50t	RDV Q40t	RDV Q30t	RDV Q20t	RDV Q10t
32,7	30,1	43,8	62,8	81,9	95,1	98,6	99,2	99,6	99,7

Semelhante a 2ª rodada, nos casos de RDV Q10, Q20, Q30 e Q40 pouca potência incremental é perdida (menos de 1%) com o aumento da permanência do RDV de 10 para 40%. Já nos casos Q50, Q60, Q70, Q80 e Q90 ocorrem o inverso, a potência perdida aumenta rapidamente da permanência do RDV de 90 a 60% (**Figura 25**).

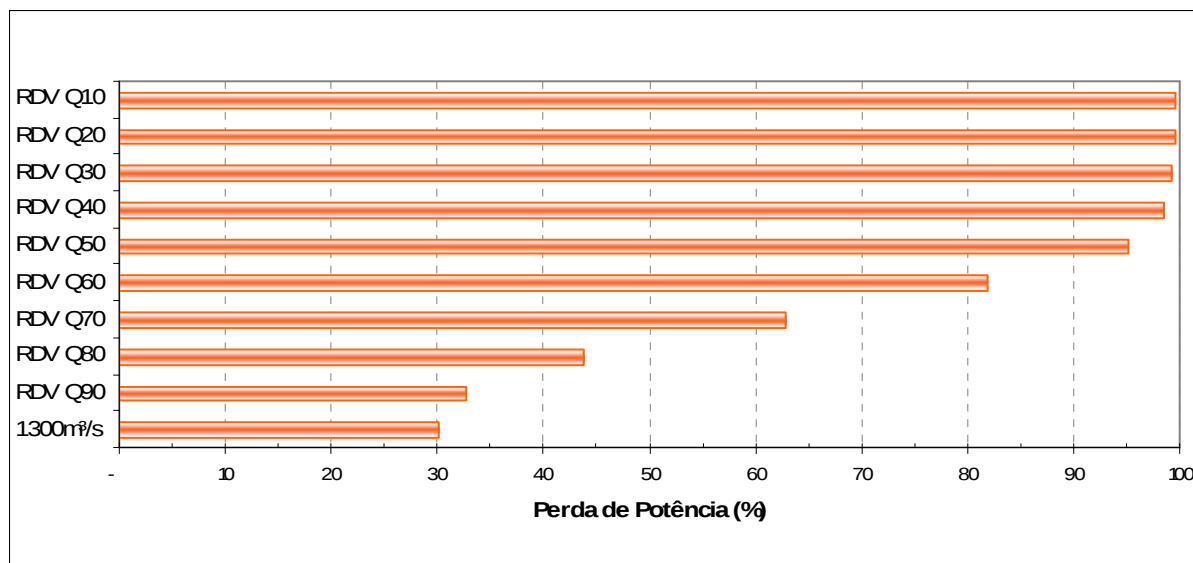


Figura 25: Potência perdida em relação ao caso sem restrição, por situação simulada – 3ª Rodada

De acordo com o resultado das três rodadas de simulação nota-se que o caso em que se adotou o regime dinâmico de vazão com permanência mensal de 90% apresentou maior geração de energia na série histórica do que o caso em que se adotou a restrição de 1.300 m³/s mensal em todo o período, restrição atual a jusante dos reservatórios.

Fazendo análise comparativa entre estes dois casos vê-se que no caso Q90 todas as UHE apresentaram maior frequência gerando abaixo da potência desejada, em relação ao caso de referência 1.300 m³/s (**Quadro 19**).

Quadro 19: Frequencia em que cada UHE gerou abaixo da potência desejada.

QUADRO COMPARATIVO: CASOS Q90 - 1.300 m³/s		
Frequencia abaixo da potência desejada (%)		
Usinas	Caso Q90	Caso 1.300m³/s
Complexo_PAM	83,33	82,52
Itaparica	79,75	78,82
Sobradinho	79,05	78,59
Xingó	66,67	65,74

O caso que utiliza a vazão de restrição de 1.300 m³/s apresentou melhor resultado em perda de potência do que o caso que melhor favorece a geração de energia da 3ª rodada de simulação (Q90), produzindo um impacto de 30,1% em 72 anos de operação, de acordo com a simulação realizada.

Na 2ª rodada de simulação, a partir do caso Q40, em direção ao aumento da permanência, as demandas ambientais apresentaram menos falhas do que na 1ª rodada de simulação e um caso a mais de demanda ambiental (Q70, Q80 e Q90) atendida totalmente. No caso Q60, a diferença alcança 12,07% entre a 1ª e 2ª rodada (**Quadro 20**).

Quadro 20: Frequencia com que ocorrem vazões abaixo da demanda ambiental necessária.

Casos	1ª Rodada de Simulação	2ª Rodada de Simulação	3ª Rodada de Simulação
Restrição 1.300 m³/s	0	0	0
RDV Q10	87,85	92,59	92,59
RDV Q20	75,23	81,13	80,32
RDV Q30	62,38	62,38	61,92
RDV Q40	47,57	40,63	40,16
RDV Q50	32,87	17,25	19,91
RDV Q60	13,31	1,74	2,55
RDV Q70	5,44	0	0
RDV Q80	0	0	0
RDV Q90	0	0	0

Em relação à potência gerada (**Quadro 21**), os casos de RDV simulados na 1ª rodada apresentaram menos potência perdida do que na 2ª e 3ª rodadas. A 1ª rodada apresentou melhores resultados para a geração de energia, mas não atendeu satisfatoriamente as demandas ambientais, havendo apenas dois casos com total atendimento (Q80 e Q90) e três casos com mais falhas do que na 2ª e na 3ª rodada (Q40, Q50 e Q60).

A adoção de RDV por condição hídrica interferiu com menos favorecimento para a geração de energia elétrica devido aos anos com condição hídrica 'úmida' e 'muito úmida', que elevaram os valores da demanda ambiental no baixo curso do rio. Porém, ao fazer as simulações adotando as necessidades ambientais sem considerar que existam diferenças interanuais, os valores das vazões dos regimes dinâmicos se apresentam similares as condições hídricas 'seca' e 'média' da 2ª rodada, em qualquer ano, não condizendo com a situação real.

Quadro 21: Potência perdida (%) em relação ao caso sem restrição por situação simulada

Casos	1ª Rodada de Simulação	2ª Rodada de Simulação	3ª Rodada de Simulação
Restrição 1.300m³/s	30,1		
RDV Q10	99,1	99,7	99,7
RDV Q20	93,1	99,6	99,6
RDV Q30	88,0	99,3	99,2
RDV Q40	82,3	98,7	98,6
RDV Q50	76,1	94,8	95,1
RDV Q60	65,5	76,4	81,9
RDV Q70	47,2	52,3	62,8
RDV Q80	31,5	32,8	43,8
RDV Q90	18,2	20,1	32,7

Marques *et al* (2003), analisaram a influência dos diversos métodos de determinação da vazão ecológica no custo da energia gerada em uma usina hidrelétrica. O método da curva de permanência mensal apresentou maiores vantagens ambientais, porém menos viabilidade econômica, em relação aos métodos que não expressam a sazonalidade do comportamento fluvial. Essa constatação se repete nos resultados desta simulação, quando houve menos perda de potência gerada (30,1%) no caso com demanda ambiental igual a 1.300 m³/s do que nos casos de RDV da terceira rodada, em que a demanda ambiental tem variação mensal.

A adoção de regimes dinâmicos de vazão com o propósito de preservação ambiental não significa que as vazões devam ter grandes magnitudes. Os meses da estação menos chuvosa na demanda ambiental do estudo de caso, apresentou valores abaixo de 1.300 m³/s, que é a vazão de restrição mínima no baixo trecho do rio São Francisco. O mais importante é a aplicação de uma metodologia adequada aos aspectos ambientais da região e a representação da sazonalidade natural do regime fluvial.

10 CONCLUSÃO

Este trabalho insere-se na temática de estudos destinados à determinação de regimes de vazões ecológicas em rios alterados por barramentos. A metodologia aplicada permite a escolha de diferentes critérios para a adoção de um regime dinâmico de vazões e para a simulação de diversos cenários de restrições à jusante de reservatórios.

Atualmente, no baixo curso é concebida uma vazão mínima de 1.300 m³/s para atender os múltiplos usos, inclusive as demandas ambientais. Os modelos de funcionamento de ambientes fluviais relacionam as complexas interações ecológicas e a biodiversidade com as diversas variáveis abióticas (fluxo de sedimentos, nutrientes, velocidade da corrente, substrato do leito etc.) que estão ligadas ao regime hidrológico de um rio. Tais estudos ecológicos são contrários à prática de adotar vazões, sem sazonalidade, a jusante de represamentos, transformando completamente a dinâmica do sistema fluvial.

Das teorias ecológicas que descrevem as relações entre biota e regime fluvial, o conceito do pulso de inundação é a mais adequada para o estudo de rios de planícies, como o baixo curso do rio São Francisco. Este conceito parte do princípio que a inundação sazonal das várzeas e lagoas marginais ao rio é essencial para o equilíbrio ecológico e manutenção da diversidade ambiental.

Com os represamentos em cascata no trecho submédio do rio São Francisco, as planícies inundáveis do baixo curso foram intensamente impactadas. A regularização do rio provocou descontinuidades longitudinais, diminuindo a velocidade do rio e o volume de água a jusante dos barramentos, alterando a magnitude e frequência dos fluxos verticais e laterais. As alterações das características hidráulicas, junto com a retirada da vegetação ciliar, têm contribuído para o assoreamento no leito e sérias erosões na margem e na foz.

Nos anos de condição hídrica seca o regime hidrológico apresentou uma expressiva regularização, elevando as vazões mínimas e reduzindo as vazões máximas. Isso

levou a uma indefinição de estações de cheia e seca, efeito causado pelos barramentos em série. As características hidrológicas do período seco oportunizam a ocorrência de importantes processos biológicos necessários à manutenção do ecossistema. A desconexão do leito do rio com lagoas marginais favorece a fauna e a flora que se desenvolvem especificamente nessas condições hidrológicas.

Os anos de condição hídrica média apresentaram alterações nas taxas de ascensão e recessão, no período de ocorrência e na duração da cheia. As alterações na velocidade do fluxo do rio prejudicam os ciclos de vida da fauna e flora. O nível de um rio que passa a se elevar e decrescer mais rápido tem causado desajustes no período de migração de espécies animais e na necessidade de exposição da vegetação marginal. Os benefícios trazidos pela inundação das áreas úmidas dependem do tempo em que permanecem inundadas ou expostas. Existe em cada ambiente uma duração ideal das cheias e secas para que seja estimulada a reprodução dos peixes.

As condições hídricas 'úmida' e 'muito úmida' apresentaram redução das vazões máximas. No período de cheia, o rio inunda áreas marginais conectando-se com lagoas que no período seco abriga pequenos animais e favorece a germinação da vegetação ripária fornecendo abrigo e alimento para animais terrestres e aquáticos, além de controlar a qualidade da água filtrando sedimentos e nutrientes que são carregados para o leito do rio. Com a vazão menor que o mínimo necessário neste período, a ligação entre rio e lagoas marginais não se estabelece, levando a desaparecimento destes ambientes.

Diversos métodos para determinação de vazões ecológicas podem ser aplicados no baixo curso do rio São Francisco para minimizar o processo de degradação do ambiente. Cada método tem uma exigência de detalhamento das informações, porém o mais eficiente não é o mais complexo. Métodos simples utilizados em uma metodologia com visão holística e considerando a sazonalidade das vazões podem ser muito adequados para o rio São Francisco.

Antes da operação dos reservatórios no trecho submédio do rio São Francisco, de 1932 a 1955, o regime hidrológico apresentou 6 anos secos, 13 anos médios, 2 anos úmidos, 3 anos muito úmidos. A identificação dos padrões hidrológicos semelhantes aos que ocorriam antes de 1955 permitiu propor regimes dinâmicos de vazão, considerando a sazonalidade natural e supondo que estes permitem a inundação de lagoas adjacentes ao rio, trazendo benefícios ecológicos. A determinação dos regimes dinâmicos de vazão no baixo trecho do rio São Francisco a partir da curva de permanência mensal fornece subsídios ao estudo de vazões ecológicas, porém isoladamente não cumpre com o papel de preservação ambiental.

O regime dinâmico de vazão a ser adotado depende da avaliação conjunta da situação ambiental desejada, das condições operacionais das UHE e da busca da minimização dos conflitos do uso da água no baixo trecho do rio São Francisco, culminando na elaboração de uma proposta sócio-econômica e ambiental que aponte metas e custos da implementação, a partir das análises de perdas e ganhos entre múltiplos usos e simulações com diversos cenários sócio-econômicos e diferentes demandas ambientais (ANEXO C).

Neste trabalho, a simulação hidrológica foi realizada para verificar a perda de potência gerada nas usinas hidrelétricas, variando os cenários em função das demandas ambientais propostas a partir da identificação dos padrões hidrológicos do rio São Francisco.

Na 1ª rodada de simulação, o cenário com a restrição mínima no baixo curso do rio São Francisco igual a 1.300 m³/s apresentou maiores perdas de potência no sistema do que o caso que utilizou o regime dinâmico de vazão Q90. Além disso, o RDV atendeu totalmente a demanda ambiental do cenário simulado com menor perda de potência.

A 2ª rodada de simulação apresentou maiores perdas de energia do que a 1ª rodada. Nessa simulação o caso que utiliza o RDV Q90 apresentou maiores vantagens em relação a perdas de potência.

Na 3ª rodada, levando em consideração as restrições mínimas de vazão do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica e da Curva Bianual de Aversão a Risco para a Região Nordeste e as vazões máximas do Plano Anual de Prevenção de Cheias do Rio São Francisco, o resultado se inverteu. O caso Q90 superou o caso 1.300m³/s em perdas de energia, em uma diferença de 2,6%.

De acordo com a simulação nesta dissertação, os melhores resultados em 72 anos de operação foi o seguinte:

- ✓ 1ª Rodada (sem considerar CHID): Q90 $\Rightarrow$ perda de 18,2% do potencial a ser gerado;
- ✓ 2ª Rodada (considerando a CHID): Q90 $\Rightarrow$ perda de 20,1% do potencial a ser gerado;
- ✓ 3ª Rodada (considerando a CHID e truncando a vazão mínima): Q90 $\Rightarrow$ perda de 32,7% do potencial a ser gerado;

A 3ª rodada apresentou a maior perda de potência da simulação hídrica (32,7%), no melhor caso (Q90), em média 20.553,91 MW por ano, o que equivale, por exemplo, a usina Xingó operando com a potência total instalada (3.000 MW), durante 7 meses.

Diante destes resultados ressalta-se a necessidade de um maior avanço na aplicação de metodologias para determinação de vazões ecológicas no rio São Francisco que considerem a quantidade de água que deve ser mantida no rio, a variabilidade dos fluxos e o sincronismo com ciclos de vida de espécies aquáticas e terrestres que se beneficiam das alterações sazonais, além de considerar os múltiplos usos da água.

11 RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, é importante ressaltar que foram determinados regimes de vazões com padrões hidrológicos semelhantes ao regime natural do rio e não exatamente a vazão ecológica, pois esta última requer estudos complementares que não foram contemplados devido a limitações impostas pela natureza do trabalho de dissertação: tempo, escassez de informações e recursos financeiros.

Os métodos tradicionais para determinação de vazões mínima ecológica dão subsídios à determinação de regimes dinâmicos de vazão, desde que adaptados de modo a atender a sazonalidade fluvial e as necessidades ambientais de cada bacia hidrográfica, tais como: fluxo de sedimentos e nutrientes, ciclos de vida de espécies aquáticas, manutenção de lagoas e ecossistemas ribeirinhos, dentre outros.

Recomenda-se os seguintes estudos complementares a esta dissertação para a identificação de critérios de determinação de regime de vazões ecológicas no baixo curso do rio São Francisco:

- ✓ Identificar os aspectos do regime hidrológico natural que são importantes para o ecossistema, relacionando o ciclo de vida de espécies indicadoras da alteração hidrológica com as principais características do regime fluvial;
- ✓ Por meio das curvas-chave e seções transversais dos postos fluviométricos, relacionar as vazões com os níveis do rio e elevações no terreno para delimitar áreas de inundação fluvial (**Figura 26**);

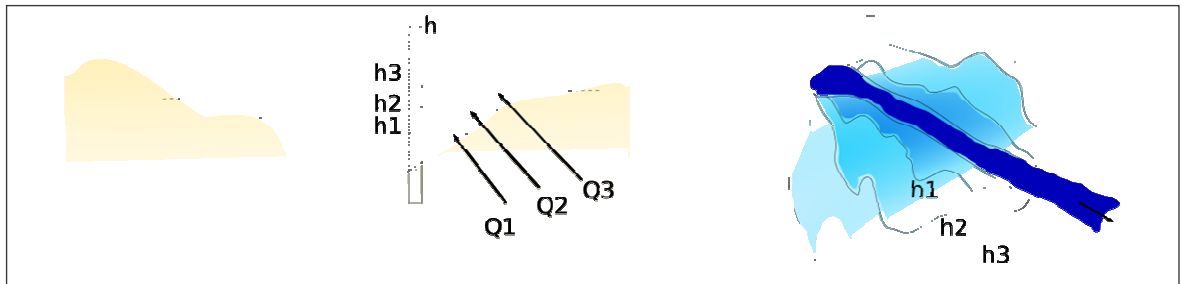


Figura 26: Representação esquemática de um trecho do rio em corte transversal e em vista superior, mostrando a associação dos níveis fluviométricos com as cheias marginais prováveis.

- ✓ Identificar o nível fluviométrico mínimo suficiente para inundar as lagoas marginais do trecho baixo do Rio São Francisco:

Na várzea Matias de Souza existe uma comporta de gaveta operada por volante com acesso livre que controla o fluxo entre o rio e a lagoa (**Figura 27**). A intenção é usar a várzea exclusivamente como berçário para peixes: as comportas são operadas para represar as águas na várzea em momentos de cheia do rio, deixando-as fechadas para esperar a procriação e crescimento de peixes, após abrindo-as para retorno dos peixes ao leito do rio São Francisco.



Figura 27: Comporta na Várzea Matias de Souza

Na lagoa do Morro a operação da comporta é improvisada com tábuas. A conexão com o rio é feita por um canal subterrâneo à estrada que liga Propriá à Pindoba (**Figura 28** e **Figura 29**). A operação da comporta está sendo realizada para exploração da pesca na lagoa.



Figura 28: Canal na margem da Lagoa do Morro.



Figura 29: Canal na margem do rio, atravessando a estrada Propriá-Pindoba.



A lagoa Pindoba é adjacente à margem do rio São Francisco e a conexão não é pontual, ocorrendo quando o rio transborda lateralmente (**Figura 30**).



Figura 30: Lagoa Pindoba às margens do rio São Francisco.

Existem outras lagoas na região, sem qualquer controle ou manejo.

- ✓ Avaliar a capacidade das estruturas de descargas das barragens para permitir a reprodução de regimes de vazões ecológicas;
- ✓ Avaliar as incompatibilidades entre os usos do corpo hídrico, entre eles, as demandas ambientais (**ANEXO C**);
- ✓ Elaborar cenários prospectivos: objetivos, metas, custos, consequências da implementação do regime de vazão ecológica (**ANEXO C**).

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.H.; BERNARDO, J.M. Contribuição para uma metodologia de determinação do caudal ecológico em cursos de água temporários. In: Congresso da água, 5., 2000, Lisboa/ Portugal.
- AMORIM, F. B.; CIDREIRA, T. S. *Alocação de águas em bacias hidrográficas: uma abordagem ambiental*. 2006. Monografia (Especialização). Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos. GRH/UFBA, Salvador, 2006.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003). *Subprojeto 2.4 – Estudo do Processo Erosivo das Margens do Baixo São Francisco e seus Efeitos na Dinâmica de Sedimentação do Rio*. Resumo Executivo do Relatório Final. Projeto Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. Aracaju, 2003.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA. *Plano decenal de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco – (2004-2013)*. Módulo 1. Resumo Executivo. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco - Subprojeto 4.5C. Salvador, 2004.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica; OMM, Organização Meteorológica Mundial. *Previsão de vazões na bacia do rio São Francisco com base na previsão climática*. 2004.
- ANZECC - Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and ARMCANZ - Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (2000). *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Paper n.4 – v.1 (Chapters 1-7).
- BARON, J.S. et. al. Ecosistemas de agua dulce sustentables. Tópicos en Ecología, Sociedad Norteamericana de Ecología, n.10 Invierno, p.1-15, 2003.
- BEECHER, H. A. Standards for instream flows. *Rivers 1*, p. 97-109, 1990.
- BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.; COBALCHINI, M.S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, RS, v.8, n.2, p.149-160, 2003.
- BERNARDO, J. M. *Definição de caudais ecológicos em cursos de água de regime mediterrâneo? Algumas reflexões de um biólogo*. In: Congresso da Água, 3., SILUBESA, 7., 1996, Lisboa, Portugal. Anais...Portugal, 1996, v.3, p.545-550.

BIZERRIL, C.R.S.F.; PRIMO, P.B.S. *Peixes de águas interiores do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: FEMAR – SEMADS, 2001.

BOMFIM, J.D. Movimentos sociais de trabalhadores no rio São Francisco. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona [ISSN 1138-9788], nº.45 (30), 1999.

BRANDÃO, J. L. B. Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos. 2004. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2004.

CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (2008). *Parque de Geração: Usinas*. Disponível em: http://www.chesf.gov.br/energia_parquedegeracao_usinas.shtml

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blucher, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, 1981.

COLLISCHONN, W. et al. Em busca do hidrograma ecológico. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

CRUZ, J. C. *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de aspectos Práticos e Conceituais*. 2001. 205p. Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. IPH/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, R. C. *Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados*. 2005. 131p. Tese (Doutorado em Ecologia), Programa de Pós Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DOMÍNGUEZ, G.J.; FINOTTI, A.R. *Vazão ecológica e gestão dos recursos hídricos, aplicações no Brasil e Chile*. Bolsa Projeto ALFA II- Formação de Curta Duração, FDC-0216 (Resumo), Universidade de Chile, 2005.

DUPUY, Jean Pierre. *Nas origens das ciências cognitivas*. São Paulo: UNESP, 1996.

FARIA, A. S. *Alocação ótima dos recursos hídricos através da aplicação de um modelo de rede de fluxo*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

GENZ, F.; LUZ, L. *Metodologia para considerar a variabilidade hidrológica na definição do regime natural de vazões no baixo curso do rio São Francisco*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo/SP.

HANSSON, L. Why ecology fails at application: should we consider variability more than regularity?. *Oikos*, Lund, Sweden, v.100, n.3, p.624–627, 2003.

HENRY, R. (editor). *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. Botucatu: Fundibio; Fapesp, 1999.

HENRY, R. (org.). Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos e importância. Estudo de aplicação em lagoas marginais ao rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na represa Jurumirim. In: _____. *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: RiMa, 2003. 349p.

IWMI - International Water Management Institute. *Environmental flow methodologies*. 2007. Acessado em: 17 abr. 2007. Disponível em: < <http://www.lk.iwmi.org> >

GONDIM, J. Apresentação na 51^a Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2006.

JUNK, W.J. *et al.* The flood pulse concept in river-floodplain system. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences/Publication speciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, n.106, p.110-127, 1989.

KING, J.; LOUW D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, n.1, p.109-124, 1998.

LABADIE, J. W. Program MODSIM, river basin network flow model for the microcomputer. Department of Civil Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Co., 1988.

LANNA, A. E. L. Modelos de Gerenciamento das Águas. *A Água em Revista (CPRM)*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 8, p. 24-33, 1997.

LERNER, G.L.S. *Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em rede Acquanet*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

LIMA, J. E. F. W. [et al]. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão da bacia do rio São Francisco. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANEEL: ANA, 2001.

LUZ, L. D.; AMORIM, F. B.; LUZ, J. A. G. Aspectos ecológicos associados a alterações hidrológicas observadas no baixo trecho do rio São Francisco. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 7., 2005, Caxambu, MG. Sociedade de Ecologia do Brasil, 2005.

MARQUES, M.G [et. aL]. Influência dos métodos de determinação de vazão ecológica no custo de geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos-estudo de caso. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR, 2003.

MCMAHON, T.A. Hydrologic design for water use. In: MAIDMENT, D.R. (ed). Handbook of hydrology. New York: McGraw – Hill, 1992.

MORAES, M. G. A. de; CIRILO, J. A.; SAMPAIO, Y. *Apoio a decisão na gestão de recursos hídricos usando modelo econômico-hidrológico integrado para alocação ótima de Água: uma aplicação na bacia do Rio Pirapama*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 16. 2005, João Pessoa, PB.

O'KEEFFE, J. *What are environmental flows? background and rationale*. Delft, The Netherlands. Disponível em: <<ftp://ftp.ihe.nl/Jay/>>. Acesso em: 17 mai. 2006.

OLIVEIRA, P.S.G. *Estudo das várzeas visando o controle de cheias urbanas e a restauração ecológica: o caso do parque linear do Ribeirão das Pedras, em Campinas, SP*. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Plano Anual de Prevenção de Cheias* - ciclo 2006/2007. Rio de Janeiro, 2006.

ONS - Operador Nacional do Sistema. Assessoria de Comunicação e Marketing, dados obtidos por meio do e-mail: <info@ons.org.br>, 2008.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M.C.B. Macrófitas aquáticas como agentes filtradores de materiais particulados, sedimentos e nutrientes. In: HENRY, R. (org). *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: RiMa, 2003. 349p.

PELISSARI, V. B.; SARMENTO, R. Vazão ecológica para o rio Santa Maria da Vitória, ES. In: Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 5., 2001, Espírito Santo. *Anais...Vitória*, ES: ABES, 2001.

POFF, N. L. *et al.* The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, v.47, p.769-784, 1997.

PRUSKI, Fernando Falco; PEREIRA, Silvio Bueno; NOVAES, Luciano Frarias de; SILVA, Demetrius David da; RAMOS, Márcio Mota. *Comportamento hidrológico na foz do rio São Francisco durante período de 1950 a 1999*. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 13, p. 118/2-123, 2005.

RICHTER, B. D. *et al.* Ecologically sustainable water management: Managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, v. 13 n.1, p.206-224, 2003.

RIEGER, A. *A economia ribeirinha e os tempos da natureza*. 2001. Disponível em: <<http://www.canoadetolda.org.br/Artigos.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2006.

ROBERTO, A. N. *Modelos de Rede de Fluxo para Alocação de Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica*, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

SARMENTO, R. *Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo*. Unesco/ANA/CBHSF, 2007.

STALNAKER, C. *et al.* *The Instream Flow Incremental Methodology: a primer for IFIM*. U.S Department of the Interior, National Biological Service, Washington, EUA, 1995.

STANFORD, J.A.; WARD, J.V. Revisiting the Serial Discontinuity Concept. *Regulated Rivers*, v.17, p.303–310, 2001.

STARZOMSKI, B.M. *et. al.* Contemporary visions of progress in ecology and thoughts for the future. *Ecology and Society*, v.9, n.1, 2004.

TENNANT, D.L. *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources*. In: Fisheries, 1(4), 6-10. 1976.

THARME, R.E.; KING J.M. Development of the building block methodology for instream flow assessments and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems. *Water Research Commission Report*, Cape Town, South Africa, n.576, 1998.

THOMAZ, S.M. *et al.* Decomposição das macrófitas aquáticas e sua relação com o pulso de inundação. In: *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. HENRY, R. (org). São Carlos: RiMa, 2003. 349p.

VANNOTE, R.L. *et al.* The river continuum concept. *Canadian Journal of fisheries and aquatic science*. v37, n.1, p.130-137, 1980.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Volume 7. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007. v. 1. 588 p.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. *Regulated Rivers: Res. Manage*, v.10, p.159–168, 1995.

WARD, J.V.; STANFORD, J.A. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T. D.; BARTHEL, S. M. (Eds). *Dynamic of lotic ecosystems*. Michigan: Ann. Arbor. Scien., 1983. p. 347-356.

APÊNDICE A – DADOS DE ENTRADA PARA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA NO ACQUANET (CHESF, 2008; ONS, 2008)

VOLUMES CARACTERÍSTICOS				
	SOBRADINHO	ITAPARICA	PAM	XINGÓ
$V_{\text{máx}}$ (Mm ³)	34116	10782	1373	3800
$V_{\text{mín}}$ (Mm ³)	5447	7234	1373	3800
V_{inicial} (Mm ³)	34116	10782	1373	3800

POLINÔMIO COTA X VOLUME					
	PCV(0)	PCV(1)	PCV(2)	PCV(3)	PCV(4)
SOBRADINHO	3,741790E+02	1,396690E-03	-5,351590E-08	1,155989E-12	-9,545989E-18
ITAPARICA	2,758130E+02	6,764889E-03	-8,868370E-07	7,067909E-11	-2,239850E-15
PAM	2,515000E+02	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
XINGÓ	1,380000E+02	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
POLINÔMIO ÁREA X COTA					
	PAC(0)	PAC(1)	PAC(2)	PAC(3)	PAC(4)
SOBRADINHO	-5,037100E+05	4,913789E+03	-8,966889E+00	-1,891690E-02	4,653790E-05
ITAPARICA	-1,996950E+05	1,822240E+03	-4,435699E+00	-1,917610E-03	1,292100E-05
PAM	2,130000E+02	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
XINGÓ	6,000000E+01	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00

TAXA DE EVAPORAÇÃO (M/MÊS)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SOBRADINHO	0,189	0,114	0,098	0,118	0,106	0,081	0,132	0,153	0,142	0,158	0,181	0,197
ITAPARICA	0,195	0,158	0,152	0,140	0,109	0,081	0,105	0,109	0,101	0,123	0,158	0,180
PAM	0,195	0,158	0,152	0,140	0,109	0,081	0,105	0,109	0,101	0,123	0,158	0,180
XINGÓ	0,195	0,158	0,152	0,140	0,109	0,081	0,105	0,109	0,101	0,123	0,158	0,180

VOLUMES META (% do $V_{\text{máx}}$)			
SOBRADINHO	ITAPARICA	PAM	XINGÓ
80	80	100	100

POTÊNCIA INSTALADA (MW)	
USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA
SOBRADINHO	1.050,3
ITAPARICA	1.479,6
PAM	4.283
XINGÓ	3.162

RENDIMENTO TURBINA-GERADOR (%)	
USINA HIDRELÉTRICA	RENDIMENTO TURBINA-GERADOR (%)
SOBRADINHO	92
ITAPARICA	91
PAM	92,1
XINGÓ	93

ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE			
SOBRADINHO	ITAPARICA	PAM	XINGÓ
0,894	0,849	0,860	0,860

POTÊNCIA DESEJADA			
SOBRADINHO	ITAPARICA	PAM	XINGÓ
863,851	1143,124	3392,393	2528,968

NÚMERO TOTAL DE TURBINAS			
SOBRADINHO	ITAPARICA	PAM	XINGÓ
6	6	23	6

POLINÔMIO ENGOLIMENTO MÁXIMO X QUEDA					
	PCV(0)	PCV(1)	PCV(2)	PCV(3)	PCV(4)
SOBRADINHO	3,60E+02	1,96E-03	-2,97E-07	2,51E-11	-7,70E-16
ITAPARICA	2,52E+02	-	-	-	-
PAM	1,29E+02	2,08E-03	-5,27E-08	6,66E-11	2,23E-17
XINGÓ	1,95E+01	-	-	-	-
POLINÔMIO COTA DE JUSANTE X VAZÃO DE JUSANTE					
	PJA0	PJA1	PJA2	PJA3	PJA4
SOBRADINHO	3,596538E+02	1,964010E-03	-2,968730E-07	2,508280E-11	-7,702299E-16
ITAPARICA	2,515000E+02	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
PAM	1,380000E+02	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
XINGÓ	1,003861E+01	6,665461E-03	-2,454770E-06	4,559482E-10	-3,144850E-14

ANEXO A – QUADRO DE METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZÕES ECOLÓGICAS (IWM, 2007)

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
10% of MAF	Hydrological	None - Standard hydrological index.	Gordon et al. 1992	Tharme 1996
			Smakhtin 2001	Tharme in press (2003)
10% of Q90	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Benetti et al. 2002
			Smakhtin 2001	Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
20% Food-producing WUA Approach	Habitat Simulation	-		Jowett 1997
20% of Q90	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Benetti et al. 2002
			Smakhtin 2001	Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
25% of MAF	Hydrological	None - Standard hydrological index.	Gordon et al. 1992	Tharme 1996
			Smakhtin 2001	Tharme in press (2003)
2-D/3-D hydrodynamic modelling	Habitat Simulation	None - Generic modelling approach.		Leclerc et al. 1995
				Scruton et al. 1996
30% of MAF	Hydrological	-		Jowett 1997
30% of Mean Monthly Flow	Hydrological	None - Standard hydrological index.	Gordon et al. 1992	Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
				Scarf 1983, cited in Mosley 1983
30-75% of 1 in 5 year low flow	Hydrological	-		Jowett 1997
				Snelder et al. 1998 cited in Bragg et al. 1999
				Forlong 1994 cited in Jowett 1997
33-46% MAF	Hydrological	-		Docampo & De Bikuña 1993
50% of 7Q10	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Benetti et al. 2002
			Smakhtin 2001	
5-20% of Q90	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Benetti et al. 2002

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
			Smakhtin 2001	
70% of 7Q10	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Benetti et al. 2002
			Smakhtin 2001	Reiser et al. 1989a
				Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
7Q10	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Caissie & El-Jabi 1994
			Smakhtin 2001	
Average Base Flow Methodology	Hydrological	Source not documented, but presumably aquatic resource regulatory agencies in New England, USA.	Kulik 1990	Caissie & El-Jabi 1994
			Stalnaker & Arnette 1976	Dunbar et al. 1998
				Kulik 1990
				Reiser et al. 1989a
				Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
Basic Flow Method	Hydrological	-		Palau & Alcazar 1996
BBM	Holistic	-		
Benchmarking Methodology	Holistic	DNR 1998 Brizga 2000 Brizga et al. 2002	Brizga et al. 2002	Brizga et al. 2002
BENHFOR Procedure	Combination	-		Buffagni 2001
Biotope-level modelling	Habitat Simulation	-		Tharme In prep
				Tharme & King 1998
BWE	Hydrological	-		King et al. 1999
Case-specific holistic-based approaches	Combination	Department of Water Resources (DWR), Australia.		Growns & Kotlash 1994
CASIMIR	Habitat Simulation	-		Jorde K, pers. comm.
Combination of IFIM & elements of holistic methodologies	Other	-		
Correlations of fish year class to spawning flow	Other	-		Dunbar et al. 1998

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
Correlations of Q95, physico-chemical & biotic indices	Combination	-	Dacova et al. 2000	Dacova et al. 2000
Cubillo Method	Habitat Simulation	-		Cubillo 1992
Desktop Estimate	Hydrological	-		DWAF 1999d
				DWAF 1999e
				Hughes 2001
				King et al. 1999
				King et al. (eds) 2000
				Hughes 1998, cited in Hughes 2001
Hughes & Munster 1999, cited in Hughes 2001				
Direct use of GIS-based studies of physical habitat for fish/invertebrate species	Other	-		Muotka et al. 1996
Direct use of hydrology, water quality data & various biotic indices	Other	-		
DRIFT	Holistic	Southern Waters Ecological Research and Consulting, Cape Town, South Africa, and others.	King et al. 2002	Arthington 1998a
Ecohydrological modelling	Holistic	None - generic, unspecified approach.		
Ecotype-based Modified Tennant Method	Hydrological	-		Alves et al. 1996
Empirical Discharge-Water Surface Area (as habitat) Approach	Hydraulic Rating	-		O'Donnel & Moore, 1983, cited in Mosley 1983
ENSA Toulouse Method	Habitat Simulation	-		Dunbar et al. 1998
Environmental Flow	Holistic	-		King et al. 1999

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
Management Plan Method				Muller (ed.) 1996
				Muller (ed.) 1997
EPAM	Holistic	-		
EVHA	Habitat Simulation	-		Ginot 1995, cited in Dunbar et al., 1998
				Pouilly et al., 1995, cited in Lamoroux et al., 1999
Expert method for minimum flows	Other	-		Faugli 1997, cited in Brittain & Henning L'Abée-Lund 2001
FDC Analysis (FDCA)	Hydrological	None - generic approach.	Gordon et al. 1992	Gordon et al. 1992
			Smakhtin 2001	Richardson 1986
				Stalnaker & Arnette 1976
				Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
				Beecher 1990, cited in Dunbar et al. 1998
FDC percentiles	Hydrological	-		Ferrar (ed.) 1989
				King et al. 1999
				Tharme 1996
FDC percentiles	Hydrological	-		Ferrar (ed.) 1989
				King et al. 1999
				Tharme 1996
Fish Habitat Analysis	Habitat Simulation	-		
Fish population modelling within an IFIM-type framework	Habitat Simulation	-		Dunbar et al. 1998
Fish Rule Curve Method	Habitat Simulation	-		
Fleckinger Approach	Habitat Simulation	-		Cubillo 1992
Flow Events Method	Holistic	-	Stewardson 2001	Cottingham et al. 2001
				Stewardson 2001
Flow indices from frequency analyses (unspecified)	Hydrological	-		Dunbar et al. 1998

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
Flow Translucency Approach	Hydrological	-	Gippel 2001	Gippel 2001
FLOWRESM	Holistic	-		Arthington et al. 2000
Food-producing Habitat Retention Approach	Habitat Simulation	-		Jowett 1997
FST-Hemisphere Benthos hydraulic modelling	Habitat Simulation	-		Statzner et al. 1990
HABIOSIM	Habitat Simulation	-		
Habitat Duration Analysis	Habitat Simulation	-		
Habitat-based hydrological modelling linked to river system fish populations	Combination	-		
Hall Fish Habitat Approach	Combination	-	Hall 1989	Hall 1989
			Hall 1991, cited in Arthington & Pusey 1993	Hall 1991, cited in Arthington & Pusey 1993
HAM	Holistic	-		
Holistic Approach	Holistic	-		
Holistic framework combining expert opinion, various criteria (unspecified), 7-point naturalness scale, elements of IFIM/PHABSIM	Combination	-	Dunbar et al. 1998	Dunbar et al. 1998
Holistic methodologies (DRIFT, BBM or similar)	Holistic	-		
Hoppe and Finnell Method	Hydrological	Not specified, but presumably Hoppe and Finnell.	Hoppe & Finnell 1970, cited in Stalnaker & Arnette 1976	Dunbar et al. 1998
			Hoppe & Finnell 1973, cited in Stalnaker & Arnette 1976	Gordon et al. 1992

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
			Hoppe 1975, cited in Growns & Kotlash 1994	Stalnaker & Arnette 1976
				Swales et al.1994
				Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
Hydraulic Geometry-Discharge Relationships	Hydraulic Rating	-		Mosley 1992, cited in Jowett 1997
Hydraulic habitat modelling	Habitat Simulation	-		Blažková 1998
				Bernadova & Mrazek 1995, cited in Bernadova 1988
Hydraulic habitat simulation modelling (EFMs from Netherlands)	Hydraulic Rating	-		Dunbar et al. 1998
Hydraulic-based methodologies (unspecified)	Hydraulic Rating	-		Vismara et al. 2001
Hydrograph Reconstruction Approach	Combination	-		Salverda et al. 1996
IFIM (and/or PHABSIM)	Habitat Simulation	-		Dunbar et al. 1998
				Scott & Shirvell 1987
				Shirvell 1986
				Tharme 1996
Integrated GIS-based habitat simulation model	Habitat Simulation	-		Semmekrot et al. 1996
Linked statistical hydraulic & multivariate habitat use models	Habitat Simulation	-		Lamoroux et al. 1998
Low flow indices from FDC analysis (unspecified)	Hydrological	-		Dunbar et al. 1998
Managed Flood Releases Approach	Combination	-	Acreman et al. 2000	Acreman et al. 2000

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
Mean Monthly Flow	Hydrological	None - Standard hydrological index.	Gordon et al. 1992	
Means of recommended Qs derived from multiple methodologies	Other	-		Green 1993, cited in Cross et al. 1994
Median Monthly Flow	Hydrological	None - Standard hydrological index.	Gordon et al. 1992	Caissie & El-Jabi 1994
Microhabitat simulation models for large rivers (unspecified)	Habitat Simulation	-		
Minimum Q of 50 litres s-1 or Q347 (with minimum depth=0.20m, for Q>50 litres s-1)	Hydrological	-		Docampo & De Bikuña 1993
MNQ	Hydrological	-		Statzner et al. 1990
Modified Hoppe & Finnell Method	Hydrological	-		
Modified HQI Method	Combination	-		Annoni et al. 1996
				Saccardo 1997, cited in Vigano et al. 1997
				Benedini 1997, cited in Vigano et al. 1997
				Rambaldi et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997
				Gentili et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997
				Bagnati et. al 1994, cited in Dunbar et. al 1998
				Saccordo et. al. 1994, cited in Dunbar et. al. 1998
Modified Tennant Method	Hydrological	-		Tierney 1986

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
				Fraser 1978, cited in Tierney 1986
MORIMOR-HAFIMO Integrated model	Combination	-		Peviani et al. 1996
MQ	Hydrological	-		Statzner et al. 1990
MTA	Habitat Simulation	No specific developer - Generic method.		
Multivariate biomass models	Other	-		Dunbar et al. 1998
Newcombe's Methodology	Habitat Simulation	-	Newcombe 1981	Newcombe 1981
				Tharme 1996
Northern Great Plains Resource Program (NGPRP) Method	Hydrological	Northern Great Plains Resource Program.	NGPRP 1974, cited in Grown & Kotlash 1994	Dunbar et al. 1998
				Grown & Kotlash 1994
				Kinhill Engineers 1988
				Stalnaker & Arnette 1976
				Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
NPF (approx. 10 x OCFR value per 100 km ²)	Hydrological	-		
NPFs calculated using various approaches (unspecified)	Combination	-		
OCFR (0.1-0.3 cm per 100 km ²)	Hydrological	-		Nakamura et al. 1994 cited in Nakamura 1999
Orth & Leonard Regionalisation Method	Hydrological	-		
PHABSIM-based local physical habitat simulation tool	Habitat Simulation	-		Nakamura et al. 1995, cited in Nakamura 1999
				Kim et al., 1996, cited in Nakamura 1999
				Kim 1997, cited in Nakamura 1999
				Nagare 1998, cited in Nakamura 1999

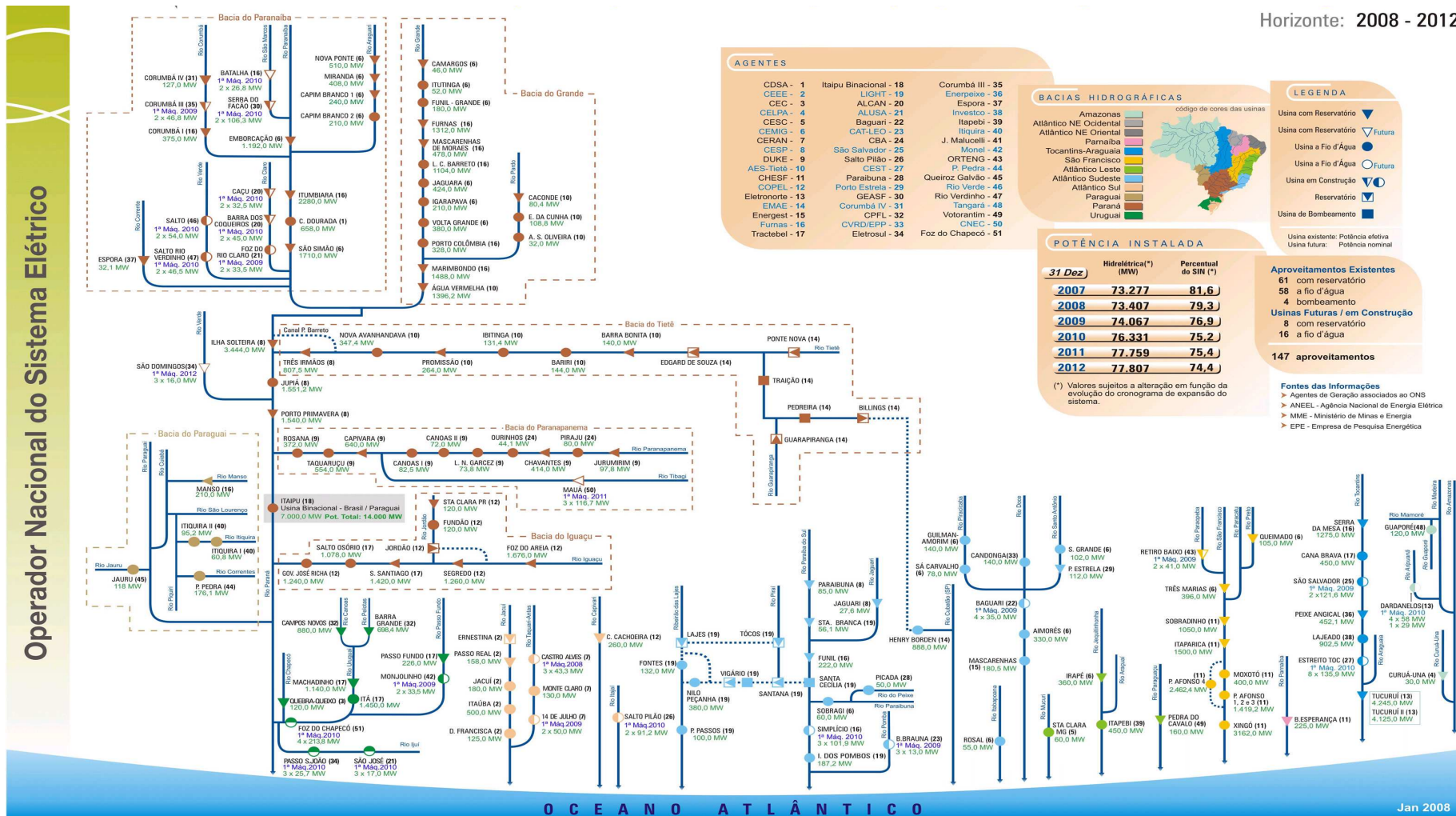
Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
				Nakamura S, pers. comm.
Physical (hydraulic) biotope-based approaches	Combination	-	Stewardson & Gippel 1997	Stewardson & Gippel 1997
Physical Habitat Analysis	Habitat Simulation	-		
PJ (case-specific)	Other	None.		
Po River Basin Method (links between VHI, catchment variables & water quality)	Combination	-		Viganò et al. 1997
				Binns 1982, cited in Viganò et al. 1997
				Marchetti et al. 1991, cited in Viganò et al. 1997
				Manciola et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997
				Saccardo et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997
				Cotta Ramusino et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997
				Saccardo 1997, cited in Viganò et al. 1997
				Benedini 1997, cited in Viganò et al. 1997
				Rambaldi et al. 1997, cited in Viganò et al. 1997
				Gentili et al. 1997, cited in Viganò et al. 1997
Q80 of unregulated mean daily flow regime	Hydrological	None - Standard hydrological (low flow) index.	Gordon et al. 1992	
			Smakhtin 2001	
Q90 (of regulated/unregulated)	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992	Caissie & El-Jabi 1994

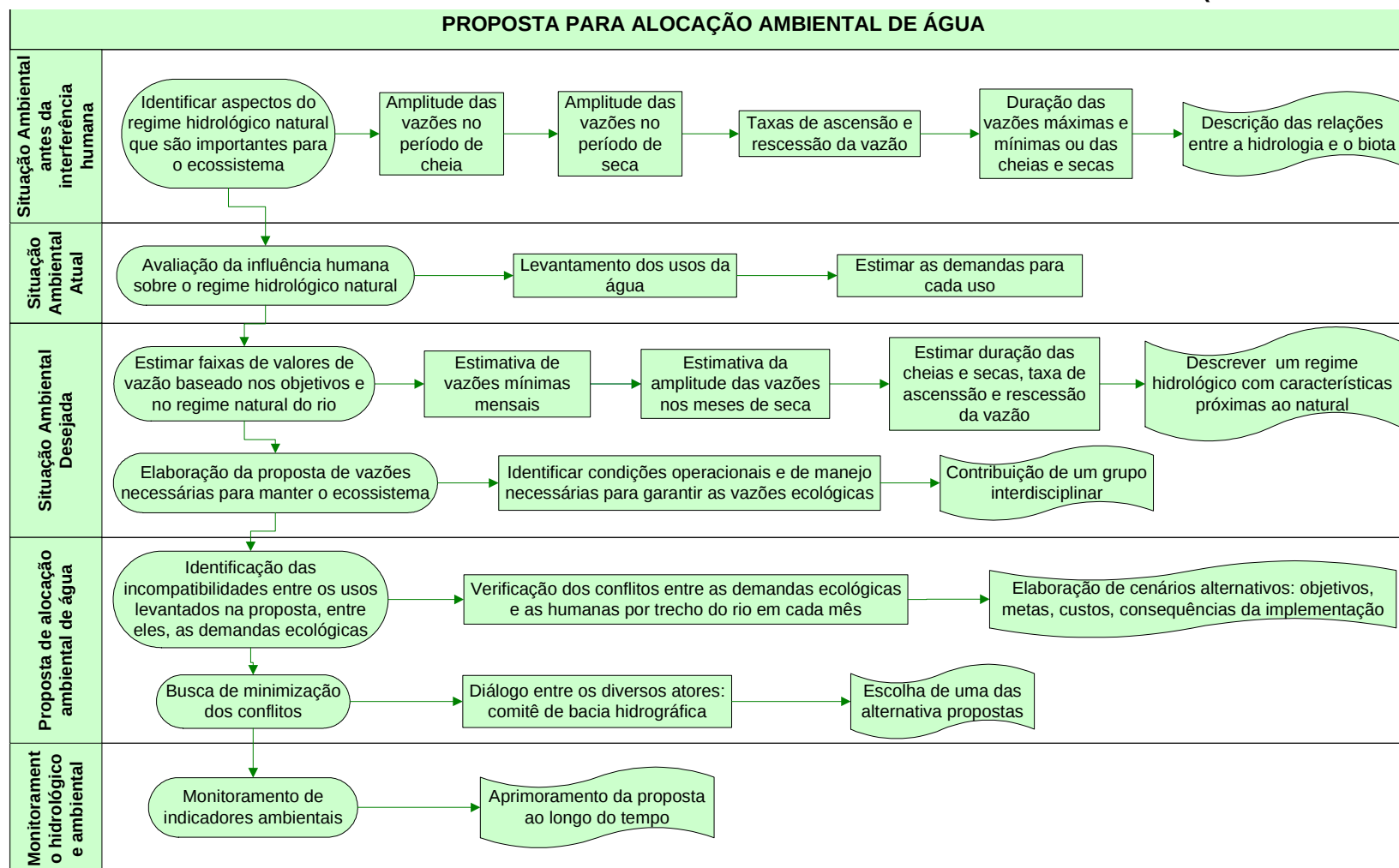
Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
flow)			Smakhtin 2001	
Q95 based on mean monthly discharge	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992 Smakhtin 2001	Dacova et al. 2000
Q95 or a multiple thereof	Hydrological	None - Standard low flow index.	Gordon et al. 1992 Smakhtin 2001	
Q96	Hydrological	-		Jowett 1997 Snelder et al. 1998 cited in Bragg et al. 1999 Forlong 1994 cited in Jowett 1997
Thomson River Fish Habitat-Flow Approach	Combination	-	Gippel et al. 1994	Gippel et al. 1994
Threshold components of flow regime-based approaches	Combination	-	Cooney 1994b, cited in Cross et al. 1994	Cooney 1994b, cited in Cross et al. 1994
Two-level Seasonal Modified Tennant Method (with PJ)	Hydrological	-	Scruton & LeDrew 1996	Scruton & LeDrew 1996
Various expert panel approaches	Holistic	None. Various approaches.		Cottingham et al. 2002
Various FDC percentiles	Hydrological	None - Standard hydrological indices.		Gordon et al. 1992 Smakhtin 2001
Various percentages of pre-regulation MAR (e.g. 10%, 22%)	Hydrological	None - Standard hydrological indices.		
VHI	Hydrological	-		Mattas D, pers. comm.
VHI (use of PAWN Hydrological Model/other Methods)	Hydrological	-		Dunbar et al. 1998
WAMP Expert Panel Method	Holistic	-		
Washington Base Flow Methodology	Hydrological	Washington Department of Ecology and the departments of	Stalnaker & Arnette 1976	Dunbar et al. 1998 Stalnaker & Arnette 1976

Metodologias	Tipo	Desenvolvedor	Referências Originais	Referências Chave
		Fisheries and Game.		Tharme 1996
				Tharme in press (2003)
Wetted Perimeter Method	Hydraulic Rating	No specific developers - Generic method		
Wimmera River Habitat-based Approach	Combination	-	Arthington & Pusey 1993	Arthington & Pusey 1993
WSP Hydraulic Model (with PJ)	Habitat Simulation	-		Reiser et al. 1989a
				Tharme 1996

ANEXO B – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS USINAS HIDRELÉTRICAS DO SIN

Horizonte: 2008 - 2012



ANEXO C – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS PARA ESTUDO DE REGIMES DE VAZÕES ECOLÓGICAS (AMORIM e CIDREIRA, 2006)


Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)