



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES
HIDROLÓGICAS À JUSANTE DE BARRAMENTOS EM RIOS DE SEMIÁRIDO**

Naiah Caroline Rodrigues de Souza

Salvador

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES
HIDROLÓGICAS À JUSANTE DE BARRAMENTOS EM RIOS DE SEMIÁRIDO**

Naiah Caroline Rodrigues de Souza

Projeto de Dissertação apresentado a Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientador: Lafayette Dantas da Luz

Co - orientadora: Andrea Sousa Fontes

Salvador

2016

-
- S729 Souza, Naiah Caroline Rodrigues de.
Avaliação de metodologia para classificação de alterações hidrológicas à jusante de barramentos em rios de semiárido/ Naiah Caroline Rodrigues de Souza. – Salvador, 2016.
226f. : il.
Orientador: Prof. Dr. Lafayette Dantas da Luz
Co-orientadora: Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2016.
1. Barragens e reservatórios. 2. Alterações hidrológicas. 3. Método Dundee Hydrologic Regime Assessment. I. Luz, Lafayette Dantas da. II. Fontes, Andrea Sousa. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.
-
- CDD: 627.8

Naiah Caroline Rodrigues de Souza

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES
HIDROLÓGICAS À JUSANTE DE BARRAMENTOS EM RIOS DE SEMIÁRIDO**

Dissertação submetida à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Salvador, 14 de abril de 2016

Banca examinadora:

Prof. Dr. Lafayette Dantas da Luz (Orientador) _____

Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes (Co-Orientadora) _____

Prof. Dr. Christopher Freire Souza (Examinador externo) _____

Profa. PhD. Yvonilde D. Pinheiro Medeiros (Examinador interno) _____

“Quando chove no sertão
O sol deita e a água rola
O sapo vomita espuma
Onde um boi pisa se atola
E a fartura esconde o saco
Que a fome pedia esmola.”

Lirinha; Clayton Barros

AGRADECIMENTOS

À Deus, essa energia poderosa e presente, que me dá tranquilidade e força para superar as dificuldades.

À minha mãe Maria D'ajuda, ao meu Pai Maxsuel e minha Irmã Raphaela pelo apoio incondicional e irrestrito, pelas palavras de conforto, pelo imenso amor sempre dedicado e pela paciência sem fim e a minha Vozinha Lina, tão querida.

Aos Professores Lafayette Dantas da Luz e Andrea Souza Fontes, pela orientação e dedicação à minha pesquisa, pelo incentivo, pelos conselhos e ensinamentos fundamentais para o meu crescimento.

À professora Sandra Pinheiro, por ter se disponibilizado a ajudar com as análises estatísticas da pesquisa, extremamente relevantes para alcançar os objetivos estabelecidos.

À Samara, pelo apoio e auxílio sempre que requeridos e pelo incentivo a minha candidatura ao mestrado.

Aos professores Fernando Genz, Christopher Souza e Yvonilde Medeiros pelas contribuições no desenvolvimento do trabalho e durante as defesas, sem as quais essa pesquisa seria mais limitada e menos relevante.

A todo o corpo Docente do Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, pelo conhecimento compartilhado, e pela torcida ao longo do curso.

Às colegas, Micol, Luísa e Daisy por partilharem momentos de angustia e felicidade ao longo desses dois anos, pela força e pelo companheirismo.

À George e Zenite, por terem me acolhido em Salvador e terem me ajudado a sobreviver nessa selva de pedra.

À Viviane Emília, amiga, sócia, companheira e irmã de alma, pela presença.

À Aline Hojron, pelas conversas, momentos descontraídos, aventuras e palavras de incentivo.

À Thamires Moura, Tamires Correia e Vinícius José pela amizade.

À Gisele Lima, pelo auxílio, apoio e amizade. À Jessica Bandeira, Larissa Oliveira e Jessica Ludovino, que nunca me abandonam.

Aos amigos pela torcida e apoio, que ajudaram a minimizar as inseguranças dessa jornada.

Ao companheiro da vida Anderson Aragão pela cumplicidade, pelo amor, e pela parceria. À sua família por todo o carinho.

À Fapesb pela bolsa concedida e apoio ao Projeto em Rede Granbar do qual essa pesquisa faz parte.

Enfim, a todos que de alguma maneira colaboraram direta ou indiretamente ao sucesso desse trabalho.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Naiah Caroline Rodrigues de Souza

Assinatura do autor: _____

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Local: Salvador, Bahia, Brasil

Endereço: Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,
Departamento de Engenharia Ambiental, Grupo de Estudos em
Geo-Eco-Hidrologia, 4º andar, sala 8. Rua Aristides Novis, 2 –
Bairro Federação CEP 40210-630 - Salvador, BA – Brasil

E-mail: naih.carol@gmail.com

RESUMO

A construção de barragens e reservatórios objetiva dentre outros interesses promover o aumento do equilíbrio da disponibilidade de água para demandas crescentes. Elas desempenham um papel importante no controle e na gestão de usos de recursos hídricos. Porém, a regulação de vazões que ocorre a partir da implantação de barragens provoca consequências de grande impacto. Então, a investigação das modificações resultantes da instalação, das referidas obras hidráulicas, ganha considerável relevância. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a utilização do método *Dundee Hydrologic Regime Assessment Method* (DHRAM), que classifica o grau de impacto à jusante de barramentos, e de sua versão adaptada, para as bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu, que estão inseridas no semiárido baiano. A aplicação da adaptação referida foi motivada pelo fato do DHRAM ter sido validada a partir de estudos aplicados em rios de regiões com clima, variabilidade hidrológica, topografia e condições de usos diferentes de rios do semiárido baiano, e utilizar resultados do IHA sintetizados, transformando informações de características diferentes em um único indicador. Realizou-se então, além da aplicação da referida metodologia original de classificação, também se procedeu sua aplicação, agregando adaptações baseadas em dados locais. A aplicação da metodologia possibilitou apontar a representatividade desta para a área de estudo, devido a comparação dos resultados da classificação com os resultados de estudos anteriores e a partir da aplicação do DHRAM com adaptação utilizando vazões observadas de um período diferente das vazões simuladas. A classificação utilizando o DHRAM original e adaptado refletiu as características das regiões estudadas afirmando-se que a metodologia de classificação apresentada por Black et al (2005) e sua versão adaptada é aceitável e satisfatória. Contudo, a implementação de uma subclassificação à nível dos subgrupos propostos, complementou os resultados obtidos de modo que a partir desses é possível traçar estratégias para reduzir a severidade das alterações provocadas nos indicadores hidrológicos. Tais estratégias poderão elencar alterações nas regras operativas e ainda nas características de projeto ou definição de alternativa para manutenção da sazonalidade, e dessa forma a ampliação da classificação fornece resultados que podem ser utilizados para auxiliar na tomada de decisão na gestão e planejamento de recursos hídricos.

Palavras-chave: Indicadores hidrológicos, barragens, classificação do grau de impacto hidrológico.

ABSTRACT

The construction of dams and reservoirs objective, among other interests, to increase balance of the availability of water for growing demands. They play an important role in the control and management of water resources uses. However, the regulation of flow that occurs through the implementation of dams causes consequences of major impact. Therefore, the investigation of changes resulting from the installation of these hydraulic projects gains considerable importance. In this context, this study aims to evaluate the use of the method Dundee Hydrologic Regime Assessment Method (DHRAM), which classifies the degree of impact downstream of dams, and its adapted version for the basins of Itapicuru and Paraguaçu Rivers, located in Bahia's semiarid region. The application of this adjustment was motivated by the fact that DHRAM have been validated from studies applied in regions with different climate, hydrologic variability, topography and uses conditions as rivers of Bahia semi-arid, and synthesize IHA results by transforming information about different characteristics in a single indicator. Besides the application of the original methodology of classification, an additional adaptation based on local data was applied. The methodology enabled point out the representativity of this classification for the study area, through the comparison of the classification results with the results from previous studies and from the application of DHRAM with adaptations using observed flow rates in a different period as the one used for simulated flows. The classification using the original and adapted DHRAM reflected the characteristics of the studied region stating that the classification methodology by Black et al. (2005) and its adapted version is acceptable and satisfactory. However, the implementation of a sub-classification in the proposed subgroups complemented the results obtained so that it is possible to devise strategies to reduce the severity of the alterations caused in the hydrological indicators. Such strategies may list changes in operating rules and in design features or alternative setting for the seasonal maintenance, and thus the application of the classification provides results that can be used to assist in decision-making in the management and planning of water resources.

Key-words: Hydrological changes, dams, classification of the impact degree.

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

AIHA – *Aggregate Index of Hydrological Alteration*

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens

CERB – Companhia de Engenharia e Recursos Hídricos da Bahia

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DHRAM - *Dundee Hydrological Regime Alteration Method*

EFC – *Environmental Flow Component*

GRANBAR – Grandes Bacias Hidrográficas do Estado da Bahia

HAT- *Hydrologic Assessment Tool*

HIT – Hydrologic Index Tool

IAHRIS – *Índices de Alteración Hidrológica en Ríos*

IDHA – *Index of Daily Hydrological Alteration*

IHA – *Indicators of Hydrological Alteration*

IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MGB – Modelo Hidrológico de Grandes Bacias

NATHAT – *National Hydrologic Assessment Tool*

NJHAT- *New Jersey Hydrologic Assessment Tool*

NJSCT - *New Jersey Stream Classification Tool*

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

PNSB – Plano Nacional de Segurança de Barragens

$Q_{\text{méd}}$ – Vazão média

Q_{nat} – Vazão naturalizada

Q_{op} – Vazão operada

Q_{reg} – Vazão regularizada com 90 % de garantia

RPGA – Região de Planejamento e Gestão de Águas

RVA – *Range of Variability Approach*

SRH- Superintendencia de Recursos Hídricos

SRHSH – Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

WCD – *World Commission on Dams*

WEAP – *Water Evaluation and Planning System*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Componentes relevantes do regime hidrológico	28
Quadro 2 Alterações Hidrológicas e Geomorfológicas em Sessões de um Rio Represado.....	43
Quadro 3 Dados físicos e operacionais dos reservatórios	62
Quadro 4 Demandas de projeto dos reservatórios.....	63
Quadro 5 Estações climatológicas	68
Quadro 6 Estações fluviométricas utilizadas para modelagem hidrológica do rio Paraguaçu.....	73
Quadro 7 Estações fluviométricas de interesse para modelagem hidrológica do rio Itapicuru	74
Quadro 8 Resumo das variáveis hidrológicas utilizadas no IHA, e suas características	83
Quadro 9 Limiares das mudanças hidrológicas utilizadas para alocação dos pontos de impacto.....	88
Quadro 10 Pontos de impacto relacionados aos percentuais de mudança e posição em relação aos limiares	89
Quadro 11 Classificação das alterações hidrológicas	89
Quadro 12 Teste de ajuste de limiares do DHRAM.....	153
Quadro 13 Reagrupamentos das variáveis do IHA	159
Quadro 14 Faixas de classificação - DHRAM ajustado.....	161
Quadro 15 Comparação dos resultados da classificação final com metodologia original e a metodologia adaptada	171
Quadro 16 Diagrama de dados das estações fluviométricas da bacia do rio Itapicuru	191
Quadro 17 Quadro 16 Diagrama de dados das estações fluviométricas da bacia do rio Paraguaçu.....	192
Quadro 18 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM original..	208
Quadro 19 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM adaptada	209
Quadro 20 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM adaptada utilizando vazões observadas	210
Quadro 21 Subclassificação das barragens da bacia do rio Itapicuru.....	211
Quadro 22 Subclassificação das barragens da bacia do rio Paraguaçu	212
Quadro 23 Estações pluviométricas registradas na bacia do rio Paraguaçu	214
Quadro 24 Estações pluviométricas registradas na bacia do rio Itapicuru	215

Quadro 25 Estações Fluviométricas registradas da bacia do rio Paraguaçu.....	217
Quadro 26 Estações Fluviométricas registradas da bacia do rio Itapicuru	218

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Vazões médias naturalizadas de longo período nas seções fluviais das barragens estudadas	64
Tabela 2 Estatísticas do ajuste para as bacias hidrográficas do rio Paraguaçu.....	73
Tabela 3 Estatísticas do ajuste para as bacias hidrográficas do rio Itapicuru.	74
Tabela 4 Vazões regularizadas com 90% de garantia, vazões outorgáveis e vazões remanescentes calculadas com WEAP21.....	80
Tabela 5 Vazões médias diárias anuais (média, mínima, máxima).....	104
Tabela 6 Valores de R ² dos gráficos de dispersão.....	105
Tabela 7 Dia juliano de ocorrência de máximas e mínimas (período 1 e período2)	115
Tabela 8 Dia juliano de ocorrência de máximas e mínimas (condição não impactada e condição impactada)	132
Tabela 9 Resultado da classificação do grau de impacto das barragens utilizando metodologia de classificação DHRAM original.....	149
Tabela 10 Ajuste inicial de limiares (11 barragens).....	152
Tabela 11 Limiares DHRAM com ajuste	160
Tabela 12 Classificação do grau de impacto hidrológico – metodologia de classificação DHRAM com ajuste	162
Tabela 13 Comparação da Vazão regularizada x Vazão média das seções fluviais	165
Tabela 14 Classificação com metodologia de classificação DHRAM com ajuste utilizando dados observados.....	168
Tabela 15 Evaporação efetiva calculada para as barragens do rio Paraguaçu	193
Tabela 16 Evaporação efetiva calculada para as barragens do rio Itapicuru	195
Tabela 17 Resultados análise do IHA de Aipim - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada.....	196
Tabela 18 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pedras Altas - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	197
Tabela 19 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pindobaçu - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	198
Tabela 20 Resultados análise não paramétrica do IHA de Ponto Novo - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	199
Tabela 21 Resultados análise não paramétrica do IHA de Apertado - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	200
Tabela 22 Resultados análise não paramétrica do IHA de Bandeira de Melo - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	201
Tabela 23 Resultados análise não paramétrica do IHA de Baraúnas - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	202
Tabela 24 Resultados análise não paramétrica do IHA de Casa Branca - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada	203

Tabela 25 Resultados análise não paramétrica do IHA de França - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada.....	204
Tabela 26 Resultados análise não paramétrica do IHA de São José do Jacuípe - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada.....	205
Tabela 27 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pedra do Cavalo - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada.....	206

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Relações entre o ciclo da água, sociedade e ecossistemas	24
Figura 2	Variabilidade hidrológica da estação fluviométrica 52050000 de 2000 a 2009	25
Figura 3	Processos hidrológicos na escala do tempo e espaço.....	26
Figura 4	Comportamento do hidrograma em bacias com mesma área e diferentes usos do solo	26
Figura 5	Fatores determinantes para o equilíbrio dos ecossistemas	29
Figura 6	Biodiversidade Aquática e o regime de vazão natural.....	30
Figura 7	Influência dos níveis fluviométricos na diversidade da vegetação das margens, (a) com flutuação; (b) sem flutuação.	32
Figura 8	Magnitude e duração das vazões pré e pós-barramento para o Alto rio Paraná, (a) Mínimas e (b) Máximas, médias de 1 dia.....	33
Figura 9	Usos de reservatórios aplicáveis e suas características gerais	36
Figura 10	Hierarquia dos impactos físicos e biológicos causados por barragens, e suas respectivas ordens.....	39
Figura 11	Categorias do valor de vazão diária de acordo com os cinco “Componentes da Vazão Ecológica” na versão atualizada do IHA	50
Figura 12	Relação de Variáveis para caracterização do regime de vazões no IAHIRIS	53
Figura 13	Localização das barragens e relevo das bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu.....	60
Figura 14	Esquema das etapas da metodologia adotada	66
Figura 15	Localização das estações climatológicas.....	69
Figura 16	Tipologias da rede de fluxo das barragens do Itapicuru: (A) Aipim; (b) Pindobaçu; (c) Ponto Novo; (d) Pedras Altas.....	77
Figura 17	Tipologias da rede de fluxo das barragens do Paraguaçu: (a)Apertado; (b) Bandeira de Melo; (c) Baraúnas; (d) Casa Branca; (e) França; (f) São José do Jacuípe; (g) Pedra do Cavalo.....	78
Figura 18	Períodos para comparação das séries naturalizadas via IHA	84
Figura 19	Esquema da comparação das séries de vazões naturalizadas x séries vazões regularizadas via IHA.....	86
Figura 20	Esquema de aplicação do DHRAM	87
Figura 21	Esquema do ajuste da metodologia de classificação – limiares e reorganização de variáveis	94
Figura 22	Esquema da aplicação da metodologia de classificação com ajuste	95
Figura 23	Comparação das vazões observadas e simuladas de São José do Jacuípe	97
Figura 24	Comparação das vazões simuladas e observadas da barragem de Pindobaçu	97

Figura 25	Curvas de permanência das vazões observadas e simuladas para barragem de São José do Jacuípe série completa.....	98
Figura 26	Curvas de permanência das vazões observadas e simuladas para barragem de Pindobaçu série completa	98
Figura 27	Gráficos de dispersão das séries de vazões Naturalizadas vs. Regularizadas nas seções fluviais da bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	101
Figura 28	Fluviogramas de comparação das vazões naturalizadas e regularizadas para as seções fluviais da bacia do rio Paraguaçu (a) e do rio Itapicuru (b) ...	103
Figura 29	Magnitude das vazões naturalizadas mensais (período1 x período2) na bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	107
Figura 30	Vazões mensais: (a.1) Ponto Novo – dezembro; (a.2) Ponto Novo – outubro; (b.1) Aipim – março e (b.2) Aipim – outubro	109
Figura 31	Vazões mensais: (a.1) Casa Branca – dezembro; (a.2) Casa Branca – junho; (b.1) Apertado – dezembro e (b.2) Apertado – setembro	110
Figura 32	Magnitude das vazões mínimas anuais médias de 7 dias (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e do rio Paraguaçu (b)	111
Figura 33	Vazões mínimas anuais médias de 7 dias: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo	111
Figura 34	Magnitude das vazões máximas de 1 dia (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	112
Figura 35	Magnitude das vazões máximas de 1 dia para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b).....	113
Figura 36	Dia de ocorrência de vazões extremas (período 1 x período 2): (a) Itapicuru; (b) Paraguaçu	114
Figura 37	Número de ocorrência de estiagens durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	116
Figura 38	Representação da quantidade de estiagens durante o ano: (a) Pindobaçu; (b) França	117
Figura 39	Duração de estiagens durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	118
Figura 40	Variação da duração das estiagens no tempo: (a) Pindobaçu; (b) França	118
Figura 41	Quantidade de cheias durante o ano (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b).....	119
Figura 42	Representação da quantidade de cheias durante o ano: (a) Pindobaçu; (b) França	120
Figura 43	Duração de cheias durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b).....	121
Figura 44	Variação da duração das cheias no tempo: (a) Pindobaçu; (b) França ..	121
Figura 45	Número de reversões durante o ano (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b).....	123

Figura 46 Número de reversões diárias de vazão: (a) Pindobaçu; (b) França	123
Figura 47 Magnitude da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) mensais das bacias do Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) – casos de maior e menor alteração	125
Figura 48 Vazões mensais: (a.1) Aipim – março; (a.2) Aipim – outubro; (b.1) Ponto Novo – março e (b.2) Pedras Altas – outubro	127
Figura 49 Vazões mensais: (a.1) Pedra do Cavalo – fevereiro; (a.2) Pedra do Cavalo – setembro; (b.1) Casa Branca – fevereiro e (b.2) Casa Branca – setembro...	128
Figura 50 Magnitude das vazões mínimas anuais médias de 7 dias da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e do rio Paraguaçu (b)	129
Figura 51 Vazões mínimas de 7 dias: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo	130
Figura 52 Magnitude das vazões máximas de 1 dia da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	131
Figura 53 Vazões máximas de 1 dia: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo	131
Figura 54 Dia de ocorrência das extremas da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) na bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	133
Figura 55 Número de ocorrência de estiagens durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	135
Figura 56 Representação da quantidade estiagens durante o ano: (a) Pedras Altas e (b) São José do Jacuípe	135
Figura 57 Duração de estiagens durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada.....	137
Figura 58 Variação da duração das estiagens no tempo: (a) Pedras Altas; (b) São José do Jacuípe	138
Figura 59 Número de ocorrência de cheias durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)	139
Figura 60 Representação da quantidade de cheias durante o ano: (a) Pedras Altas e (b) França.....	139
Figura 61 Duração de cheias durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada.....	140
Figura 62 Variação da duração de cheias no tempo: (a) Pedras Altas; (b) França .	141
Figura 63 Número de reversões diárias de vazão da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada.....	142
Figura 64 Número de reversões diárias de vazão: (a) Pindobaçu e (b) São José do Jacuípe.....	142

Figura 65	Curvas de Permanência de para as seções fluviais da bacia do rio Itapicuru: (a) Aipim; (b) Pindobaçu; (c) Pedras Altas; (d) Ponto Novo	144
Figura 66	Curvas de Permanência de para as seções fluviais da bacia do rio Paraguaçu: (a) Apertado; (b) Bandeira de Melo; (c) Baraúnas; (d) Casa Branca; (e) França; (f) São José do Jacuípe; (g) Pedra do Cavalo	145
Figura 67	Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 1.....	155
Figura 68	Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 2.....	156
Figura 69	Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 3.....	157
Figura 70	Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 4.....	158
Figura 71	Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 5.....	159
Figura 72	Representação de vazões naturalizadas e regularizadas: (a) Bandeira de Melo – Classe 3; (b) São José do Jacuípe – Classe 4; (c) Pedrado Cavalo – Classe 5.....	169

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	OBJETIVOS.....	23
2.1.	Objetivo Geral	23
2.2.	Objetivos Específicos	23
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3.1.	Variabilidade Hidrológica.....	24
3.1.1.	Importância da Variabilidade hidrológica para Composição do Ecossistema	29
3.1.2.	Alterações do Regime Hidrológico.....	31
3.1.3.	Barragens e Reservatórios	35
3.2.	Metodologias de Avaliação e Classificação das Alterações Hidrológicas	45
3.2.1.	Avaliação de Alterações Hidrológicas.....	46
3.2.2.	Classificação de Alterações Hidrológicas	54
4	ÁREA DE ESTUDO	58
5	METODOLOGIA	65
5.1.	Obtenção dos Dados Hidroclimáticos	67
5.2.	Obtenção de Dados Físicos e Operacionais das Barragens.....	70
5.3.	Modelagem do Sistema Hídrico	70
5.3.1.	Obtenção de Séries de Vazões Naturalizadas	71
5.3.2.	Obtenção de Série de Vazões Alteradas.....	75
5.4.	Avaliação das Alterações Hidrológicas	81
5.4.1.	IHA.....	82
5.5.	Classificação de Alterações Hidrológicas.....	86
5.5.1.	Aplicação da Metodologia de Classificação de Alterações Hidrológicas 86	
5.5.2.	Aplicação de Metodologia de Classificação de Alterações Hidrológicas com ajuste	90
6	RESULTADOS	96
6.1.	Análise da Consistência de Dados hidrológicos.....	96
6.2.	Séries de vazões obtidas nas simulações hidrológicas.....	100
6.3.	Avaliação das Alterações Hidrológicas	106
6.3.1.	Avaliação dos Regimes Hidrológicos sem Impacto de Barragens, a partir das Séries Naturalizadas	106

6.3.2.	Avaliação das Alterações nos Regimes Hidrológicos em Função das Barragens.....	124
6.4.	Classificação das Alterações Hidrológicas com metodologia DHRAM original	149
6.5.	Classificação das Alterações hidrológicas aplicando da metodologia DHRAM com ajuste	152
6.5.1	Teste inicial de ajuste de limiares	152
6.5.2	Reorganização de variáveis e definição de novos limiares	154
6.6.	Aplicação e avaliação da metodologia de classificação DHRAM com ajuste	161
7	CONCLUSÕES	174
8	REFERÊNCIAS.....	179
9	APÊNDICES	191
9.1.	APÊNDICE A- DIAGRAMA DE DADOS – ANÁLISE DE DISPONIBILIDADE DE DADOS.....	191
9.2.	APÊNDICE B – EVAPORAÇÃO EFETIVA CALCULADA.....	193
9.3.	APÊNDICE C – RESULTADOS IHA.....	196
9.4.	APÊNDICE D – ESQUEMA DA DEFINIÇÃO DE NOVOS LIMIARES	207
9.5.	APÊNDICE E – CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE IMPACTO DAS BARRAGENS – PONTOÇÃO POR GRUPOS DO IHA	208
9.6.	APÊNDICE F – SUBCLASSIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS PROVOCADAS PELAS BARRAGENS AVALIADAS	211
10	ANEXOS	214
10.1.	ANEXO A - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	214
10.2.	ANEXO B - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.....	217

1 INTRODUÇÃO

O cenário de definição da alocação dos recursos hídricos vem se tornando cada vez mais crítico devido, principalmente, ao aumento das demandas para os diversos usos. O atendimento a tais demandas é ainda mais difícil em países como o Brasil, sobretudo em regiões semiáridas, nas quais é vasta a utilização da água para irrigação, abastecimento humano e geração de energia hidrelétrica. Adiciona-se a essa realidade o uso e ocupação do solo não planejado, precariedade dos serviços de saneamento básico e utilização de técnicas agrícolas que demandam grande quantidade de água.

Barragens e reservatórios desempenham um papel importante no controle e na gestão de usos de recursos hídricos. O serviço prestado por essas intervenções, tais como mitigação de inundações, a garantia do abastecimento de água e fornecimento de energia hidrelétrica beneficia a sociedade, em muitos aspectos, auxiliando a promoção de saúde pública, a expansão da produção de alimentos e o crescimento econômico (LEHNER, *et al.*, 2011). Entretanto, barragens e reservatórios, podem induzir custos substanciais para a sociedade, como o deslocamento / reassentamento, desestruturação social, modificações na quantidade e qualidade da água, segurança alimentar e aumento da incidência de doenças transmissíveis (SCUDDER, 2006). Em termos de efeitos ambientais, a regulação das vazões é considerada uma das principais causadores de consequências ecológicas adversas de barragens e reservatórios (POFF *et al.*, 1997; BUNN & ARTHINGTON, 2002). A operação desses reservatórios muitas vezes ocorre com o objetivo de eliminar vazões de pico, estabilizar e aumentar as vazões baixas, represar a água ou desviar parte ou a totalidade do rio. Tais alterações levam a inúmeros impactos físicos e ecológicos sobre ecossistemas de água doce, terrestres e ecossistemas marinhos (PRINGLE *et al.*, 2000).

As barragens também provocam a fragmentação de habitats aquáticos (ROSENBERG *et al.*, 2000) e assim dificultam não só o movimento de espécies, mas também a distribuição de nutrientes e sedimentos à jusante. A redução de sedimentos e nutrientes transportados influi também nas regiões estuarinas e comunidades costeiras (SYVITSKI *et al.*, 2005). Além disso, modificação do regime

de vazões reduz a produtividade de várzeas naturais (BURKE *et al.*, 2009) que afeta a população que depende da agricultura nesses locais. O padrão de distribuição ou acúmulo de contaminantes em sistemas fluviais também é modificado pela obstrução e retenção no reservatório.

Diversas espécies ribeirinhas são adaptadas e sincronizadas com padrões específicos de vazões do rio. Estes padrões funcionam como gatilho para as espécies iniciarem seu processo de reprodução, dispersão, migração, alimentação, e até mesmo a fuga de predadores. Assim, a alteração das vazões naturais pode interromper ciclos de vida e processos ecológicos. Com vistas a atenuar os efeitos negativos da operação de reservatórios, cientistas e planejadores de recursos hídricos estão cada vez mais interessados na adaptação dessas operações para a implantação das chamadas vazões ambientais (LEHNER *et al.*, 2011).

Diante do apresentado, torna-se importante analisar processos integrando aspectos hidrológicos, ecológicos e socioeconômicos, pois existe a necessidade de desenvolver entendimento da relação de elementos dessas áreas de conhecimento, a fim de possibilitar a compreensão da multiplicidade espacial, temporal de impactos interativos de barragens (NILSSON *et al.*, 2005). Porém autores como Pringle *et al.* (2000) discorrem sobre a dificuldade de prever os impactos dos barramentos na biota por conta da falta de dados.

Então, a investigação das modificações resultantes da instalação das referidas obras hidráulicas ganha considerável relevância, uma vez que os resultados dessa investigação são fundamentais para subsidiar políticas, processos de licenciamento ambiental, projetos técnicos de barragens, bem como o planejamento e gestão do uso de recursos hídricos das bacias.

A investigação depende do estabelecimento de uma condição de referência (natural) do regime hidrológico para que a partir dela possa ser realizada a comparação com a condição pós-alteração.

As alterações nos sistemas hídricos causados pela implantação de barragens, assim como sua magnitude, dimensão e as ferramentas que podem ser utilizadas na quantificação de tais impactos têm sido foco de muitos estudos (RICHTER *et al.*, 1996; VOROSMARTY *et al.*, 1997; ROSENBERG *et al.*, 2000; PRINGLE *et al.*, 2000;

POFF & HART, 2002; POSTEL & RICHTER, 2003; NILSSON *et al.*, 2005; BURKE *et al.*, 2009).

Metodologia de classificação dessas alterações também têm sido propostas por alguns autores (Black *et al.*, 2005) para complementar a interpretação dos resultados. A metodologia referida avalia o grau de impacto das alterações hidrológicas, a partir da atribuição de pontos e classificação de impacto baseados em limiares estabelecidos a partir de casos de estudo de bacias hidrográficas não impactadas e impactadas de rios da Escócia e Irlanda do Norte. Com a atribuição de pontos de impacto provocadas pelas barragens elas são classificadas desde nenhum impacto até severamente impactadas.

Estudos têm utilizado o DHRAM (GAO *et al.*, 2009; LIMA, 2014; GENZ & LESSA, 2015) como metodologia para efetuar a referida classificação. Entretanto, além de ter sido validada a partir de estudos aplicados em rios de regiões com clima, variabilidade hidrológica, topografia e condições de usos diferentes de rios do semiárido baiano, ele utiliza os resultados do IHA sintetizados. A sintetização dos valores das variáveis do IHA, que estão reunidas em um mesmo grupo de indicadores e variáveis hidrológicas, mas que possuem significados diferentes podem afetar os resultados da classificação obtida, bem como a consideração do mesmo peso/relevância para os cinco grupos considerados no IHA e no DHRAM. Então, a aplicação dessa metodologia para a realidade de cursos d'água do semiárido baiano, deve ser feita de forma criteriosa, com a investigação da representatividade dos resultados. Por conta disso, realizou-se no presente estudo avaliação da metodologia de classificação de alterações hidrológicas o DRHAM, agregando adaptações para características de regiões hidrográficas do estado da Bahia, especificamente dos rios Itapicuru e Paraguaçu e seus afluentes.

Além, da definição de novos limiares, necessária para adequação destes aos dados de vazões das áreas de estudo, procedeu-se ainda a reorganização das variáveis do IHA, originalmente distribuídos em 5 grupos, em subgrupos. Tais subgrupos foram agregados à etapa de atribuição de pontos de impacto das barragens.

Desse modo, essa dissertação pretende responder à seguinte pergunta:

- Quais os procedimentos e aspectos da metodologia DHRAM, podem ser ajustados para melhor utilização para classificação de alterações hidrológica por barragens, bacias hidrográficas do semiárido do estado da Bahia?

A hipótese que deverá ser validada ou refutada é:

- A aplicação da metodologia DHRAM, inclusive com ajustes considerando informações e características hidrológicas locais, fornece resultados de classificações de impacto de barragens representativos e acuradas para os casos locais.

Espera-se que os resultados desse trabalho possam colaborar no gerenciamento das águas de regiões hidrográficas do estado da Bahia, em especial do rio Itapicuru e do rio Paraguaçu, assim como contribuir na elaboração dos planos de gestão da bacia com o intuito de adotar medidas preventivas e mitigadoras relativas aos impactos causados pela construção de barragens.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a classificação das alterações hidrológicas decorrentes da implantação de barragens com aplicação da metodologia *Dundee Hydrologic Regime Assessment Method* (DHRAM) para as condições hidrológicas dos rios intermitentes do Estado da Bahia.

2.2. Objetivos Específicos

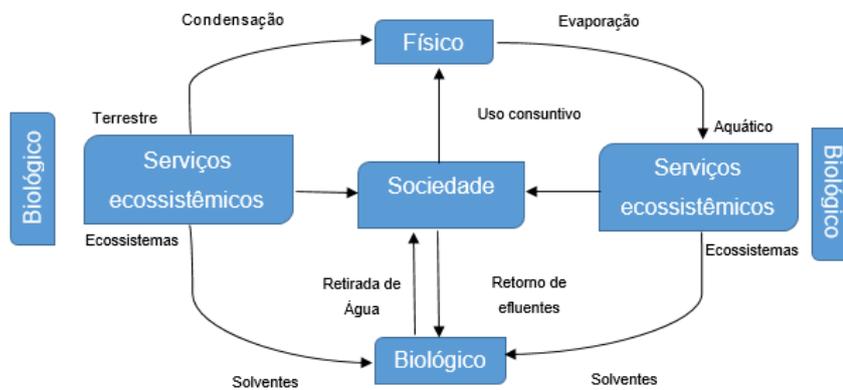
- Caracterizar o comportamento do regime de vazões das bacias hidrográficas dos rios Itapicuru e Paraguaçu.
- Caracterizar a magnitude das alterações hidrológicas decorrentes dos barramentos dos rios Itapicuru e Paraguaçu.
- Avaliar aplicabilidade da metodologia de classificação de alterações hidrológicas DRHAM para as bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu.
- Avaliar a aplicabilidade metodologia do DHRAM com ajuste para classificar o grau de impacto hidrológico dos rios Itapicuru e Paraguaçu com base em dados locais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Variabilidade Hidrológica

Os rios são ecossistemas, nos quais interagem espécies, atmosfera, água e solo, que apresentam elementos de entrada de água (vazão de entrada, escoamento lateral, precipitação, infiltração e os tributários) e elementos de saída (vazão escoada, evaporação, evapotranspiração e as vazões nos rios afluentes) e que constituem os movimentos de água inerentes aos períodos chuvosos e de estiagem. Segundo Petts (2000) são importantes ainda as dimensões espaciais (vertical, longitudinal e lateral) e temporal dos rios, devendo-se observar mudanças, físicas, químicas e biológicas, processos hidrológicos e geomorfológicos, ocasionados por fenômenos naturais ou intervenções antrópicas. A Figura 1 ilustra as relações entre o ciclo da água, a sociedade e os ecossistemas.

Figura 1 Relações entre o ciclo da água, sociedade e ecossistemas



Fonte: Adaptado de Falkenmark & Rockstrom (2004)

Pode-se observar na Figura 1 que os sistemas terrestres são alimentados pela precipitação, desses sistemas a água evapora para a atmosfera através dos biomas. Nos ecossistemas aquáticos se desenvolvem os habitats que sustentam as espécies e prestam serviços ecossistêmicos para a sociedade humana.

Seguindo ainda esse raciocínio Tucci & Mendes (2006) definem que a variabilidade hidrológica pode ser entendida como as alterações que possam ocorrer na entrada e saída dos sistemas hidrológicos, sendo que a precipitação a principal entrada e as

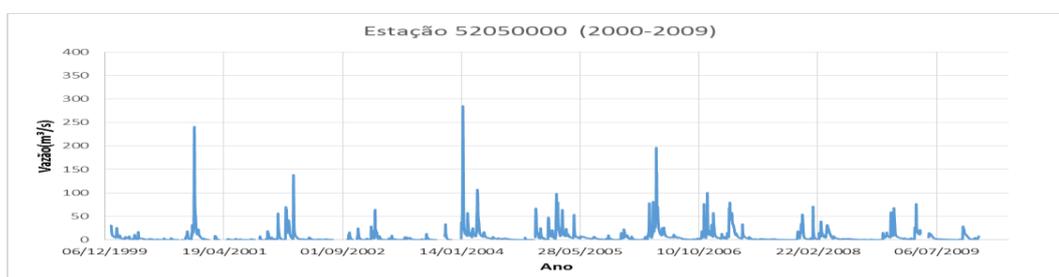
principais saídas são a vazão e o nível de um corpo d'água, e essas variáveis irão definir o regime de um rio ao longo do tempo.

Os principais efeitos da variabilidade hidrológica, de acordo com Tucci (2002a), estão relacionados com a variabilidade natural dos processos climáticos, o impacto da modificação climática e os efeitos do uso da terra e alteração dos sistemas hídricos.

Desse modo, essa variabilidade pode ser entendida também como o resultado da integração entre o clima, a geologia e a topografia da bacia, caracterizando a variabilidade espacial e a variabilidade temporal. Ambas estão em constante interação, de modo que é difícil estabelecer quais aspectos influenciam cada uma. Ainda assim, pode-se considerar que a variabilidade espacial está mais relacionada à integração do ciclo hidrológico e da bacia hidrográfica (influenciada pela resposta hidrológica), enquanto que a variabilidade temporal é mais influenciada pelo clima e pela ação antrópica.

A variabilidade temporal pode ser observada na Figura 2, que traz o hidrograma de uma série histórica de vazões da estação fluviométrica Fazenda Canabrava (código da Agência Nacional de Águas – 52050000) localizada na cidade de Jussiapé, bacia hidrográfica do rio de Contas. Neste hidrograma nota-se a existência de vazões muito baixas, vazões altas e eventos de picos de vazão que representam a variabilidade hidrológica do rio nessa seção de observação.

Figura 2 Variabilidade hidrológica da estação fluviométrica 52050000 de 2000 a 2009

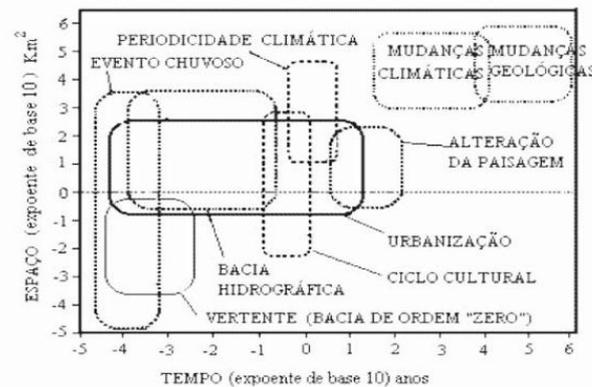


Fonte: ANA (2014)

A variabilidade climática, associada à ação antrópica, define a escala temporal dos eventos hidrológicos. Tais eventos, segundo Mendiondo & Tucci (1997) e Tucci (2002a) podem ser observados dentro de uma escala de percepção humana ou apenas com base em medidas de ocorrência, podendo caracterizar a variabilidade

de curto prazo (minutos, horas, dias); a variabilidade sazonal (dentro do ano); a variabilidade interanual de curto prazo (2-3 anos); e a variabilidade decadal que ocorre devido a condições climáticas de larga escala espacial e temporal e está relacionada com a capacidade dos sistemas hídricos de se alterarem em função da mesma e como a sociedade e seu desenvolvimento pode suportar tais variações. Dessa forma, as condições nas quais os processos ocorrem na escala de tempo e espaço são diferentes, essas diferenças são apresentadas na Figura 3.

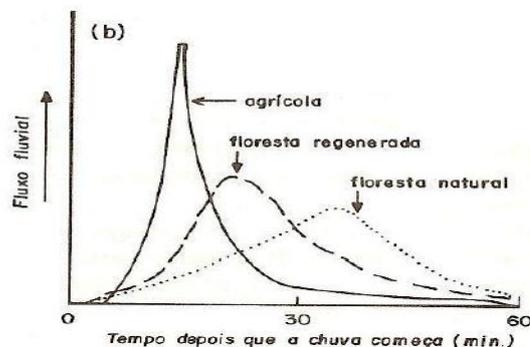
Figura 3 Processos hidrológicos na escala do tempo e espaço



Fonte: Mendiando & Tucci (1997)

A Figura 4 evidencia como o uso do solo pode influenciar no escoamento de um corpo d'água, mostrando como um hidrograma se comporta após chuvas ocorridas em bacias da mesma área com diferentes usos do solo, os quais foram uso agrícola, presença de floresta regenerada e floresta natural.

Figura 4 Comportamento do hidrograma em bacias com mesma área e diferentes usos do solo



Fonte: Drew (1994)

O clima no qual a bacia hidrográfica está inserida influencia especialmente a frequência e a intensidade da ocorrência das chuvas e das vazões nos eventos de cheia, além de interferir na distribuição da temperatura no ambiente.

Os rios intermitentes apresentam variabilidade bastante diferenciada de rios perenes, pois naqueles a interferência de fatores, como o clima e ou formações topográficas, provocam a existências de períodos em que a vazão do rio é zero. Nesse contexto, pode-se citar o caso das regiões semiáridas, nas quais se verifica um ciclo irregular de chuvas e, frequentemente, rios intermitentes. De acordo com Silva (2008) os rios perenes, por sua vez, têm, normalmente, uma alimentação proveniente de seus afluentes de áreas mais úmidas, ou mesmo do fato de nascerem em áreas onde as chuvas são mais frequentes. Além disso, a origem da precipitação que gera o escoamento na bacia hidrográfica e também o elemento do ciclo hidrológico que recarrega o escoamento do curso d'água seguramente determinam os padrões de variabilidade do regime hidrológico do mesmo.

A topografia e a área da bacia também estão associadas à variabilidade das seções fluviais e interferem na duração dos picos de vazão e na velocidade com que a precipitação se converte ao escoamento, além da influência do tipo de solos e vegetação que irão estabelecer a quantidade de água que infiltra e gera escoamento de base, ou escoamento subterrâneo, bem como a quantidade de água que é interceptada e a parcela que escoas das margens para o leito do rio e contribui para a vazão do curso.

Para analisar a variabilidade hidrológica algumas métricas podem ser elencadas, tais como a normalização dos parâmetros e a utilização do coeficiente de variação que indica maior variabilidade quanto maior for o valor obtido a partir de sua aplicação. Em relação às métricas pode-se citar o método proposta por Genz & Luz (2012) o qual define uma condição hídrica a partir das características das vazões médias interanuais e suas variações e também propõe a classificação de eventos anuais através da normalização das séries.

Em relação à variabilidade hidrológica mais específica, restringindo a abordagem apenas às vazões, pode-se destacar que os aspectos que a compreendem são as variações de grandes cheias, pequenas cheias e estiagens. Os aspectos que caracterizam essa variabilidade são a magnitude (ocorrência em maior ou menor intensidade), a frequência (distribuição da ocorrência no tempo), a duração (intervalo

da ocorrência), a periodicidade (regularidade de ocorrência) e a taxa de mudança das vazões (taxa de aumento e diminuição de vazões ao longo do tempo). Esses aspectos são os chamados 5 componentes do regime hidrológico considerados ecologicamente relevantes (WALKER *et al.* 1995; RICHTER *et al.*, 1996; POFF *et al.*, 1997). Estes aspectos são abordados separadamente para facilitar o entendimento, porém eles interagem de maneira complexa na regulação de processos morfológicos e ecológicos (SOUZA, 2009). Assim, de acordo com Richter *et al.* (1996) pode-se descrevê-los como apresenta o Quadro 1.

Quadro 1 Componentes relevantes do regime hidrológico

Componente	Descrição
Magnitude	Medida da intensidade de variáveis hidrológicas ou hidráulicas, como a quantidade de água que passa em certa localidade por unidade de tempo.
Frequência	Recorrência com que as vazões, ou outras variáveis hidrológicas, alcançam uma determinada magnitude em um intervalo de tempo dado.
Duração	Tempo em que vazões, ou outras variáveis hidrológicas, superam um limite definido.
Periodo de Ocorrência	Regularidade com que vazões, ou outras variáveis hidrológicas, de magnitude específica acontecem
Taxa de mudança	Rapidez com que as vazões, ou outras variáveis hidrológicas, alteram sua magnitude, ou seja, variação da amplitude da variável.

Fonte: Adaptado de Richter *et al.* (1996)

Os eventos de cheias e de secas ocorrem com maior ou menor intensidade para os tais cinco componentes. Assim, as vazões podem apresentar variações maiores ou menores desde a magnitude até as taxas de mudança, provocadas tanto pelos aspectos naturais que interferem no escoamento superficial, quanto por fatores antropogênicos.

São necessários muitos anos de observação em uma estação fluviométrica para possibilitar a descrição das características do padrão de vazões de um rio em termos de quantidade, periodicidade e sua variabilidade.

A variabilidade hidrológica de um rio, como visto, é uma condição natural do mesmo, e, existe independente das interferências que possam acometê-lo, e, além disso alterações nas séries hidrológicas tratadas isoladamente não caracterizam a variabilidade do regime do rio.

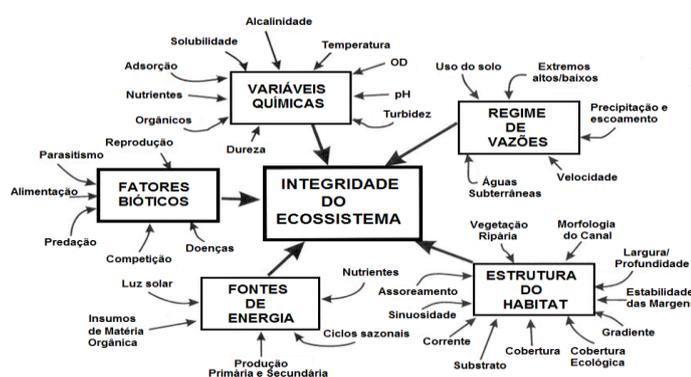
3.1.1. Importância da Variabilidade hidrológica para Composição do Ecossistema

A variabilidade do regime hidrológico é bem reconhecida pelos pesquisadores como sendo o principal condutor de processos ecológicos em ecossistemas ribeirinhos (POFF *et al.*, 1997), definindo sua função e estrutura.

Os pulsos de inundação são a principal força responsável pela produtividade e interações da biota aquática no sistema das planícies inundadas, como trazem Junk *et al.* (1989). Os pulsos de inundação estão em função de condições geomorfológicas e hidrológicas, e podem ser imprevisíveis ou previsíveis, de curta e de longa duração. Pulsos curtos e geralmente imprevisíveis ocorrem em córregos de baixa vazão ou sistemas fortemente modificados com áreas inundadas que foram alterados e drenados pelo homem. Os autores afirmam que esses pulsos controlam a dinâmica da biota de ecossistemas de água doce e destacam a importância da variabilidade dos pulsos que integram o comportamento hidrológico para tal ecossistema.

As variáveis hidrológicas, bem como a variabilidade expressa pela magnitude, frequência, duração, previsibilidade e taxa de variação, influenciam os elementos que compõem a integridade biótica representada pela: qualidade da água, fontes de energia, habitat físico e interações bióticas (TUCCI, 2009). Essa relação entre os diversos fatores intervenientes na qualidade dos ecossistemas pode ser observada na Figura 5

Figura 5 Fatores determinantes para o equilíbrio dos ecossistemas



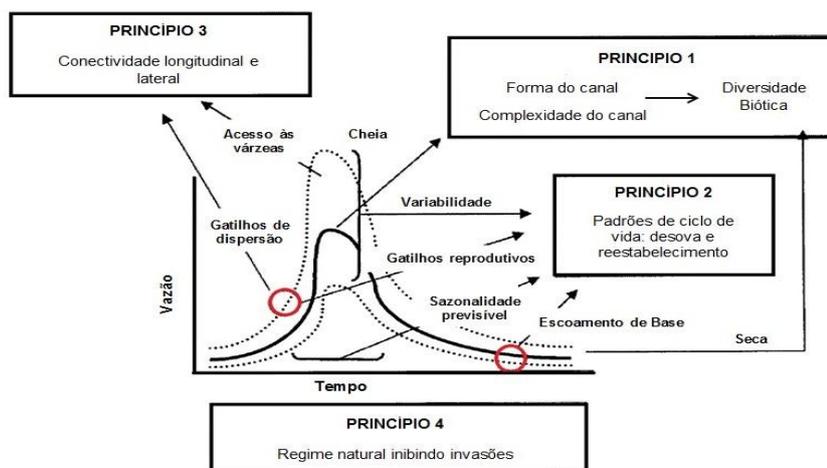
Fonte: Tundisi (2011)

Bunn & Arthington (2002) tratam em seu estudo das relações da vazão (previsibilidade e variedade de eventos de cheia e estiagem naturais) com a biota de ecossistemas aquáticos. Eles consideram que o regime hidrológico afeta a biodiversidade de um rio ou curso d'água a partir de quatro princípios:

- Primeiro: o maior fator determinante da física dos habitats em rios é a vazão, assim como a forma física dos habitats é a maior determinante da diversidade biológica.
- Segundo: as espécies aquáticas desenvolvem suas estratégias de sobrevivência baseadas na resposta para o regime de vazões naturais.
- Terceiro: a manutenção dos padrões naturais de conectividade longitudinal e lateral (conectividade do canal às várzeas) do rio é essencial para a existência de variabilidade entre as populações das diversas espécies ribeirinhas.
- Quarto: a invasão e sucessão de espécies exóticas e introduzidas no ambiente aquático são facilitadas pelas alterações do regime de vazão do rio.

Esses quatro princípios e sua relação com a variação de vazão, como trazem Bunn & Arthington (2002), podem ser ilustrados como mostra a Figura 6.

Figura 6 Biodiversidade Aquática e o regime de vazão natural



Fonte: Adaptado de Bunn & Arthington (2002)

A Figura 6 representa o hidrograma e as partes do mesmo no qual são identificados os princípios esperados de sustentabilidade da integridade biótica dos corpos de água. Segundo Tucci & Mendes (2006) o primeiro princípio caracteriza as relações do canal (escoamento e o habitat) e a diversidade biótica representada pelo hidrograma médio, enquanto que no segundo princípio são caracterizados os padrões de vida que dependem da variabilidade hidrológica sazonal e inter-anual. O terceiro princípio, por sua vez, envolve a conectividade longitudinal e transversal das vazões e nutrientes associados, o que está relacionado com as taxas de variação das vazões ao longo do ano e entre anos. Por fim, o quarto princípio caracteriza o comportamento do regime natural que alterado favorecer invasões.

Nas bacias hidrográficas, os usos múltiplos dos recursos hídricos acarretam grandes variações das características dos corpos d'água. Essas características ou parâmetros quando analisados em conjunto, possibilitam verificar as condições do regime hidrológico no manancial e identificar limitações hídricas que possam ocorrer ou que já estejam ocorrendo. A harmonização dessas limitações e as demandas nos diversos tipos de usos e usuários existentes em uma bacia hidrográfica vêm sendo uma tarefa complexa e desafiadora, abrangendo aspectos socioeconômicos, físicos, químicos, biológicos, culturais e ambientais.

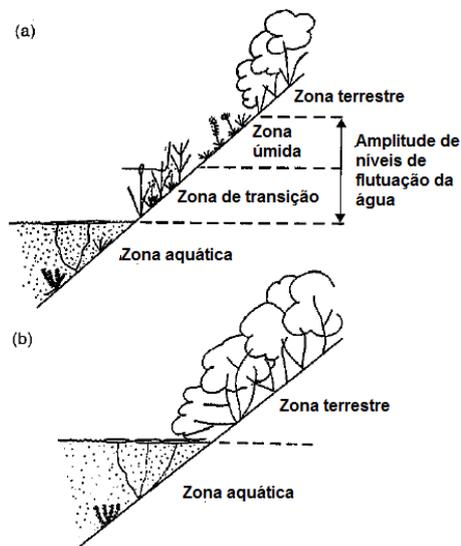
3.1.2. Alterações do Regime Hidrológico

A compreensão do regime hidrológico estabelecido pelos fluxos naturais de vazões de um rio, assim como sua variabilidade e as alterações ocorridas neste, é essencial para a avaliação dos aspectos da dinâmica fluvial dos mesmos em termos de quantidade e qualidade, e para se desenvolver um processo de racionalização, conservação e preservação dos recursos hídricos (ARAÚJO & ROCHA, 2010).

Uma vez que, o regime de vazões (descarga total, vazões de inundação, escoamento de base, inundação sazonal, hidrogramas e a variabilidade sazonal e interanual) é a força motriz em ecossistemas fluviais (STANFORD *et al.*, 1996; POFF *et al.*, 1997; BATALLA *et al.*, 2004) as alterações em qualquer um dos parâmetros componentes do regime de vazões, que caracterizam a variabilidade hidrológica, podem ter efeitos dramáticos sobre os organismos aquáticos, as espécies ribeirinhas, o fluxo de energia no sistema, o movimento de sedimentos e

interações na várzea (POFF *et al.*, 1997). Tais efeitos são decorrentes da influência dos sistemas ambientais na composição e estrutura das comunidades aquáticas através de três aspectos: por meio do estabelecimento de condições ambientais e sua variabilidade; da distribuição e evolução do mosaico de habitats; influenciando os movimentos dos organismos entre os habitats, e atribuindo um regime ambiental aos habitats aquáticos (RICHTER *et al.*, 1998). Um exemplo da relação direta entre o regime de vazões e a biodiversidade de sistemas naturais é apresentado pela Figura 7.

Figura 7 Influência dos níveis fluviométricos na diversidade da vegetação das margens, (a) com flutuação; (b) sem flutuação.



Fonte: Modificado de Keddy & Fraser (2000)

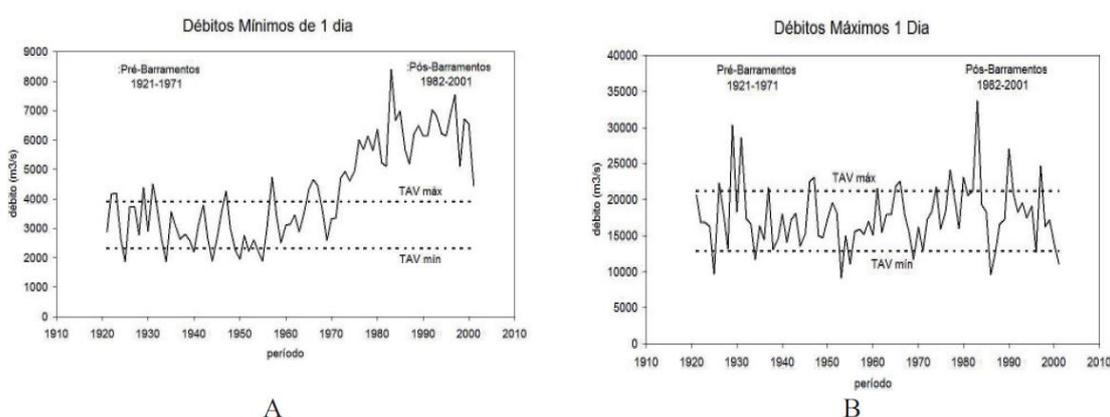
Pode-se então dizer que as alterações que criam mudanças no tempo e magnitude dos eventos (vazões baixas ou altas) ou alteraram o regime do rio em escalas mensais, sazonais, ou anuais podem resultar em sistemas de rios alterados drasticamente (GIBSON *et al.*, 2005).

As ações antrópicas também consistem em intervenções de elevada intensidade sobre os processos hidrológicos. Dentre as intervenções de origem antrópica é possível elencar as modificações como a supressão de vegetação para implantação de empreendimentos agropastoris, impermeabilização do solo, e as obras hidráulicas como os desvios de curso d'água, retiradas de água com o uso de bombas, construção de diques, retificação do canal do rio, e por fim àquela que tem recebido atenção dos estudos, a construção de barramentos. As chamadas obras

hidráulicas provocam o rompimento do equilíbrio longitudinal do rio e algumas chegam até acarretar a fragmentação da estrutura do mesmo. Essas estruturas afetam os componentes do regime hidrológico de um corpo hídrico de diferentes maneiras, de forma que as retiradas de água e o desvio dos cursos interferem principalmente na magnitude das vazões, enquanto que os diques e os barramentos modificam tanto a magnitude como a frequência e a duração das vazões.

A Figura 8 apresenta as alterações ocorridas na magnitude e na duração das vazões na região do Alto Paraná após a implantação de grandes barragens a partir de 1970.

Figura 8 Magnitude e duração das vazões pré e pós-barramento para o Alto rio Paraná, (a) Mínimas e (b) Máximas, médias de 1 dia.



Fonte: Rocha (2010)

Na Figura 8 é notável o aumento da magnitude e na duração das vazões mínimas (de 1 dia), assim como a frequência, e a pouca variação das máximas entre o período pré-barramento (1921-1971) e o período pós-barramento (1982-2001).

O equilíbrio entre as vazões, a prestação de serviços da água para conservar a biodiversidade, e o atendimento à demanda de água da sociedade é necessário para a manutenção da maioria dos sistemas fluviais e para diminuição dos efeitos negativos das interferências antrópicas.

Tais interferências são entendidas como as mudanças no padrão da variabilidade natural dos sistemas hídricos (COLLISCHONN, 2006). Entender as modificações dessa variabilidade e desse regime se torna relevante, então, para compreender as alterações hidrológicas de modo criterioso.

O estudo do regime hidrológico dos rios é assunto abordado em diversos estudos como os de Richter et al. (1997); Poff et al., (1997); Rocha (2010) que aplicaram metodologias buscando entender melhor a variabilidade hidrológica fluvial ao identificar em diferentes estados quantitativos e qualitativos o regime de vazões.

De acordo com Destefani (2005) a análise e caracterização do regime hidrológico de um sistema fluvial, podem ser obtidas através de embasamento teórico conceitual e por tratamento estatístico. Em relação a base teórica, parâmetros como periodicidade, estacionaridade, frequência, duração e recorrência podem ser utilizados na interpretação de informações hidrológicas. Para o tratamento estatístico utilizada nas análises de regime hidrológico se destacam a representação gráfica de séries históricas e o cálculo de parâmetros estatísticos de distribuição como desvio padrão, variância, amplitude, coeficiente de variação e parâmetros de tendência central (média e mediana).

Rocha *et al.* (2009) pesquisaram as alterações no regime hidrológicos de sistemas fluviais na bacia do alto Paraná, com ênfase para bacias dos rios Aguapeí e Peixe. Os resultados obtidos pelos autores indicam que houve significativas alterações nos regimes fluviométricos nas bacias hidrográficas dos rios estudados, acompanhando o que apresentam os rios Paraná e Paraguai, a partir da década de 1970, devido a alteração no regime pluviométrico, e a processos de desmatamento, uso e ocupação da área. Os autores observaram aumento dos valores médios anuais de vazão (a exemplo do alto Aguapeí que foi de 24,5 m³/s para 40,6 m³/s após a década de 70 e a variabilidade total, com destaque para o aumento do desvio padrão do baixo Peixe de 8,4 m³/s para 22,0 m³/s.

De uma maneira geral, as maiores alterações detectadas no estudo de Rocha *et al.* (2009) foram nas vazões extremas (máximas e mínimas) em termos de magnitude. Além disso, tais autores buscaram investigar as alterações no regime hidrológico motivadas pela ocorrência de interferências antrópicas, na tentativa de validar a hipótese de que tais alterações provocam sérias modificações no regime hidrológico de um rio e com a intenção de gerar informações que pudessem subsidiar estudos a respeito das consequências sobre o ecossistema e também servir de subsídio para a gestão dos recursos hídricos.

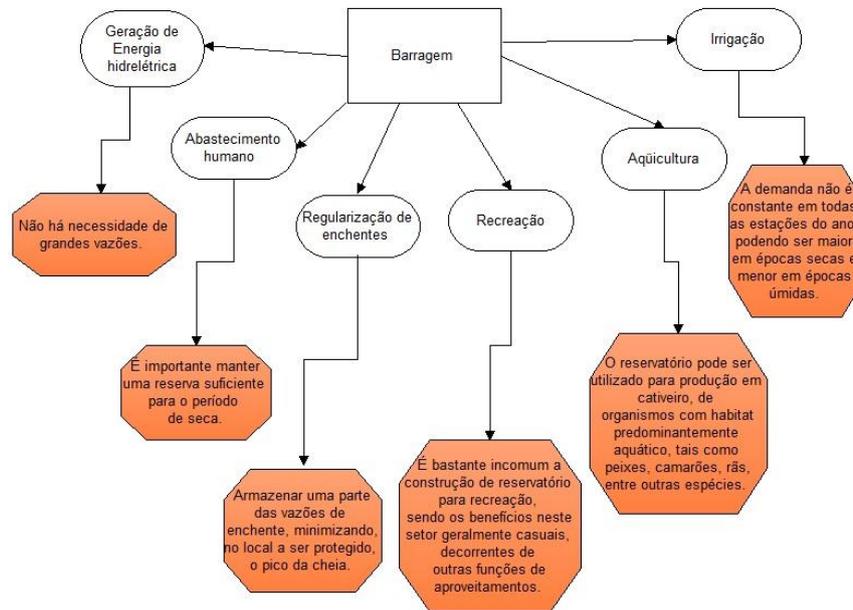
3.1.3. Barragens e Reservatórios

As barragens são construídas de acordo com o uso para o qual elas serão destinadas. Há duas principais categorias para barragens: barragem a fio d'água ou de regularização/armazenamento. A barragem a fio d'água é uma estrutura que não forma reservatório com capacidade de variação de seu armazenamento e permite que as vazões afluentes a ele sigam para jusante. Essa construção objetiva, geralmente, elevar o nível de água para facilitar algum tipo de aproveitamento, como a derivação para irrigação ou para sistema de geração de energia hidroelétrica.

Por outro lado, as barragens de regularização são construídas com vistas a evitar cheias e para promover a navegação, assim como permitir acumular excedentes hídricos e restituir volumes nos momentos de seca. As barragens de acumulação, por sua vez, acumulam de fato a água para possibilitar o atendimento de demandas como abastecimento, irrigação e geração de energia. Os níveis do reservatório formado a partir da construção das barragens de acumulação variam dependendo de sua finalidade. Para o caso de reservatórios de múltiplos usos o nível máximo do reservatório pode não ser alcançado. Isso ocorre, pois em casos de controle de cheias, os reservatórios devem ter níveis mínimos para poder armazenar, enquanto que para o abastecimento, e irrigação e a geração de energia os reservatórios devem estar cheios para distribuir água e gerar energia, e para a recreação o nível de água deve ser mantido constante.

Os diversos usos aplicáveis aos reservatórios e suas características gerais são apresentados na Figura 9.

Figura 9 Usos de reservatórios aplicáveis e suas características gerais



Fonte: Adaptado de Cruz & Fabriza (1995)

Em relação às dimensões da barragem, de acordo com Pimentel (2004), as barragens destinadas ao controle de cheias, armazenamento e bombeamento podem apresentar tamanho característico de pequeno a médio, enquanto para geração de energia essa barragem deve ser de tamanho médio ou grande e para abastecimento e atividades como piscicultura e agricultura pode ser de tamanho pequeno. Essas definições podem ser diretamente associadas também ao volume de água acumulado, ou seja, quanto maior a barragem maior pode ser o volume de água acumulado, a depender da topografia e do vale alagado.

Além da influência da finalidade dos reservatórios, a capacidade de armazenamento dessas estruturas está em função das características topográficas do vale em que estão inseridos, assim como da altura da barragem. De acordo com a altura/tamanho da barragem o volume de armazenamento do reservatório irá definir a capacidade de regularização do reservatório, enquanto a área da superfície está relacionada à perda de água por evaporação. Para realizar a classificação das barragens foi elaborada a Resolução nº 143 de julho de 2012, que classifica as barragens para acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório como: Pequena (volume $\leq 5 \text{ hm}^3$); Média ($5 \text{ hm}^3 < \text{volume} \leq 75 \text{ hm}^3$); Grande ($75 \text{ hm}^3 < \text{volume} \leq 200 \text{ hm}^3$); Muito grande ($200 \text{ hm}^3 < \text{volume}$) (BRASIL, 2012).

Em relação às prioridades de atendimento aos usos múltiplos de um reservatório a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) traz em um de seus fundamentos que em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação animal (BRASIL, 1997). Assim, em regiões semiáridas, devido à existência de elevada demanda com alta prioridade, a operação dos reservatórios deve ser definida de modo que a vazão para abastecimento possa ser mantida, mesmo nos eventos de seca, liberando apenas os volumes excedentes, se houver, para rateio entre os outros usuários (BRASIL, 2005). Nessas situações o estabelecimento dessa prioridade poderá causar conflitos entre os usos e usuários.

O reservatório formado a partir da implantação de barragens afeta e é afetado pelas decisões de manejo, ou seja, seu uso e o modo de operação. As decisões de manejo, para Cruz *et al.* (2010) devem ser tomadas antes da construção do empreendimento, pois as características construtivas determinam diretamente grande parte dos impactos sobre o regime hidrológico do rio no trecho à jusante.

Regras de operação e manejo, que podem ser organizadas em um plano operacional dos reservatórios, de acordo com Poff & Hart (2002), influenciam o tipo, a magnitude, a frequência e o tempo dos impactos ambientais no ecossistema fluvial. Eles sugerem que a classificação de barragens ultrapasse as características de tamanho, operação e idade, e leve também em consideração os aspectos associados aos sistemas ecológicos.

A formação desses reservatórios além de alterar a vazão do rio no tempo e no espaço, também provoca o aumento das taxas de evaporação e a incidência dos ventos que provoca a erosão das margens do reservatório. A fauna e flora podem ser ainda atingidas devido à eliminação ou afogamento de florestas. Uma vez reservada, a água se torna mais vulnerável à poluição e às interferências do meio em que o reservatório está inserido (PIMENTEL, 2004).

Diante disso, nota-se que essas intervenções devem ser planejadas para que os reservatórios atendam às finalidades para as quais os empreendimentos foram concebidos e garantam a multiplicidade de usos da água armazenada, minimizando os impactos resultantes sobre seu ambiente referencial (LINK & ROSA, 2000). E, além disso, torna-se relevante o estudo das alterações hidrológicas decorrentes da implantação de reservatórios, de modo a avaliar e classificar tais alterações.

3.1.3.1. Impactos Ambientais Associados às Barragens

O impacto ambiental é estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução nº 01 de 1986 como,

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA, 1986).

A construção de barragens provoca a propagação em rede, tanto à montante, como à jusante, dos impactos ambientais, uma vez que o rio é um ecossistema de dinâmico de escoamento (POSTEL & RICHTER, 2003; SILVEIRA *et al.*, 2005). Tais impactos podem ser de curto, médio e longo prazo e também de alcance local, regional ou global.

As interferências decorrentes dos reservatórios citados afetam aspectos físicos, químicos e biológicos dos corpos d'água. De acordo com Tundisi (2011) os reservatórios interferem nos rios em que estão instalados alterando os sistemas terrestres e aquáticos de maneira drástica e efetiva.

Esteves (1998) aponta que na região à jusante do reservatório podem ser observadas as consequências do mesmo, destacando como mais importante a alteração no regime hidrológico, que passa a ter um regime de seca e cheia não periódicos e independentes da pluviometria da região, assim como são também observadas as alterações na qualidade física e química da água.

O *World Commission on Dams* (WCD, 2000) classificou os impactos sobre os ecossistemas como sendo de primeira, segunda, terceira e quarta ordem de modo que:

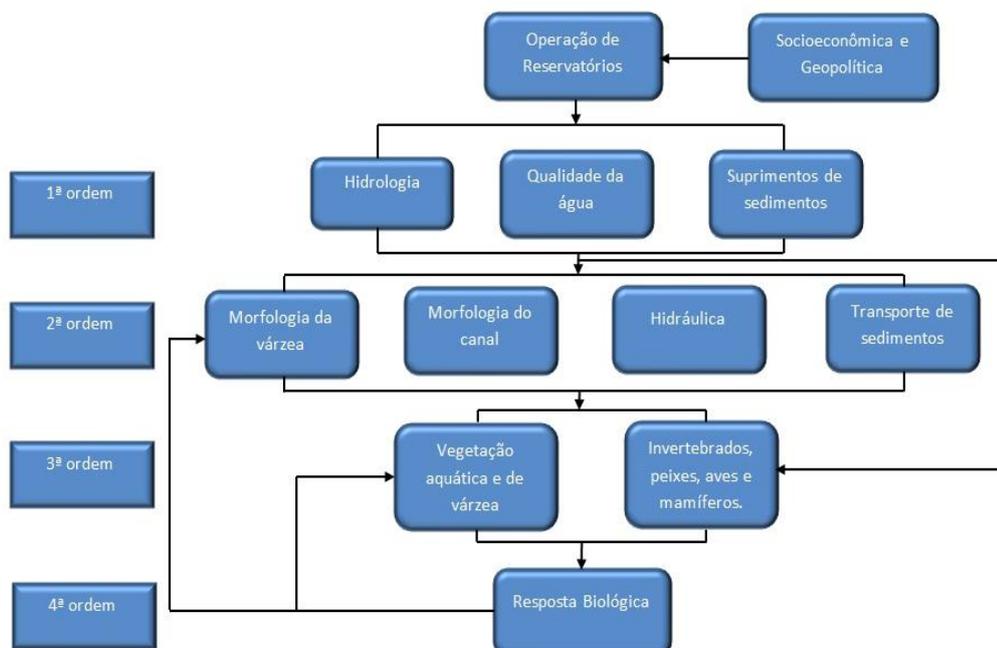
- 1ª ordem – impactos que envolvem as consequências físicas, químicas e geomorfológicas do bloqueio de um rio e alteram a distribuição natural e temporal das vazões.
- 2ª ordem – impactos que envolvem mudanças na produtividade biológica primária de ecossistemas, incluindo efeitos sobre a vida vegetal ripária e sobre habitats de jusante, tais como alagados.

- 3ª ordem – impactos que envolvem alterações na fauna, cuja origem são efeitos de primeira ordem (bloqueio de migração) ou um de segunda ordem (como diminuição na disponibilidade de plâncton).
- 4ª ordem – impactos que envolvem a resposta biológica da fauna e da flora às alterações na fauna e na flora associados.

Além desses impactos, a WDC (2000) ainda destaca que, modificando o ecossistema, o ciclo bioquímico no sistema fluvial também é alterado. Por isso a implantação de reservatórios interrompe o transporte de carbono orgânico para jusante, resultando na emissão de gases de efeito estufa como metano e dióxido de carbono.

Em Burke *et al.* (2009) e Jorde *et al.* (2008) são apresentadas hierarquias dos impactos físicos e biológicos provocados pela operação de reservatórios (Figura 10). Nesses estudos os impactos que são classificados como de primeira, segunda e terceira ordem, seguindo a classificação proposta pelo *World Commission Dams* (WCD, 2000), de modo que para cada impacto haverá uma resposta biológica correspondente.

Figura 10 Hierarquia dos impactos físicos e biológicos causados por barragens, e suas respectivas ordens.



Fonte: Adaptado de Burke *et al.* (2009) e Jorde *et al.* (2008)

Os impactos causados por barragens são descritos na literatura por muitos autores e, além daqueles que já foram citados no texto, incluem-se também a gama de impactos (provocados pela reservação de rios) a inundação de áreas produtivas e urbanizadas, que por sua vez, provoca o deslocamento de populações estabelecidas, desestruturação de famílias e perda de identidade do indivíduo; redução da complexidade do canal do rio, ao transformá-lo em um lago à montante da barragem; perdas de água por evaporação devido ao aumento da área de lamina d'água exposta à radiação solar; eutrofização de trechos do corpo d'água, devido à acumulação de nutrientes à montante da barragem e a redução da vazão de diluição de poluentes à jusante, prejudicado a autodepuração do rio; modificação de ciclos biogeoquímicos e dinâmica de habitats aquáticos e ripários ao fragmentar o curso d'água e romper os processos biológicos das espécies que estavam baseados no regime hidrológico sem impacto; alteração do reabastecimento do estuário, pois a barragem se torna um obstáculo para o transporte de nutrientes, sedimentos, assim como para vazão; salinização da água, provocada pela intrusão salina à jusante e acúmulo de substâncias à montante; bloqueio de migração de espécies; redução de espécies adaptadas e nativas e invasão de espécies características de outros ambientes (como o salino); a eliminação da fertilidade natural de áreas alagadas e de lagoas marginais, provocada pela interferência na variabilidade das vazões (CRUZ E FABRIZY, 1995; VOROSMARTY *et al.*, 1997; COLLIER *et al.*, 2000; ROSENBERG *et al.*, 2000; POFF & HART, 2002; POSTEL & RICHTER, 2003; SILVEIRA *et al.*, 2005; PIMENTEL, 2004; BOAS, 2006; GRAF, 2006; CAVALCANTE 2011; CRUZ, 2012; GOES FILHO, 2012).

3.1.3.2. Impactos Hidrológicos Decorrentes de Barragens

A construção de barramento num curso d'água provoca alterações nas características do regime hidrológico, e provocam sensíveis alterações no balanço hídrico da bacia de contribuição e na bacia à jusante (GIURDICE & MENDES, 2013) afetando a conectividade dos rios e também prejudicando as espécies que dependem do padrão de escoamento estabelecido.

Segundo De Jorge (1984) a implantação de um reservatório causa grandes interferências sobre condições naturais do meio físico do que qualquer outro tipo de obra civil de grande porte. Essas interferências são responsáveis por reações do

próprio meio físico procurando se adaptar às novas condições existentes. As reações podem variar, ao longo do tempo em intensidade e forma, impondo uma série de mudanças, que caracterizam os impactos.

Os efeitos provocados pela instalação de barragens nas características hidrológicas dos cursos d'água a jusante estão relacionados principalmente à morfologia dos reservatórios, às características dos vertedores e à operação do empreendimento (PETTS, 1984). As descargas de pico são reduzidas, e por vezes o vertimento de água em barragens é reduzido à zero, ou liberam volumes também não muito representativos (BRANDT, 2000).

Grandes barragens provocam impactos profundos sobre a implantação do cenário social e ocupação territorial atual (COLLIER et al, 2000). Entretanto, pequenas barragens também provocam efeitos sobre os sistemas hídricos. A rede de pequenos barramentos pode acarretar tanto em impactos positivos como negativos. Os efeitos negativos são principalmente altas perdas por evaporação, sendo hidrológicamente menos eficazes, ao passo que adicionam complexidade considerável para a gestão do sistema.

Os barramentos de canais fluviais interferem no seu sistema lótico (correntezas) o transformando em um sistema com características lênticas (ou de águas semi-paradas) no reservatório. Interferências desse tipo geram uma série de efeitos em cadeia que de acordo com Cunha (1995), a depender da magnitude e área de abrangência, podem ser irreparáveis.

Além disso, as barragens provocam mudanças na magnitude das vazões, na frequência de inundações, aumento ou redução do escoamento de base, alteração no tempo de concentração da bacia, e conseqüentemente, uma gama de interferências na ecologia na zona ripária (PETTS, 1984; KONDOLF, 1997).

Quando a barragem atende à demanda energética, de acordo com Brandt (2000) sua operação implica na redução de vazões anuais médias e um aumento nas vazões diárias médias e mínimas, além da alteração no regime de vazões anual em áreas com estação chuvosa bem definida.

Diferentes espécies possuem respostas diferentes para eventos hidrológicos, de modo que a mistura de anos úmidos e anos secos provocados pelo regime

hidrológico natural sustenta as espécies que constituem o ecossistema (POSTEL & RICHTER, 2003). Isso porque o período de cheia pode promover benefícios para determinadas espécies e prejudicar outras, assim como os períodos de seca.

Os ecossistemas que se estabeleceram e desenvolveram estratégias evolutivas com base no regime de vazões que existia antes da modificação, são seriamente prejudicados pelos impactos citados (POFF & WARD, 1989). Devido a um novo cenário imposto, tais ecossistemas terão de experimentar adaptações, podendo apresentar respostas negativas como a extinção de espécies.

Cunha (1995), em seu estudo discutiu e avaliou de modo abrangente os vários efeitos hidrológicos e geomorfológicos da construção da barragem de Juturnaíba nos diversos setores do canal fluvial e adjacências. De acordo com a autora, a construção de barragens rompe com a sequência natural dos rios em pelo menos três setores distintos: (1) montante do reservatório/barragem; (2) no reservatório e periferia; (3) a jusante do reservatório/barragem. O Quadro 2 mostra as principais alterações hidrológicas e geomorfológicas em três trechos característicos de um rio represado.

Quadro 2 Alterações Hidrológicas e Geomorfológicas em Sessões de um Rio Represado

SEÇÃO DA BACIA	PRINCIPAIS IMPACTOS HIDROLÓGICOS	PRINCIPAIS IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS
Montagem do Reservatório	Deposição carga sólida; Mudança térmica das águas; Redução da velocidade das águas; Subida do nível das águas.	Assoreamento na desembocadura dos rios principais; Assoreamento no fundo dos vales afluentes; Formação de novas áreas de inundação.
Reservatório e Periferia	Armazenamento de carga líquida; Armazenamento de carga sólida; Modificação no conteúdo de gases dissolvidos; Elevação do nível piezométrico (compressibilidade dos líquidos dos líquidos); Alteração nas taxas de infiltração; Maior disponibilidade de água subterrânea; Ocorrência de Inundações; Assoreamento no reservatório; Redução da vida útil da barragem; Alteração na transparência da água; Alteração na estrutura térmica da água.	Submersão das formas de relevo; Processo de Abrasão lacustre; Recuo das margens ou das falésias lacustres; Formação de praias e depósitos de abrasão; Processos de assoreamento; Formação de bancos arenosos emersos ou imersos; Formação de lagoas fechadas; Colmatação da desembocadura dos rios principais; Formação de novas áreas de inundação.
Jusante da Barragem	Controle de regularização das descargas; Redução da carga sólida (sedimentos); Salinização da água; Alteração na estrutura térmica; Redução do nível piezométrico; Alteração nas taxas de infiltração; Menor disponibilidade de água subterrânea.	Entalhe no leito do rio, com consequente descida do nível da base local; Descida do nível de base dos afluentes com retomada erosiva (entalhe) dos seus leitos; Processos de erosão nas margens; Alteração nos sedimentos de fundo e das margens; Reajustamento na morfologia do canal pela migração dos setores de erosão e sedimentação; Processos de deposição nas margens e fundo do leito; Modificações na dinâmica da foz.

Fonte: Adaptado de Cunha (1995).

Como visto no Quadro 2 reafirma-se que a instalação de barragens provoca modificações hidrológicas desde a montante do reservatório até a jusante que se associam a impactos geomorfológicos em esferas de aspectos físicos, químicos e biológicos. Nesse sentido, a implantação e operação de reservatórios destrói a continuidade das vazões de rios, pois a referida continuidade respeita um padrão desde a cabeceira até a foz do rio que abrange desde a velocidade, até a organização das espécies vegetais e animais, e ainda a distribuição de nutrientes e sedimentos. Essa intervenção também modifica a distribuição natural das vazões e a

conectividade lateral, longitudinal e vertical dos cursos, isso porque no rio se estabelece uma conectividade entre o leito do rio, as paredes do canal e suas margens que interferem também no equilíbrio do ecossistema ali constituído, bem com a troca de energia, sedimentos, biomassa e as contribuições para o regime de vazões. Desse modo, é necessário tomar medidas eficazes para evitar ou atenuar os impactos negativos das barragens no ecossistema do rio, como a elaboração de estudos de impacto das alterações hidrológicas no sistema hídrico e dos ecossistemas hídricos e também estabelecimento do mínimo de água que deve ser preservado para manutenção das espécies e de seus habitats. Entretanto, os requisitos da ecologia ripária são por vezes supridos por critérios mínimos de vazão referida como vazão ecológica. Essa abordagem de acordo com Yang *et al.* (2012) é essencialmente antropocêntrica e concentra-se na quantidade mínima de água que se baseia apenas nas necessidades da espécie predominante ou alvo.

Buscando atender as necessidades ecológicas de um modo mais abrangente Sparks (1992) sugeriu que a melhor abordagem para definição de vazões mínimas no rio é considerar os requisitos de vazões para as espécies dos ecossistemas de forma geral. A dinâmica populacional dessas espécies e seu regime de reprodução são diretamente afetados pela variabilidade hidrológica, principalmente àquelas decorrentes de interferências antrópicas como operação de reservatórios.

Mathews & Richter (2007) em seu estudo aplicado ao rio Verde, em Washington (EUA) observaram que do período pré-barragem para o período pós-barragem houve alteração no período de migração e reprodução de uma espécie de Salmão, bem como alteração nas vazões de cheia e de seca. Assim, os autores concluem que em alguns períodos a proteção ou a restauração da variação natural de vazões é possível e recomendada. Além disso, se torna necessário entender as características chave das relações vazão-ecossistema, bem como compreender como essas relações ocorrem no período pré-barragem para possibilitar a definição de medidas para minimizar, dentro das limitações, as alterações na vazão provocadas pelas ações antrópicas.

Nota-se que interferências na variabilidade hidrológica de sistemas naturais podem acarretar conflitos de grande magnitude sejam provocadas por ações naturais ou antrópicas, e devido a interrupção da harmonia da relação entre os padrões de

escoamento e os aspectos ecológicos, impactos hidrológicos e ambientais incidirão em consequência às alterações hidrológicas.

3.2. Metodologias de Avaliação e Classificação das Alterações Hidrológicas

A avaliação das interferências e impactos das barragens no regime de vazões de um corpo hídrico pode ser mais bem qualificada e embasada quando as alterações hidrológicas são identificadas de maneira simples e clara.

Métodos hidrológicos de avaliação do grau de impacto de interferências antrópicas, principalmente a implantação de barragens partem de estudos de séries fluviométricas para identificar o regime fluviométrico natural e recomendar novos padrões de operação que busquem mimetizar, mesmo parcialmente a magnitude, frequência, duração, período de ocorrência e forma de eventos de cheia e estiagem (SOUZA, 2009) ou outras medidas mitigadoras aos impactos negativos da alteração do regime original.

De acordo com Richter *et al.* (1997), as características do regime de vazões oferecem alguns dos mais usados e apropriados indicadores para se avaliar a integridade do ecossistema fluvial ao longo do tempo, devido a circunstâncias específicas, assim como a disponibilidade de longas séries temporais de dados fluviométricos diários de rios pode prover uma alta percepção a respeito da variabilidade natural e da história recente das perturbações associadas às ações antrópicas na bacia hidrográfica que repercutem nos rios.

No sentido de estudar as alterações hidrológicas em cursos d'água decorrentes da implantação de barramentos alguns autores propuseram métodos que permitem a avaliação das referidas alterações a partir da análise de variáveis fundamentado em nos cinco componentes relevantes do regime de vazões já mencionados anteriormente (RICHTER *et al.*, 1996; RICHTER *et al.*, 1997), enquanto outros propuseram métodos de classificação dessas alterações, baseados no resultados da avaliação, que permitem qualificar tais resultados (RICHTER *et al.*, 1998; BLACK *et al.*, 2000). Outros autores passaram a aplicá-los, principalmente para avaliação, de modo que essa metodologia pode ser validada para outras regiões e se tornaram bastante conhecidas (OLDEN & POFF, 2003; BLACK *et al.*, 2005; MATHEWS & RICHTER, 2007; HU & WANG, 2008; GENZ & LUZ, 2007; GAO *et al.*, 2009; BURKE

et al., 2009; ROMANO *et al.*, 2009; ARAÚJO & ROCHA, 2010; ROCHA, 2010; BIZZI *et al.*, 2012; YANG *et al.*, 2012; JEONG *et al.*, 2012; RONDON *et al.*, 2013, MINEA & BARBULESCU, 2014). Algumas dessas metodologias serão abordadas nos itens a seguir.

3.2.1. Avaliação de Alterações Hidrológicas

3.2.1.1. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)

A abordagem do regime hidrológico como um todo nos estudos do comportamento do rio tem sido considerada em muitos estudos, de modo que o *Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA, RICHTER *et al.*, 1996) apresenta-se como uma ferramenta relevante no avanço dos estudos de quantificação de alterações hidrológicas.

A base do IHA consiste em caracterizar, por ano, os aspectos do regime de vazões com destacada relevância para ecossistemas dos rios (POFF *et al.*, 1997), analisando potenciais alterações do regime ao realizar comparação de estatísticas de tendência central e dispersão de cada aspecto.

O *software* IHA foi desenvolvido pela *The Nature Conservancy* (TNC, 2009), e de acordo com essa instituição é uma ferramenta de fácil utilização para calcular as características de regimes hidrológicos naturais e alterados, de modo que funcionará bem na análise de dados hidrológicos diários disponíveis, como vazões e cotas, ou dados gerados por modelagem.

O IHA utiliza dados diários para efetuar seus cálculos e sua estatística será significativa somente quando for empregado um registro hidrológico suficientemente longo, o TNC (2009) sugere que sejam utilizados pelo menos 20 anos de dados para cada período analisado.

A metodologia do IHA, desenvolvida por Richter *et al.*, (1996), considera os principais componentes do escoamento, ou seja, a variabilidade, magnitude, frequência, duração, período de ocorrência e taxa de mudança.

De acordo com Richter *et al.* (1996), o IHA analisa 32 variáveis divididos em 5 principais grupos e possibilita destacar as modificações na magnitude e distribuição temporal - duração, tempo de ocorrência e frequência de eventos extremos - das

vazões, bem como as variações das características de forma do hidrograma. Além disso, a análise da curva de permanência apresenta as alterações em termos de magnitude do comportamento hidrológico geral do rio. Assim, as variáveis do IHA estão distribuídas entre os grupos:

- Grupo 1: Magnitude das condições de vazões mensais.
- Grupo 2: Magnitude e Duração das vazões anuais extremas.
- Grupo 3: Periodicidade das condições de vazões anuais extremas.
- Grupo 4: Frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas.
- Grupo 5: Taxa/ Frequência da mudança nas condições da água (hidrograma).

Este método pode ser utilizado para comparar condições de pré e pós-impacto dentro um longo período (série de dados extensa) em um mesmo corpo hídrico ou entre corpos hídricos distintos e, ainda, estabelecer uma comparação de situações atuais com cenários futuros.

Em Richter (1999), as variáveis do IHA foram revistas, sendo adicionados 2 novas variáveis ao Grupo 2 – número de dias de vazão zero e o índice de vazão de base (vazão mínima de 7 dias/vazão média para o ano) – e foram realizadas alterações também no Grupo 5. Neste último grupo as quatro variáveis que o compunham foram sintetizados em apenas duas, e a variável número de reversões nas vazões foi adicionado.

Rocha (2010) relata que o uso do IHA permite que se construa uma nova visão da gestão e manejo de sistemas fluviais, gerando benefícios econômicos e à população principalmente nos locais onde a conservação da biodiversidade fluvial não tenha sido considerada no passado.

Olden & Poff (2003) destacam que as estatísticas agregadas ao IHA são recomendadas para os estudos das alterações na dinâmica dos corpos hídricos, pois representam aspectos relevantes do regime de vazões, além de terem provado representar bem a variabilidade de regimes hidrológicos heterogêneos, quando comparado com outros índices dentro de uma amostra de 171 índices, que também levaram em consideração tratamento estatístico.

Genz (2006) utilizou o método do IHA para avaliar alterações hidrológicas ocorridas no rio Paraguaçu-Bahia devido à implantação da barragem de Pedra do Cavalo.

Nesse estudo identificou-se a redução das vazões médias mensais em todo o período que geralmente não ocorriam cheias anuais.

A avaliação do regime hidrológico baixo trecho do rio São Francisco, após a implantação de hidrelétricas, realizada por Genz & Luz (2012) mostrou que a operação de reservatórios tem sido responsável por 59% de alterações hidrológicas.

Minea & Barbulescu (2014) avaliaram o impacto hidrológico produzido no rio Buzau pela barragem Siriu, na Romênia, aplicando o IHA. Eles utilizaram dados de 1955 a 2010 e sua análise estatística mostrou que a barragem Siriu teve uma moderada influência sobre o regime de descarga média diária do rio estudado.

As atualizações pelas quais o método IHA tem sido submetido aumenta significativamente a sua utilidade, bem como amplia as possibilidades de aplicação, que respaldam ainda mais a escolha deste indicador para realizar avaliações de alterações hidrológicas e corpos d'água.

Devido aos questionamentos que pesquisadores começaram a tecer a respeito do modo como uma elevada alteração poderia ser definida e como estabelecer qual o parâmetro hidrológico seria mais importante para um ecossistema fluvial sustentável, a partir da obtenção dos resultados do IHA, Richter *et al.* (1997) descreveram o *Range of Variability Approach* que estabelece recomendações para uma gestão adaptativa levando em consideração a relação da ecologia aquática com a variabilidade hidrológica e com os fatores tempo, duração, frequência e taxas de mudança para a manutenção dos ecossistemas. Essa abordagem adicional é descrita no item seguinte.

3.2.1.2. Range of Variability Approach (RVA)

A sistemática de análise de alterações hidrológicas foi adotada por Richter *et al.* (1997) considerando o *Range of Variability Approach* (RVA), ou seja, uma faixa de variação admissível.

O RVA foi proposto a partir de avaliações do método IHA, com base na necessidade de manutenção do regime hidrológico natural incorporando conceitos de variabilidade hidrológica e integridade dos ecossistemas ribeirinhos (RICHTER *et al.*, 1997). A metodologia permite ainda estabelecer metas provisórias de vazões e

estratégias de gestão do rio sem dados ecológicos de longo período (Sarmiento, 2007). De acordo com seus autores o RVA é bastante útil para o estabelecimento de metas preliminares ou intermediárias de vazão de rios com regimes hidrológicos altamente alterados.

Esse método usa como valor padrão ou inicial (meta) a média +/- o desvio padrão para definir o limite da faixa de variação (ou seja, é calculada a porcentagem de anos dentro da série histórica do período natural em que os valores estiveram acima ou abaixo da faixa de controle), ou a mediana e os valores para os percentis de 25 e 75%. Os valores de variáveis hidrológicas, que, se situam fora dos limites estabelecidos pelo RVA são considerados inadequados para a busca de um regime hidrológico que busque mimetizar aspectos do regime natural.

Richter et al (1997) realizou um estudo no rio Roanoke (EUA), utilizando o RVA, que auxiliou na definição de regras de operação que foram recomendadas para as barragens do referido rio, para que fossem atendidas as metas estabelecidas para o estudo de caso.

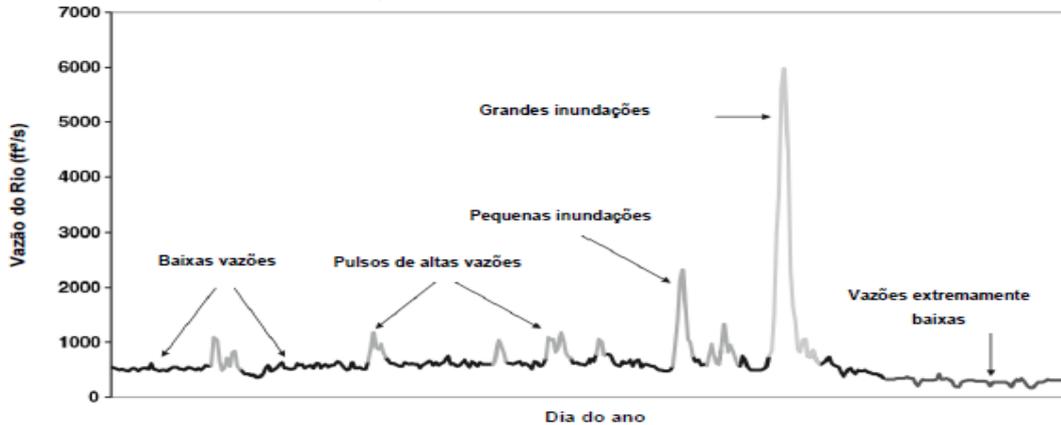
Por outro lado, Mathews & Richter (2007) em sua pesquisa apontam limitações do uso do método destacando a complexidade do mesmo e a necessidade de muito tempo para aplicação e obtenção de resultados confiáveis, uma vez que o sucesso do estabelecimento das metas só é alcançado depois de um ano de observações.

Mathews & Richter (2007) descreveram o histórico do desenvolvimento do IHA e RVA. A partir desse histórico os autores apresentam os fatores que motivaram a adição de 34 novas variáveis ao software do IHA em 2007. Tais variáveis passaram a ser conhecidos como *Environmental Flow Components – EFC* (Richter & Richter, 2000).

Como principal motivação para a complementação das variáveis e a proposição do EFC foi a necessidade de se obter valores específicos para identificar quanto ao regime hidrológico do sistema em estudo foi alterado, que pudesse ser representativo na recomendação das vazões ambientais, no monitoramento e desenvolvimento de programas e definição de atividades de proteção.

Os componentes do EFC, são apresentados pela a Figura 11, que são apresentados na última versão do método IHA.

Figura 11 Categorias do valor de vazão diária de acordo com os cinco “Componentes da Vazão Ecológica” na versão atualizada do IHA



Fonte: Mathews & Richter (2007) (tradução da autora)

De acordo com Mathews & Richter (2007) todos os componentes do EFC têm uma importância ecológica do mesmo modo que no IHA, de modo que aquele agrega mais flexibilidade para aplicações do IHA, principalmente no sentido de explorar específicas relações ecológicas e interações nos componentes do regime. O EFC auxilia também nos esforços para compreender as mudanças nas condições ecológicas e nas espécies.

Leite (2012) utilizou as variáveis EFC, implementados no IHA, para obtenção de descritores hidroecológicos do regime de conexões do rio Santa Maria-RS/Brasil com os lagos marginais de sua planície de inundação no estudo que buscou verificar a relação entre a formação vegetal estabelecida nos lagos marginais na margem direita do referido rio. Os resultados obtidos reforçam o enunciado de que a variação dos pulsos ambientais é a principal função de força do sistema de distribuição da vegetação em ambientes ribeirinhos, além de destacar a alta e significativa correlação que comprova a hipótese de que os caracteres funcionais da vegetação existente nos lagos marginais estão relacionados com as variáveis hidroecológicas.

3.2.1.3. National Hydrologic Assessment Tool (NATHAT)

É uma ferramenta genérica para calcular os 171 índices hidrológicos estatísticos apresentados em Olden & Poff (2003). Essa ferramenta é um software que, de acordo com *U.S. Geological Survey* (USGS, 2013), está disponível para processar

um grupo de múltiplos registros de estações para calibrar 171 índices hidroecológicos para determinados períodos de registro escolhido pelo usuário.

O *National Hydrologic Assessment Tool (NATHAT)* é comumente referido como HAT, e é uma adaptação do HIT que pode ser utilizado em outros países considerando como ponto de partida as cinco classificações de vazões sugeridas por Olden & Poff (2003) que seguiram as definições de Richter *et al.* (1996) e Poff *et al.* (1997), as quais são: magnitude, frequência, duração, tempo, taxa de mudança e tipo de evento de vazão. Embora o HAT execute 171 rotinas estatísticas, a apresentação gráfica padrão de resultados é limitada aos dez índices não redundantes críticos identificados por Olden e Poff (2003) para cada um de suas cinco classes de padrões de vazão, assim esses 10 índices são: magnitude - alta, média, baixa, frequência - alta e baixa, duração – alta e baixa, tempo, taxa de mudança e tipo de evento de vazão.

Hersh & Maidment (2006) usaram o IHA e o HAT para avaliar o regime de vazões de seis bacias no Texas (Guadalupe, Lower Sanine, médio e baixo Brazos, Trinity, San Antonio). Eles declararam que os dois métodos são recomendados para estudos na região, porém melhorias devem ser feitas para que a aplicação seja mais efetiva, indicando o HAT como melhor escolha, pois ele permite que a determinação dos componentes seja mais flexível e melhor capacidade de regionalização. Porém, o HAT, segundo os autores necessita de uma regionalização com aplicação de uma análise de estatística multivariada para melhor caracterizar o regime.

3.2.1.4. Aggregate Index of Hydrological Alteration (AIHA)

O *Aggregate Index of Hydrological Alteration (AIHA)* foi sintetizado por Dittmann *et al.* (2009), baseando-se na média de indicadores, definindo um índice agregado. O AIHA objetiva auxiliar na definição de regras de operação de reservatórios para alcançar uma operação que considere aspectos ecológicos do sistema fluvial. Os autores sintetizaram inicialmente os índices componentes do IHA, buscando otimizar a qualificação das alterações hidrológicas presentes em um sistema impactado por barragem.

Este índice foi utilizado por Bizzi *et al.* (2012) para avaliar as alterações ocorridas no rio Ticino, Itália. Na referida pesquisa foram adotados diferentes pesos para as

variáveis considerados na metodologia do IHA, sendo esses divididos ainda em 5 grupos (de acordo com os 5 componentes do regime hidrológico com relevância ecológica). Cada grupo inicialmente recebeu o mesmo peso (1/5), que foi dividido pelo número de variáveis/indicadores de cada grupo. Nessa divisão o Grupo 2 do IHA obteve um valor final a partir da divisão 0,2/10 (0,02).

Na mesma pesquisa, os autores, com o intento de melhorar os resultados encontrados utilizando o índice agregado de Dittmann *et al.* (2009), propuseram o *Index of Daily Hydrological Alteration (IDHA)*. Esse índice foi especificamente sugerido para ser incorporado em rotinas de otimização baseado em programação dinâmica. O índice mede a distância do regime de alteração da média do regime não alterado, de modo que quanto menor o valor do IDHA menor alteração com relação à condição de referência.

Bizzi *et al.* (2012) destacam que IDHA apresenta vantagens que consistem em e remover o problema de agregação das informações hidrológicas em um único índice.

Porém, os autores indicam que o IDHA tem limitações estruturais inerentes, pois o seu valor ótimo é zero, que seria atingido por um regime de escoamento que reproduz o padrão da vazão de referência (condição não impactada) ao longo do ano, contudo os desvios em relação à média também podem ocorrer em condições não alteradas.

Os autores obtiveram como resultado de sua comparação entre o AIHA e o IDHA, que com este último não se conseguiu boa aplicação das variáveis do IHA utilizados indicando o AIHA como melhor alternativa para utilização em análises de e identificação de alterações.

3.2.1.5. Índices de Alteración Hidrológica em Rios (IAHRIS)

Os *Índices de Alteración Hidrológica em Rios*, o IAHRIS, proposto por Martínéz & Yuste (2010) para obter os valores de indicadores de alterações hidrológicas de rios utilizando 19 variáveis (Figura 12).

Figura 12 Relação de Variáveis para caracterização do regime de vazões no IAHRIS

Componentes do regime		Aspecto	Parâmetro		
Valores habituais	Contribuições anuais e mensais	Magnitude	Média das contribuições anuais	Por tipo de ano	Ano úmido Ano médio Ano seco
				Ano ponderado	
	Variabilidade	Diferença entre a contribuição mensal máxima e mínima no ano	Por tipo de ano (P2)	Ano úmido	Ano médio
				Ano seco	Ano ponderado
	Vazões diárias	Estacionariedade	Mês de máxima e mínima contribuição do ano	Por tipo de ano	Ano úmido Ano médio Ano seco
		Variabilidade	Diferença entre as vazões médias correspondentes ao percentual de excedência de 10 e 90%	Por tipo de ano	Ano úmido Ano médio Ano seco
Valores extremos	Valores máximos (vazões diárias - cheias)	Magnitude e Frequência	Média das vazões máximas diárias anuais	Qc	
			Vazão efetiva (produto entre a média e o coeficiente de variação dos máximos anuais da vazão média diária)	QGL	
			Vazão de conectividade	Qconec	
			Vazão de cheia (Q5%)	Q 5%	
	Variabilidade	Coeficiente de variação de vazões máximas diárias anuais	CV (Qc)		
			Coeficiente de variação da série de cheias	CV (Q5%)	
	Duração	Número máximo de dias consecutivos ao ano com Q < Q5%	Duração de cheias		
	Estacionariedade	Número médio de dias ao mês que Q < Q5%	12 valores 1 para cada mês		
	Valores mínimos (vazões diárias - estiagem)	Magnitude e Frequência	Média das vazões mínimas diárias anuais	Qs	
			Vazão de estiagem habitual (Q95%)	Q95%	
		Variabilidade	Coeficiente de variação de vazões mínimas diárias anuais	CV (Qs)	
			Coeficiente de variação da série de estiagens habituais	CV (Q95%)	
		Duração	Máximo nº de dias consecutivos ao ano com Q < Q95%	Duração de estiagens	
		Estacionariedade	Número de dias ao mês com vazão diária nula	12 valores 1 para cada mês	

Fonte: Martínez & Yuste (2010)

De acordo com essa metodologia foram identificadas as variáveis relevantes, os IAHRIS que avaliam o grau de alteração do regime de alteração do regime de escoamento podem ser calculados pela razão entre os valores das variáveis em regime modificado e em regime natural. Os autores consideram 5 níveis que permitem avaliar quantitativamente o estado hidrológico de massa de água, a partir de cada indicador que variam entre zero e um, sendo que o nível I apresenta a menor alteração hidrológica e o nível V representa a maior alteração hidrológica no regime.

Fiuzza *et al.* (2014) utilizaram a metodologia do IAHRIS para selecionar variáveis hidrológicas relevantes para avaliação do regime de escoamento em Portugal continental. Os autores calcularam 66 variáveis de 36 estações hidrométricas para sugerir a utilização de componentes principais para realizar a seleção de um conjunto de variáveis que caracterizem adequadamente o regime hidrológico, de

modo que com base nesse conjunto é possível definir indicadores de alteração hidrológica que avaliam o grau de alteração do regime de escoamentos.

3.2.2. Classificação de Alterações Hidrológicas

3.2.2.1. Range of Variability Approach (RVA)

Em Richter *et al.* (1998) é apresentado como o RVA pode representar o grau de alteração hidrológica de um curso d'água a partir da utilização de uma fórmula que calcula a distância com relação aos valores definidos como meta do RVA, a resposta é dada em percentagem.

As categorias são definidas pela frequência em que um evento ocorre quando o valor da vazão se encontra acima, abaixo, ou entre os quartis. Os quartis utilizados para essa definição são estabelecidos a partir dos objetivos do usuário. Porém, podem ser utilizados os quartis definidos como padrão pelo método. Quando a opção se dá pela divisão padrão, para categoria RVA baixa (Low), os valores estão abaixo do quartil 33% para RVA média (Middle), os valores se encontram entre o quartil 34% e o quartil 67% e para RVA alta (High) os mesmos estão acima do quartil 67%.

Assim, para determinar a condição das águas impactadas, as modificações das variáveis do RVA são obtidas a partir do cálculo do Valor das Alterações Hidrológicas, chamado de HAV, como na Equação 1.

$$HAV = \frac{(F_{obs} - F_{esp})}{F_{esp}} \quad (1)$$

Em que, HAV é *Hidrologic Alteration Value* ou Valor de alterações Hidrológicas; F_{obs} é a frequência em que o evento acontece após a alteração hidrológica; F_{esp} é a frequência em que o evento acontece antes da alteração hidrológica.

Rondon *et al.* (2013) para avaliar as alterações hidrológicas a jusante da barragem de Apertado no alto rio Paraguaçu – BA aplicaram o RVA de modo que foram identificadas modificações na vazão à jusante do reservatório com redução dos eventos de cheia e a eliminação da variação sazonal mensal, e tais modificações foram classificadas desde pequeno até de alto grau.

Yang *et al.* (2013) apontam a lacuna deixada pelo RVA nas avaliações realizadas utilizando-o, uma vez que este método considera apenas as frequências das alterações, que é igualmente importante. Tais autores propõem que uma revisão no referido método promoveria uma representação mais abrangente das alterações hidrológicas.

3.2.2.2. Dundee Hydrologic Regime Assessment Method (DHRAM)

Black *et al.* (2005) desenvolveram um método para avaliar o grau das alterações nos regimes de vazão usando como estudo de caso rios de bacias hidrográficas da Escócia e da Irlanda do Norte (que estão sob pressão principalmente de represamentos, abstrações e transposição de água entre bacias) relativas a condições quase naturais ou de referência. A metodologia é chamada de *Dundee Hydrologic Regime Assessment Method (DHRAM)* e seus autores afirmam que o DHRAM pode ser utilizado em qualquer país, se os métodos para a geração de vazões requeridas pelo DHRAM estiverem disponíveis.

O IHA (RICHTER *et al.*, 1996), e suas cinco categorias são a base para o DHRAM, devido à capacidade global do primeiro método em caracterizar alterações do regime hidrológico com referência aos componentes ecologicamente relevantes do regime hidrológico (BLACK *et al.*, 2005). O DHRAM faz ainda uma relação entre o impacto ecológico através do conceito de risco, utilizando-se do pressuposto de que os riscos de danos à estrutura do ecossistema, aumenta em proporção direta à distorção cumulativa do regime hidrológico. Os autores consideram que o DHRAM seja uma extensão do método IHA.

Esta abordagem adotou para a geração de valores de referência para cada indicador sintetizado das variáveis do IHA, que são utilizados no DHRAM, a comparação da modelagem de vazões observadas de 20 bacias essencialmente naturais (referência para menores pontos de impacto) e de 11 bacias afetadas por ações antrópicas (referência para maiores pontos de impacto) com representação dos principais tipos de modificação de regime de vazões (reservatórios, captações para abastecimento agrícola e industrial, piscicultura, desvios e descargas de efluentes).

Depois do cálculo das estatísticas das séries de antes e de depois do impacto, seguindo os passos do IHA, uma definição do limiar das mudanças hidrológicas é

executada para atribuir pontos de impacto. A pontuação é realizada baseando-se no percentual de variação absoluta da média e do coeficiente de variação (CV) dos grupos do IHA. Uma vez obtida a soma de pontos de impacto dos dez indicadores sintetizados, uma classificação preliminar é definida com base na soma destes pontos. Desse modo os pontos vão variar de 0 a 30, de modo que zero pontos (Classe 1) representa uma condição não-impactada e 30 pontos (Classe 5) para condição muito impactada.

A etapa final, classificação preliminar, na aplicação da metodologia consiste de um procedimento que usa respostas de sim e/ou não para duas questões e, para o caso de respostas positivas, a classificação avança para uma classe acima. As duas questões que foram consideradas de especial importância pelos autores do DHRAM foram:

1. As variações subdiárias causadas pelas atividades humanas excedem 25% das vazões com 95% de permanência das vazões não impactadas? (Sim = + 1 classe).
2. Os impactos antropogênicos causam vazão nula? (Sim = + 1 classe).

Nota-se que a metodologia descrita permite a classificação das alterações hidrológicas de forma simples, útil e de fácil aplicação.

Entretanto essa metodologia foi elaborada baseada em características de bacias da Escócia e Irlanda do Norte, a partir de médias e coeficientes de variação de rios com características específicas. Deste modo, é possível que se obtenha resultados não muito confiáveis aplicando o método para outras regiões hidrográficas, como as bacias brasileiras, na forma original do método, pois as características das bacias do Brasil, possuem características bastante diferentes das bacias de países da Europa.

Gao *et al.* (2009), em seu estudo para desenvolver um conjunto de indicadores hidrológicos independentes e representativos que pudesse caracterizar melhor as alterações hidrológicas causadas por reservatórios e outras formas de regulação de rios, utilizaram o DHRAM em uma análise juntamente com o IHA e com métricas de ecodéficit, baseado em curvas de duração de vazões. Os autores afirmam que o DHRAM permite que gestores de recursos hídricos definam os riscos que a regulação de reservatórios apresenta para um determinado rio.

Lima (2014) utilizou o DHRAM em sua análise do grau de impacto das alterações hidrológicas decorrente da implantação de barragens a partir de características de

reservatórios hipotéticos, obtendo resultados indicativos de que os impactos causados por barragens são relevantes com classificação de alto risco de impacto ou condição severamente impactada para 75 % dos experimentos, com predominância da classificação de alto risco de impacto para experimentos que consideraram barragens com grande capacidade de armazenamento. Porém, destaca-se que apenas a capacidade de armazenamento não é o único fator que influencia o impacto da alteração hidrológica, mas também o regime do rio e os usos aos quais a água do reservatório se destina. Dentre os fatores, os que tiveram mais efeito sobre as alterações hidrológicas foram o tipo de demanda (se consuntiva ou não) e a vazão remanescente (vazão considerada obrigatória de ser escoada para jusante). Neste estudo, a autora sugere que novos limiares das mudanças hidrológicas usado para atribuição dos pontos de impacto do DHRAM sejam estudados com base em regimes hídricos do Brasil.

Genz & Lessa (2015) em sua avaliação da barragem de Pedra do Cavalo aplicaram a metodologia do DHRAM, com objetivo de investigar a ligação entre as alterações hidrológicas e o modo de operação da barragem em seus 26 anos de existência a partir da classificação de seu impacto. Os autores obtiveram como resultado enquadramento na Classe 5. Para análise, esses autores consideraram dados observados e compararam vazões afluentes e defluentes à barragem no período de 1997 a 2012.

4 ÁREA DE ESTUDO

O estado da Bahia está inserido na Região Hidrográfica Atlântico Leste, na qual estão inseridos, parcial ou integralmente 526 municípios do estado de Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo (BRASIL, 2003).

Dentre as bacias que esta região compreende estão as bacias do rio Itapicuru e Paraguaçu. Elas são consideradas as maiores bacias de rios de domínio estadual, estando atrás apenas da bacia do rio de Contas, além de apresentarem destaca relevância econômica para o estado da Bahia e estarem inseridas em região crítica de gestão de recursos hídricos como o semiárido baiano altamente vulnerável à secas.

A bacia do rio Paraguaçu, ocupa cerca 55.317 km², que corresponde a cerca de 10,14% do território baiano (BAHIA, 1993), onde residem 12,68% da população estadual. Ela abrange 86 municípios (INEMA, 2014b), dentre os quais se destaca Feira de Santana, segunda maior cidade do Estado. A bacia apresenta expressiva atividade econômica, participando com cerca de 10% na formação da riqueza baiana (GENZ *et al.*, 2012). Na parte superior e média, a bacia abrange o eixo de desenvolvimento da Chapada, e na sua parte inferior, o eixo do Grande Recôncavo, sendo assim considerada como importante sistema fluvial de domínio inteiramente estadual, estando localizada na região centro-leste da Bahia. Seu principal afluente é o rio Jacuípe, possuindo como ponto de confluência o reservatório da Barragem de Pedra do Cavalo. As potencialidades hídricas de superfície dessa bacia são variáveis, sendo baixas no seu trecho médio e boas no seu trecho final (a jusante da barragem de Pedra do Cavalo). Muitos dos cursos d'água, do trecho superior e médio da bacia, apresentam vazões de estiagem praticamente nulas (GENZ *et al.*, 2012).

A bacia hidrográfica do Paraguaçu faz limites ao norte com a bacia do rio Itapicuru, a oeste com a do rio São Francisco, ao sul com a do rio das Contas e com a bacia do Recôncavo Sul. A leste faz divisa com a bacia do Recôncavo Norte e com a Baía de Todos os Santos, onde tem a sua desembocadura, apresentando escoamento no sentido geral oeste-leste, possuindo comprimento do rio principal de cerca de 500 km (BAHIA, 1993).

A bacia do Paraguaçu apresenta regiões climáticas diversificadas. As nascentes localizadas na Chapada Diamantina, apresentam clima de montanha, variando de úmido para subúmido – Am, enquanto que, na parte média, o clima dominante é o semiárido - BSh (SILVA, 2012), predominando em 67 % da área da bacia.

A bacia hidrográfica do rio Itapicuru, por sua vez, está situada na região nordeste do estado, ocupando 6,51% da área do estado. A área drenada pela bacia chega a 36.440 km², abrangendo um total de 55 municípios (ANA, 2014), com uma população aproximada de 1,4 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

O rio Itapicuru nasce na Chapada Diamantina, escoando de oeste para leste ao longo dos 350 km de seu leito principal até alcançar o oceano no município de Conde (BAHIA, 1995). O Itapicuru se expande por unidade subúmida a úmida (Am) e semiárida (BSh), sendo que em 81% da área da bacia, o clima é semiárido (INEMA, 2014b). Ao norte próximo da Chapada Diamantina, o clima da bacia hidrográfica varia entre subúmido e seco, com ocorrência de chuvas até 900 mm (INEMA, 2014a).

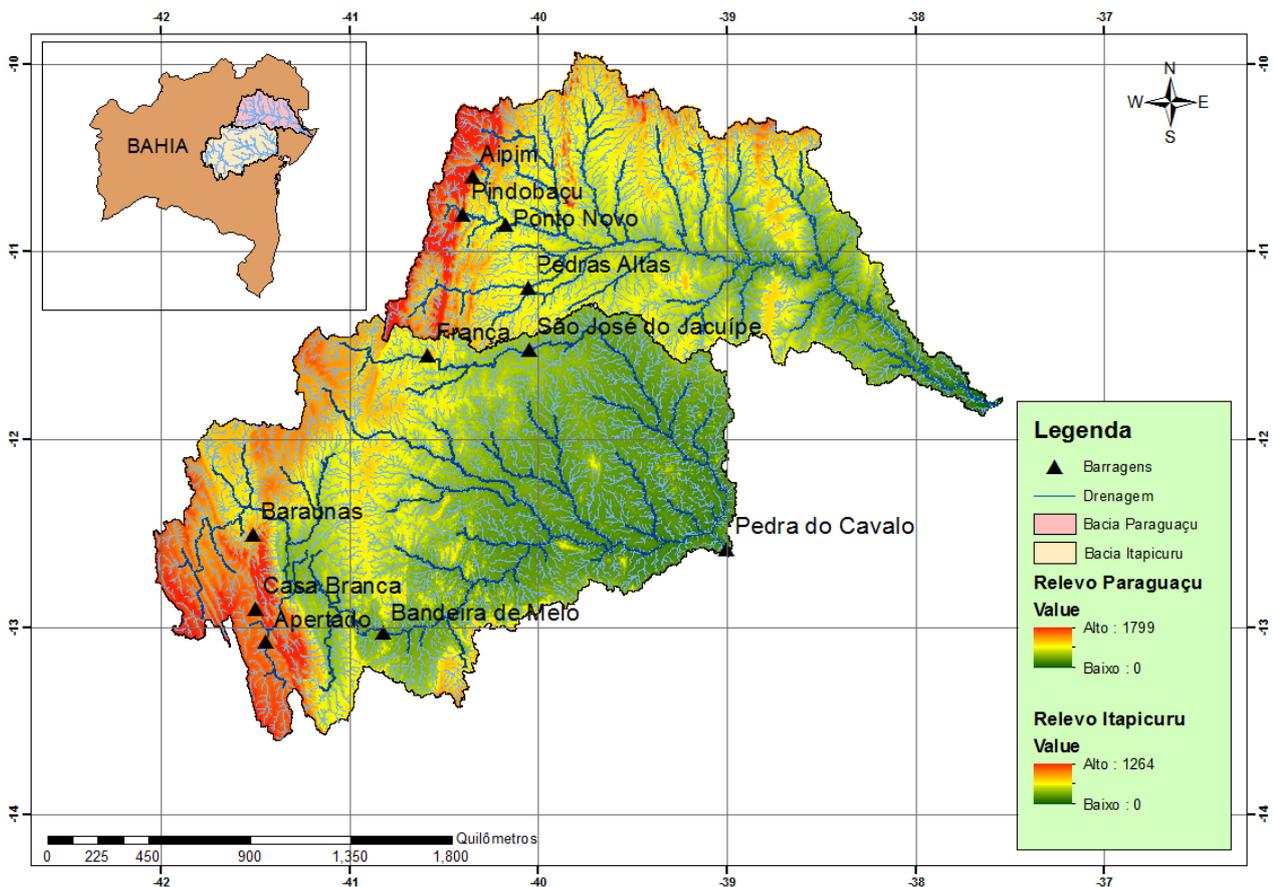
A nascente do rio Itapicuru está localizada, ao norte da cidade de Senhor do Bonfim, onde recebe o nome de Itapicuru-Açu. O corpo d'água conserva esse nome até a confluência com o rio Itapicuru-Mirim, e então se transforma no Itapicuru.

O rio Itapicuru-Mirim nasce em região subúmida sendo bastante importante para recarga do rio principal e para a região que banha, principalmente em épocas em que as temperaturas altas prevalecem (INEMA, 2014a).

Objetivando o desenvolvimento econômico da região e promover a regulação de vazões dos cursos d'água das bacias, assim como promover a disponibilidade de água em épocas de escassez foram implantadas 47 barragens na bacia do rio Itapicuru e 38 na bacia do rio Paraguaçu.

A Figura 13 apresenta o relevo nas bacias hidrográficas do rio Paraguaçu e do rio Itapicuru, bem como é destaca a localização das grandes barragens (para as quais existem informações disponíveis) implantadas nessas bacias incluindo também àquelas que estão previstas (Baraúnas e Casa Branca). Tais barragens estão registradas no inventário do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA, 2014c).

Figura 13 Localização das barragens e relevo das bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu



Fonte: Própria a partir de INEMA (2014c)

Na bacia do Paraguaçu estão implantadas cinco grandes barragens com significativa relevância econômica, sendo elas: Apertado, Bandeira de Melo, França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo. Com exceção de França e São José do Jacuípe que estão localizadas no rio Jacuípe, principal afluente do rio Paraguaçu, todas as outras estão localizadas no rio principal da bacia. Na bacia do rio Itapicuru destacam-se as barragens de Ponto Novo, Pedras Altas, Pindobaçu e Aipim.

As águas do Paraguaçu e de seus afluentes são utilizadas para abastecimento público, industrial e doméstico, geração de energia, dessedentação de animais, navegação, lazer, pesca e como corpo receptor de efluentes. Os usos e ocupações do solo da bacia do rio Paraguaçu são principalmente para agricultura, agropecuária, atividades industriais e turísticas (LUZ & MACEDO, 2010).

Os mananciais da bacia do Itapicuru são utilizados predominantemente para o abastecimento de água e irrigação (BAHIA, 1995)

A barragem de Pedras Altas está localizada no município de Capim Grosso e foi concluída em dezembro de 2002, possuindo como objetivos principais o uso para abastecimento rural e urbano e irrigação. A barragem de Ponto Novo está localizada no município de mesmo nome, onde se estrutura um polo produtivo de importância regional. Sua construção foi concluída em 1999. Os objetivos principais os quais a barragem atende são abastecimento e irrigação. Pindobaçu foi construída em 2005 e seus objetivos principais são também atender ao abastecimento e à irrigação. A barragem de Aipim foi construída em 1996 com a finalidade de atendimento ao abastecimento humano. Essas são as barragens de maior importância para manutenção das atividades econômica presentes na bacia do rio Itapicuru, e também àquelas as quais foram encontrados e disponibilizados dados pelas instituições que as operam e que fazem seu monitoramento (CERB e INEMA).

A barragem Bandeira de Melo que foi construída em 2006, para atender ao abastecimento humano e à irrigação, e está localizada entre os municípios de Itaetê e Boa Vista do Tupim e tem vazão regularizada de 18,83 m³/s. Localizada na região do alto Paraguaçu, a barragem de Apertado, foi construída no ano de 1998 no território do município de Mucugê, a cerca de 12 km da sede. Os objetivos principais do empreendimento foram o abastecimento da água para consumo humano e agricultura (CERB, 2014). A barragem de França fica localizada nos municípios de Piritiba e Miguel Calmon e foi construída em 1996 para suprir demandas de abastecimento humano. São José do Jacuípe, por sua vez, que está localizada entre Jacobina e Mairi, foi construída na década de 80, buscando atender à irrigação, abastecimento humano, piscicultura, pecuária e perenização do rio que lhe dá o nome por uma extensão de 180 km, até a sua confluência com o Paraguaçu. No baixo Paraguaçu está localizada Pedra do Cavalo, entre os municípios de Governador Mangabeira e Cachoeira. Ela foi construída na década de 80, sendo atualmente responsável pelo abastecimento de água para Região Metropolitana de Salvador e controle de enchentes, além de geração de energia e irrigação (CERB, 2014).

Além das cinco barragens citadas, existem outras duas previstas para serem implantadas em afluentes do rio Paraguaçu: Baraúnas e Casa Branca com capacidade máxima de armazenamento de 39 hm³ e 22,37 hm³ respectivamente projetadas para atender as demandas de abastecimento humano e irrigação.

O Quadro 3 apresenta os dados operacionais dos reservatórios das barragens escolhidas para a composição do sistema hídrico estudado.

Quadro 3 Dados físicos e operacionais dos reservatórios

Bacia	Barragem	Altura máxima (m)	Volume acumulado (hm ³)	Vazão regularizada (m ³ /s)	Área de inundação (ha)	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Volumes (hm ³)			FINALIDADE*
							Útil	Normal	Morto	
Itapicuru	Aipim	28,0	2,28	0,255	0,236	24,5	2,28	2,226	0,05	AH
	Pedras Altas	24,2	38,45	1,4	759,6	2.250,0	38,45	36,26	2,18	AH
	Pindobaçu	44,0	16,8	1,89	232,0	605,0	16,8	16,45	0,35	AH; IRR
	Ponto Novo	25,5	38,94	4,7	1.400,0	2.400,0	38,94	34,44	4,5	AH; IRR
Paraguaçu	Apertado	27,2	108,89	8,9	2.632,0	1.166,0	97,79	108,89	11,1	AH; IRR
	Bandeira de Melo	19,1	111,59	18,83	2.087,0	17.074,2	100,83	111,59	10,76	AH; IRR
	Baraúnas	16,5	39,0	1,21	347,0	1.624,0	20,86	23,71	2,85	AH; IRR
	Casa Branca	12,0	22,37	0,81	440,0	139,4	22,37	23,37	1,0	AH; IRR
	França	25,5	24,19	0,39	497,4	2.030,0	22,9	24,2	1,3	AH
	Pedra do Cavalo	125,0	4.630,0	76,0	18.620,0	53.860,0	4.630,0	2.765,0	1.865,0	AH; IRR; GE; CC
	São José de Jacuípe	41,0	357,0	1,9	2.635,0	4.584,0	216,0	224,0	7,5	AH; IRR

Nota: AH - Abastecimento Humano; IRR - Irrigação; GE - Geração de Energia; CC - Controle de Cheias.

Fonte: Adaptado de CERB (2004); CBDB (2004), Medeiros et al. (2004); BAHIA (2008)

As barragens escolhidas que estão localizadas na bacia do rio Itapicuru são todas de soleira livre. Na bacia do rio Paraguaçu as barragens de São José do Jacuípe, Bandeira de Melo e França tem de soleira livre e Pedra do Cavalo apresenta vertedor com comportas.

O caso de Pedra do Cavalo difere dos outros reservatórios. Quanto à sua operação, desde sua implantação, ocorreram dois padrões: a) padrão de operação da EMBASA que foi aplicado até 2004; b) operação da UHE Pedra do Cavalo, iniciada em 2005 pela Votorantin Cimentos Ltda. Assim, de acordo com no período de operação da EMBASA, verificava-se a ocorrência de vazões nulas e pulso de vazão com descargas diárias constantes entre 50 e 60 m³/s durante 5 horas nos períodos de estiagem, enquanto que na operação da UHE a descarga passou a ser de 78 m³/s durante três horas por dia e vazão nula por 21 horas para representar uma vazão média diária de 10 m³/s (Genz, 2006).

O Quadro 4 apresenta as demandas de projeto das barragens selecionadas, de acordo com a disponibilidade de dados, e a vazão regularizada com 90% de garantia também de projeto.

Quadro 4 Demandas de projeto dos reservatórios

BACIA	BARRAGEM	ABASTECIMENTO (m ³ /s)	IRRIGAÇÃO (m ³ /s)	AMBIENTAL (m ³ /s)	INDUSTRIAL (m ³ /s)	TOTAL (m ³ /s)	Q regularizada 90% de garantia (m ³ /s)
ITAPICURU	Aipim	0,27	-	-	-	0,27	sem informação
	Pedras Altas	0,63	0,03	0,28	-	0,94	1,40
	Pindobaçu	0,31	0,15	0,38	-	0,83	1,89
	Ponto Novo	0,40	2,28	0,91	-	3,59	4,70
PARAGUAÇU	Apertado	0,05	7,22	1,78	0,03	9,07	8,90
	Bandeira de Melo	0,02	0,0026	3,77	-	3,79	18,83
	Baraúnas	0,06	0,10	0,04	-	0,20	1,21
	Casa Branca	0,00074	0,81	0,04	-	0,85	0,81
	França	0,19		0,08	-	0,27	0,39
	Pedra do Cavalo	9,20	0,34	15,20	0,12	24,86	76,00
	São José do Jacuípe	0,80	0,14	0,38	-	1,32	1,90

Fonte: Adaptado de Medeiros *et al.* (2004); CERB (2004), BAHIA (2008)

No Quadro 4, alguns espaços estão em branco, que corresponde a usos não previstos para as barragens.

A Tabela 1 traz as vazões médias de longo período das séries de vazões naturalizadas, simuladas (Genz *et al.*, 2012; Fontes, *et al.*, 2014) para as seções definidas pelas barragens estudadas.

Tabela 1 Vazões médias naturalizadas de longo período nas seções fluviais das barragens estudadas

BACIA	SEÇÕES FLUVIAIS	VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO (m ³ /s)	DESVIO PADRÃO
Itapicuru	Aipim	0,58	1,00
	Pedras Altas	2,84	5,16
	Pindobaçu	2,49	5,31
	Ponto Novo	10,25	18,13
Paraguaçu	Apertado	10,13	13,10
	Bandeira de Melo	77,06	101,46
	Baraúnas	3,12	3,63
	Casa Branca	0,83	1,46
	França	3,65	17,32
	São José do Jacuípe	8,80	44,03
	Pedra do Cavalo	117,62	248,99

Fonte: Própria a partir de Genz *et al.* (2012) e Fontes *et al.* (2014)

É possível observar através do Quadro 4 da Tabela 1 que o total das demandas são inferiores às vazões médias de longo termo das seções das barragens e também da vazão regularizada pelas barragens.

5 METODOLOGIA

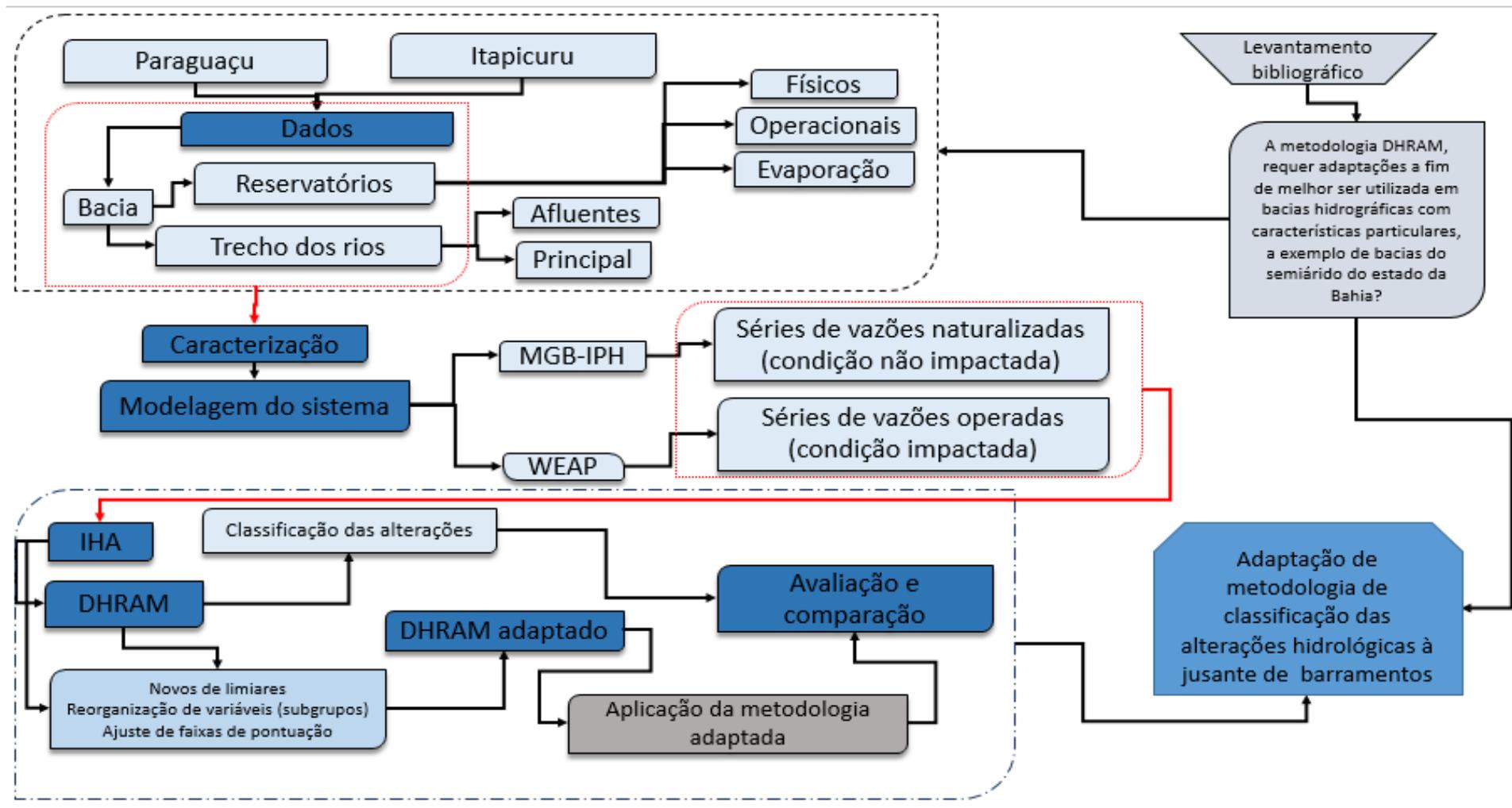
O presente estudo baseou-se em pesquisa descritiva, no sentido de avaliar uma metodologia de classificação de alterações hidrológicas decorrentes de construção de barragens. Para isso, foi necessário identificar as alterações provocadas pela implantação de sistemas de barramentos, em termos dos aspectos do regime de vazões de rios, e promover a classificação das mesmas, após a avaliação e adaptação da metodologia escolhida para ser aplicada.

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi realizada uma pesquisa, baseada em dados secundários, que apresenta 5 etapas:

- Levantamento e tratamento de dados;
- Geração de séries sintéticas de vazões;
- Avaliação das alterações hidrológicas decorrentes da implantação de barragens;
- Avaliação da metodologia de classificação das alterações hidrológicas provocadas pelas barragens, seguida de aplicação da metodologia com adaptação para condições locais;
- Aplicação e avaliação da metodologia com adaptação.

As etapas da metodologia que foi aplicada no presente estudo podem ser observadas na Figura 14.

Figura 14 Esquema das etapas da metodologia adotada



Fonte: Própria

5.1. Obtenção dos Dados Hidroclimáticos

Inicialmente, foram levantadas informações das estações fluviométricas e pluviométricas das bacias hidrográficas, localizadas na região de estudo, registradas no banco de dados da Agência Nacional de Água – ANA, o Hidroweb. Em seguida, foram selecionadas para análise as estações que possuíam séries de dados mais extensas. Destas estações foram obtidas as informações diárias de vazão e precipitação nas bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu.

Foram selecionadas em função dos dados disponíveis 63 estações pluviométricas na bacia do Itapicuru e 25 na bacia do rio Paraguaçu. As estações fluviométricas selecionadas foram 13 no Itapicuru e 18 no Paraguaçu. Os dados das referidas estações são apresentados no Anexo A e no Anexo B.

Em relação às estações fluviométricas, com dados disponíveis, pôde-se notar que os registros de dados ocorrem a partir da década de 30/40 para algumas, mas que a maioria ocorre a partir da década de 60, sendo que algumas apresentam dados recentes, chegando até 2014. Contudo, outras só apresentam dados até 1990.

A partir construção de diagrama de dados para tais estações fluviométricas foi possível identificar a situação da disponibilidade de dados para cada uma delas, evidenciando a grande quantidade de falhas nas séries de vazões. O Apêndice A apresenta os diagramas de dados construídos para as estações das bacias do rio Itapicuru e do rio Paraguaçu.

Os dados físicos e de operação dos reservatórios instalados nos cursos dos rios Itapicuru e Paraguaçu, bem como as demandas de projeto dos mesmos foram obtidos de relatórios da Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia (CERB), cedidos pela instituição por meio de arquivos digitais. Tais dados foram: altura, comprimento, volumes operacionais, níveis do reservatório, área da bacia hidrográfica, área de inundação, capacidade de armazenamento, curva cota-área-volume, demandas e vazão regularizada.

Contudo, parte dos dados referentes às bacias do rio Itapicuru e Paraguaçu, e suas barragens, necessários para a presente pesquisa já foram reunidos em um banco de

dados no âmbito do projeto em rede “Avaliação do impacto hidrológico de grandes barragens no estado da Bahia” – GRANBAR, coordenado pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia UFRB e financiado pela FAPESB - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FONTES *et al.*, 2014). Além dessas informações, ainda foram coletadas informações constantes no Inventário de Barragens do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado da Bahia (INEMA), disponível no website da instituição, e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados do INMET, obtidos no banco de dados online do instituto, foram utilizados para calcular a evaporação nos reservatórios.

As estações climatológicas (Quadro 5) utilizadas foram Cruz das Almas, Itaberaba, Jacobina, Lençóis e Morro do Chapéu. Os dados utilizados para elaboração da série de evaporação foram as normais climatológicas disponíveis a nível mensal, no site do INMET relativas à precipitação mensal, temperatura, umidade relativa do ar e insolação total.

Quadro 5 Estações climatológicas

Código	Localidade	Longitude	Latitude	Barragem
83222	Cruz das Almas	-12,66	-39,08	Pedra do Cavalo
83244	Itaberaba	-40,28	-12,51	Bandeira de Melo
83186	Jacobina	-40,46	-11,18	Aipim, Pindobaçu, Pedras Altas e São José do Jacuípe
83242	Lençóis	-41,38	-12,56	Apertado, Baraúnas e Casa Branca
83184	Morro do Chapéu	-41,21	-11,21	França

Fonte: INMET (2015)

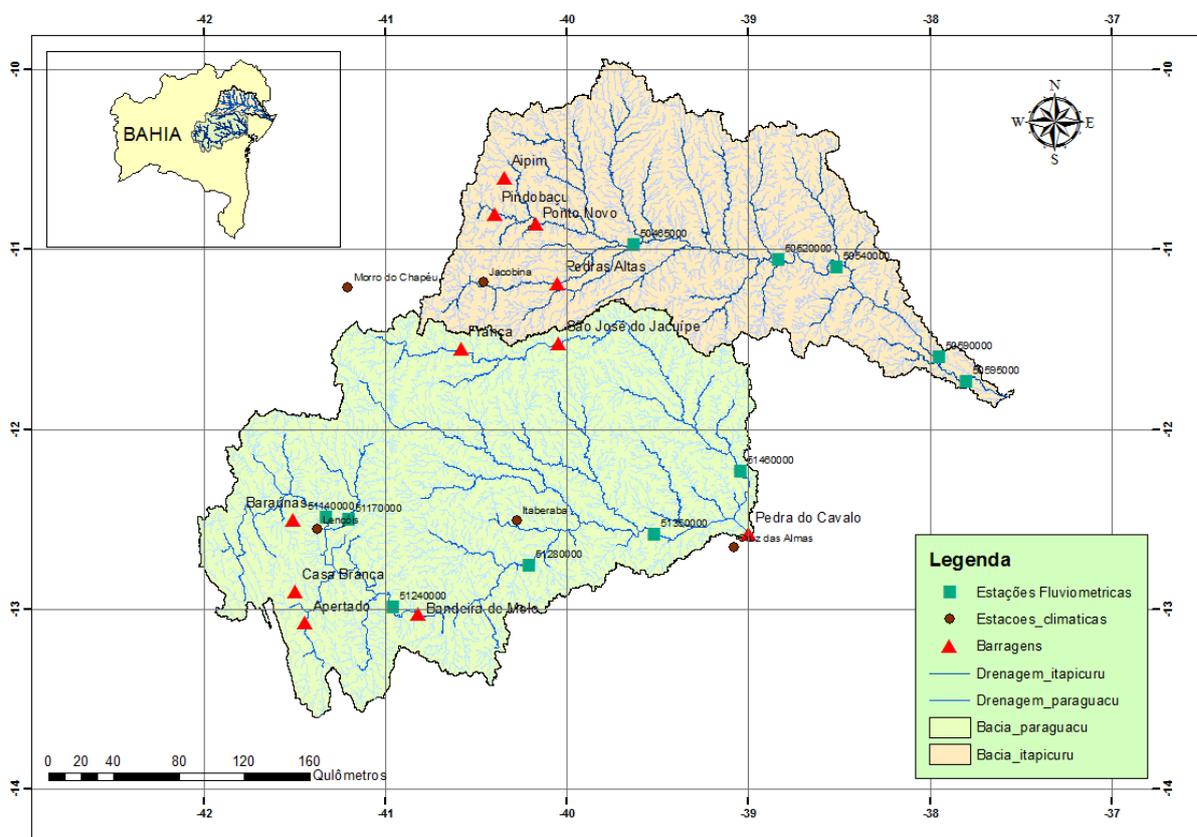
A utilização dessas informações é justificada, uma vez que o período de 1961 a 1990 contempla as séries de vazões naturalizadas com as quais se trabalhou. Assim, as evaporações líquidas diárias necessárias para a simulação do comportamento hídrico dos cursos d’água foram obtidas a partir do calculado das médias mensais desta variável para às estações climatológicas mais próximas de cada reservatório a partir do Método de Penman.

Este é um método que combina balanço de energia radiante (calor latente) e de energia em superfície utilizando dados de radiação líquida, temperatura do ar, velocidade do vento calculadas de acordo com Tucci e Beltrame (2000), e umidade relativa do ar. As tabelas que apresentam o cálculo da evaporação efetiva para as

barragens selecionadas, utilizando a equação de Penman e os dados do INMET, podem ser observados no Apêndice B.

As estações das quais foram utilizadas as normais climatológicas para o calcula da evapotranspiração, assim como as estações fluviométricas disponíveis e que foram utilizadas na etapa de simulação de séries de vazões naturalizadas, podem ser visualizadas na Figura 15.

Figura 15 Localização das estações climatológicas



Fonte: Adaptado de INMET (2015), ANA (2014) e INEMA (2014C)

No projeto “Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia” (GENZ, 2011) e do projeto em rede “Avaliação do impacto hidrológico de grandes barragens do estado da Bahia – GRANBAR” (FONTES *et al.*, 2014) foram feitas análise de consistência e disponibilidade dos dados de vazão disponíveis obtidos para as bacias do rio Itapicuru e Paraguaçu. Assim, nos estudos realizados nos referidos projetos os autores observaram que poucas estações fluviométricas das bacias apresentavam dados consistidos com poucas falhas impossibilitando a realização de avaliações espacialmente detalhadas do comportamento hidrológico das bacias. Diante dessa

situação, no sentido de incrementar as informações existentes a partir do alongamento das séries de vazões foram realizadas no âmbito de tais projetos a simulação de vazões, ditas naturalizadas, para seções fluviais de ambas as bacias.

De posse das séries simuladas por Genz *et al.*, (2012) e Fontes *et al.*, (2014) foi realizada análise da consistência a partir da comparação das vazões calculadas e observadas para as áreas em estudo, de modo a verificar a representatividade da simulação. Frente aos resultados dessa análise, bem como a observação do número de falhas nas séries de vazões disponíveis (realizada utilizando a ferramenta HIDRO 1.2) optou-se por utilizar as séries de vazões naturalizadas simuladas nos projetos citados.

5.2. Obtenção de Dados Físicos e Operacionais das Barragens

Os dados físicos dos barramentos e as informações operacionais de seus reservatórios, como altura, tipo de barramento e cotas do barramento volume armazenado de água, bem como curva cota-área-volume, vazão regularizada e as demandas de projeto (que foram utilizados na modelagem do sistema hídrico) foram obtidos nas fichas de regras operativas cedidas pelo órgão que opera as barragens (CERB, 2004), no Relatório do Projeto Gerenciamento de Recursos Hídricos do Semiárido do Estado da Bahia (Medeiros *et al.*, 2004), no Cadastro de Barragens disponibilizado pelo Comitê Brasileiro de Barragens, e no Relatório Final do Grupo de Trabalho para o planejamento e a execução da transferência da operação e manutenção dos barramentos da Secretaria de Meio Ambiente (BAHIA, 2008).

5.3. Modelagem do Sistema Hídrico

A modelagem de sistemas hídricos permite uma investigação que simula o ambiente real, ao gerar informações e auxiliar na compreensão do comportamento hidrológico de uma bacia. Essa investigação possibilita a previsão de condições diferentes das atuais, assim como o estudo de eventos/cenários futuros.

No presente trabalho a modelagem do sistema hídrico foi realizada devido à necessidade de representar e caracterizar o regime hidrológico das bacias em estudo em duas situações: a condição sem influência de barramentos (não impactado) e a condição considerando os barramentos instalados e em operação, já

refletindo as alterações provocadas no regime hidrológico pela presença dessas estruturas.

Assim, as séries de vazões alteradas, que representaram a condição impactada, foram geradas no presente trabalho utilizando o *Water Evaluation and Planning System* (WEAP21). As séries de vazão naturalizadas (para representar a condição não-impactada), por sua vez, foram obtidas a partir de simulações hidrológicas realizadas no Projeto GRANBAR, para as séries de dados referentes à bacia do rio Itapicuru (FONTES *et al.*, 2014) e no projeto “Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia” para a bacia do rio Paraguaçu (GENZ, 2011).

Os dados, assim obtidos, possibilitaram a avaliação e classificação das alterações hidrológicas ocorridas nos rios analisados. Além disso, os modelos hidrológicos foram utilizados devido às limitações das séries históricas disponíveis, uma vez que as mesmas apresentam, por vezes, falhas e dados insuficientes para realização de avaliação do comportamento hidrológico das áreas de estudo, tornando necessária a utilização das ferramentas citadas para a obtenção de séries de dados mais extensas e homogêneas.

5.3.1. Obtenção de Séries de Vazões Naturalizadas

Para obter as séries de vazões que representassem as condições de referência (sem impacto, não alteradas), Fontes *et al.*, (2014) e Genz *et al.*, (2012) utilizaram o Modelo de Grandes Barragens (MGB-IPH). O MGB-IPH é um modelo matemático chuva-vazão, distribuído, de aplicação para grandes bacias hidrográficas com áreas de drenagem acima de 10 mil km² (COLLISCHONN & TUCCI, 2001). Como as bacias do rio Itapicuru e Paraguaçu apresentam áreas de drenagem superior àquele valor, o referido modelo se adequa aos objetivos das pesquisas, nas quais foram geradas as séries temporais de vazão utilizadas no presente trabalho.

O MGB-IPH simula os processos de balanço de água no solo; a evapotranspiração; escoamentos: superficial, subsuperficial e subterrâneo nas células e o escoamento na rede de drenagem em toda a bacia hidrográfica.

O referido modelo vem sendo utilizado em estudos de grandes bacias hidrográficas do Brasil, tais como as bacias do rio São Francisco (SILVA *et al.*, 2004; RIBEIRO NETO *et al.*, 2009), do rio Solimões (PAIVA, 2009), do rio Madeira (SIQUEIRA

JÚNIOR *et al.*, 2010) e do rio Piracicaba (MELLER *et al.*, 2012). No estado da Bahia, o modelo foi utilizado nas bacias dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande (GENZ *et al.* 2010; GENZ *et al.* 2011) e na bacia do rio Itapicuru (FONTES *et al.*, 2014). Estes estudos obtiveram bons resultados para simulação, conseguindo representar bem as condições hidrológicas das bacias estudadas.

De acordo com Collischonn (2001) a vantagem da utilização do MGB se refere ao fato dele incorporar a variabilidade espacial da precipitação e das características físicas das regiões investigadas, de modo que pode ser utilizado para previsão de vazão em tempo real e de vazão sazonal, estimativa de disponibilidade hídrica quando a área de estudo apresentar escassez de dados e pode também ser aplicado para análise de impactos no regime hidrológico de corpos d'água decorrentes da construção e operação de múltiplos aproveitamentos hidráulicos.

As vazões foram simuladas no modelo MGB-IPH por Fontes *et al.*, (2014) e Genz *et al.*, (2012) com base em séries históricas do período anterior à influência das barragens, sendo considerado o período de 1963 a 1991 para o rio Itapicuru e 1963 a 1990 para o rio Paraguaçu.

Assim, para a caracterização fluviométrica da área de estudo em relação ao período anterior à instalação dos barramentos, foram utilizados 28 anos (Itapicuru) e 27 anos (Paraguaçu) de dados de vazão, das séries obtidas da simulação com o MGB-IPH. É importante ainda destacar que a calibração do modelo foi feita pelos autores observando os postos fluviométricos disponíveis na área das bacias de montante para jusante.

A modelagem para as barragens da bacia do rio Paraguaçu, realizada no âmbito do projeto “Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia”, considerou a área da bacia de 54.131 km². Foram seis sub-bacias definidas a partir das estações fluviométricas selecionadas por Genz *et al.* (2012), de acordo com a extensão da série e qualidade de dados. Cada sub-bacia corresponde à área de drenagem à montante para o seu posto. As estações fluviométricas selecionadas para a modelagem hídrica da bacia do rio Paraguaçu estão apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 Estações fluviométricas utilizadas para modelagem hidrológica do rio Paraguaçu

Código	Nome	Rio	Latitude	Longitude	Seção fluvial
51140000	Porto	Santo Antônio	-12,4911	-41,3289	Baraúnas
51170000	Utinga	Utinga	-12,5008	-41,2058	--
51240000	Itaeté	Paraguaçu	-12,9928	-40,9614	Casa Branca e Apertado
51280000	laçu	Paraguaçu	-12,7622	-40,2136	Bandeira de Melo
51350000	Argoim	Paraguaçu	-12,5856	-39,5222	Pedra do Cavalo
51460000	Ponte Branco	Rio Jacuípe	-12,2331	-39,0461	São José do Jacuípe e França

Fonte: Adaptado de Genz *et al.* (2012).

No Quadro 6 estão evidenciadas as seções fluviais das estações fluviométricas onde foram efetuadas as calibrações do modelo e a partir das quais foram geradas séries de vazões naturalizadas (sem influência das barragens).

As estatísticas utilizadas por Genz *et al.* (2012) para o ajuste da calibração do modelo hidrológico nas sub-bacias do rio Paraguaçu são apresentadas na Tabela 2. Para esse ajuste, foram utilizados o coeficiente de Nash com vazões calculadas e observadas (R²), coeficiente de Nash modificado para logaritmo das vazões (R² Log) e a diferença entre volumes calculados e observados (ΔV). De acordo com Genz *et al.* (2012), R² e R² Log não alcançaram valores expressivos, mas a diferença entre o volume observado e o volume calculado foi satisfatória, com exceção da estação Ponte Rio Branco.

Tabela 2 Estatísticas do ajuste para as bacias hidrográficas do rio Paraguaçu.

	Porto	Utinga	Itaeté	laçu	Argoim	P. Rio Branco
R ² Nash	0,50	0,59	0,64	0,72	0,65	0,26
R ² Log	0,53	0,53	0,65	0,66	0,67	-0,04
ΔV [%]	-2,8	-0,2	-0,8	-4,2	-7,5	-30,4

Fonte: Adaptado de Genz *et al.* (2012).

Em 4 sub-bacias (Itaeté, laçu, Argoim e Ponte Rio Branco), a calibração dos parâmetros foi feita manualmente devido ao maior percentual de área no semiárido, pois o modelo compensou a melhoria nas estatísticas de volumes e vazões de cheia maiores em detrimento das vazões de cheias médias e de base. Para subsidiar a preocupação de preservar a vazão média e as vazões mínimas durante o processo de ajuste do modelo hidrológico, Genz *et al.* (2012) procederam a comparação das curvas de permanência das vazões observadas e as vazões simuladas. Assim

apesar das estatísticas de ajuste para a estação Ponte Rio Branco tenham sido muito ruins, a calibração manual permitiu obter uma curva de permanência que preservasse o regime hidrológico do rio Jacuípe, considerando ainda que os dados de precipitação da sub-bacia correspondente à essa estação são escassos e de baixa qualidade. De acordo os autores, as vazões médias, mínimas e máximas foram preservadas.

Na modelagem realizada por Cruz (2013) para as barragens da bacia do rio Itapicuru, no âmbito do Projeto Granbar, foram selecionadas 3 estações fluviométricas de acordo com a extensão da série e qualidade de dados. Tais estações estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 Estações fluviométricas de interesse para modelagem hidrológica do rio Itapicuru

Código	Nome	Rio	Latitude	Longitude
50465000	Queimadas	Itapicuru	-10,9733	-39,6328
50520000	Ponte Euclides da Cunha	Itapicuru	-11,0603	-38,8372
50540000	Cipó	Itapicuru	-11,0983	-38,5131

Fonte: Fontes *et al.* (2014); Cruz (2013)

A simulação realizada para o alto Itapicuru utilizou a estação de Queimadas para auxiliar na geração de séries de dados de vazão para as seções fluviais definidas por Pedras Altas, Pindobaçu e Ponto Novo.

O período de 1963 a 1991 foi escolhido pelos autores para a simulação, pois segundo eles nesse intervalo de tempo as estações fluviométricas possuem uma série de dados mais extensa e o cenário hidrológico ainda não possuía interferência por grandes barragens.

A calibração das 3 sub-bacias, situadas na parte alta e média da bacia, foi feita de modo manual, obtendo como coeficiente de Nash com vazões calculadas e observadas (R^2) e erro dos volumes totais (diferença relativa entre a soma de todas as vazões), os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Estatísticas do ajuste para as bacias hidrográficas do rio Itapicuru.

	Queimadas	Ponte Euclides da Cunha	Cipó
R^2 Nash	0,562	0,399	0,525
Modelo do erro do volume total ($\Delta V\%$)	0,38	-12,3	-13,25

Fontes *et al.* (2014); Cruz (2013)

A calibração foi considerada satisfatória pelos autores, pois se basearam no intervalo de variação de Nash entre 0,36 a 0,75 que é considerado aceitável de acordo com Collischonn (2001). Em relação ao volume escoado a representatividade foi adequada, com destaque para a sub-bacia de Queimadas. A análise das curvas de permanência realizado por Cruz (2013) confirmou a adequação da calibração, atingindo a inclinação característica da variabilidade natural das vazões do rio Itapicuru, com destaque para as vazões médias que apresentaram melhor ajuste.

5.3.2. Obtenção de Série de Vazões Alteradas

Para obter as séries que representassem as condições alteradas do regime hidrológico dos sistemas em estudo, foi utilizado o *Water Evaluation and Planning System* - WEAP21.

O WEAP21 é uma ferramenta que possibilita uma abordagem integrada para o planejamento dos recursos hídricos. Possui um módulo de otimização e um módulo de simulação, e se configura como uma plataforma de suporte a decisão muito útil no planejamento hídrico, uma vez que simula o que poderá acontecer com o corpo d'água, após o atendimento de demandas. O WEAP21 opera com o princípio básico da contabilidade de balanço hídrico e é aplicável para sub-bacias ou para sistemas fluviais complexos (SEI, 2001).

A estrutura de dados e o nível de detalhe podem ser facilmente personalizados para atender às exigências de uma análise particular, e para refletir os limites impostos por dados restritos. As aplicações do WEAP21 incluem, geralmente, vários passos. A definição da área de estudo, a configuração do intervalo de tempo, definição do limite e dos componentes do sistema, e a configuração do problema. O modelo fornece resultados de demanda de água, cargas de poluição, recursos e suprimentos para o sistema, além de possibilitar a construção de alternativas de cenários futuros baseadas em políticas, custos, desenvolvimento tecnológico e outros fatores que afetam demanda, a poluição, a oferta hídrica. Finalmente, os cenários são avaliados em relação à água disponível, custos e benefícios, a compatibilidade com as metas ambientais, e sensibilidade à incerteza nas variáveis chave.

O modelo WEAP21, segundo Fonseca (2008), realiza a simulação através das mudanças no sistema hidrológico, compreendendo a precipitação sobre a bacia de contribuição, a vazão incremental no rio, o nível de acumulação de água nos reservatórios, as retiradas locais e atendimento as demandas nos rios. O WEAP21 possibilita também o estudo de alocação de água em bacias hidrográficas, de acordo com o sistema e infraestrutura disponíveis, sendo então necessárias informações que caracterizem tal sistema, como vazões máximas, perdas, taxa de evaporação e dados dos reservatórios (curva cota-área-volume).

No Brasil o WEAP21 tem sido utilizado em estudos de disponibilidade, alocação de água e otimização de demandas a partir da avaliação de diversos cenários em diferentes bacias hidrográficas. Dentre essas bacias, estão a do rio Gramame na Paraíba (FONSECA, 2008), a do rio Siriri em Sergipe (ARAÚJO *et al.*, 2009), a do Riacho do Fundo, no Distrito Federal (MONSALVE HERRERA, 2013), e a do rio Paraguaçu na Bahia (RONDON, 2013) e em análise de variação de variáveis de projeto em barragens hipotéticas (LIMA, 2014). Os resultados apresentados nos estudos demonstram que o modelo representa bem às características dos sistemas simulados, bem como os cenários propostos, e se comporta como importante ferramenta para dar suporte à tomada de decisões com respeito à gestão de recursos hídricos e operação de reservatórios.

O WEAP21 foi utilizado para observação do comportamento das bacias hidrográficas frente à existência dos reservatórios e também frente ao atendimento das demandas. Tal modelo foi escolhido, pois ele permitiu a inserção dos dados de vazões, dados físicos das barragens, dados de evaporação e o estabelecimento de regras de operação para obtenção de séries de dados que refletissem o impacto da implantação e operação dos reservatórios frente à exigência de atendimento a uma vazão máxima de demanda.

A modelagem do sistema hídrico para representar a condição alterada das bacias hidrográficas estudadas utilizando WEAP21 foi realizada para cada barragem separadamente para possibilitar análise da interferência de cada uma no regime hidrológico do rio e assim gerar as séries de vazões alteradas. Tais vazões alteradas foram obtidas para o mesmo período considerado para as vazões naturalizadas (1963 a 1990 para seções fluviais da bacia do rio Paraguaçu, e de 1963 a 1991 para as seções fluviais da bacia do rio Itapicuru), já que a não disponibilidade de dados

históricos inviabilizou a comparação de períodos sem impacto e com impacto das barragens.

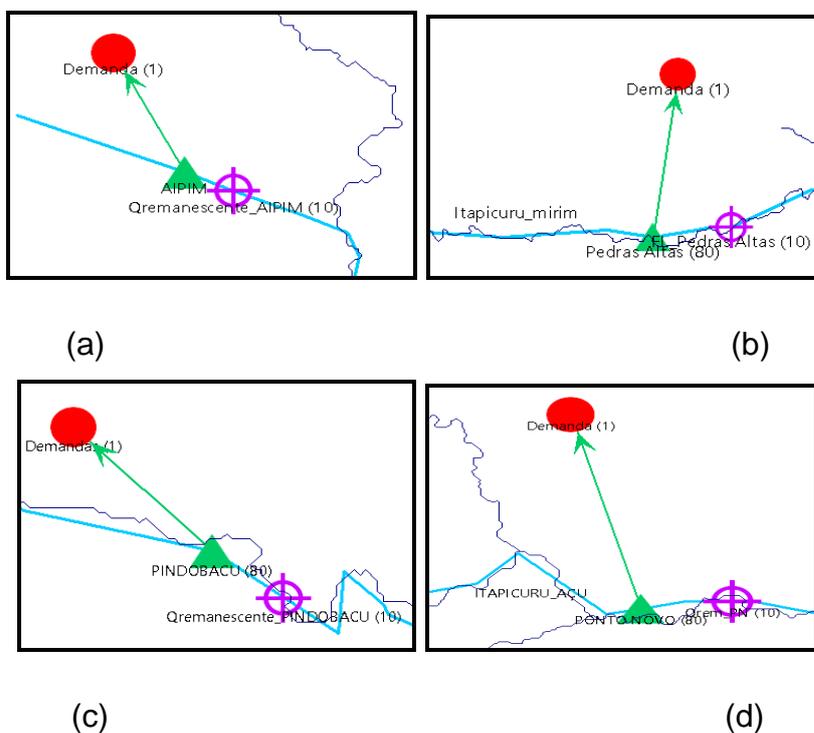
Assim, foram construídas tipologias em mapas esquemáticos para representação da rede de fluxo a ser estudada em cada reservatório, contendo o trecho do rio que é alterado pelos barramentos, seus reservatórios e as principais demandas que devem ser atendidas, dentre elas abastecimento humano, irrigação, abastecimento industrial e vazão remanescente.

A representação da rede de fluxo considerou os seguintes elementos:

- Nós: representam demandas de irrigação, abastecimento e industrial (●)
- Reservatórios: representam os reservatórios em estudo (▲)
- Requerimentos de fluxo: representam as vazões mínimas remanescentes de cada reservatório (⊕)
- Rios: desenhados considerando o esquema de drenagem das bacias (—)

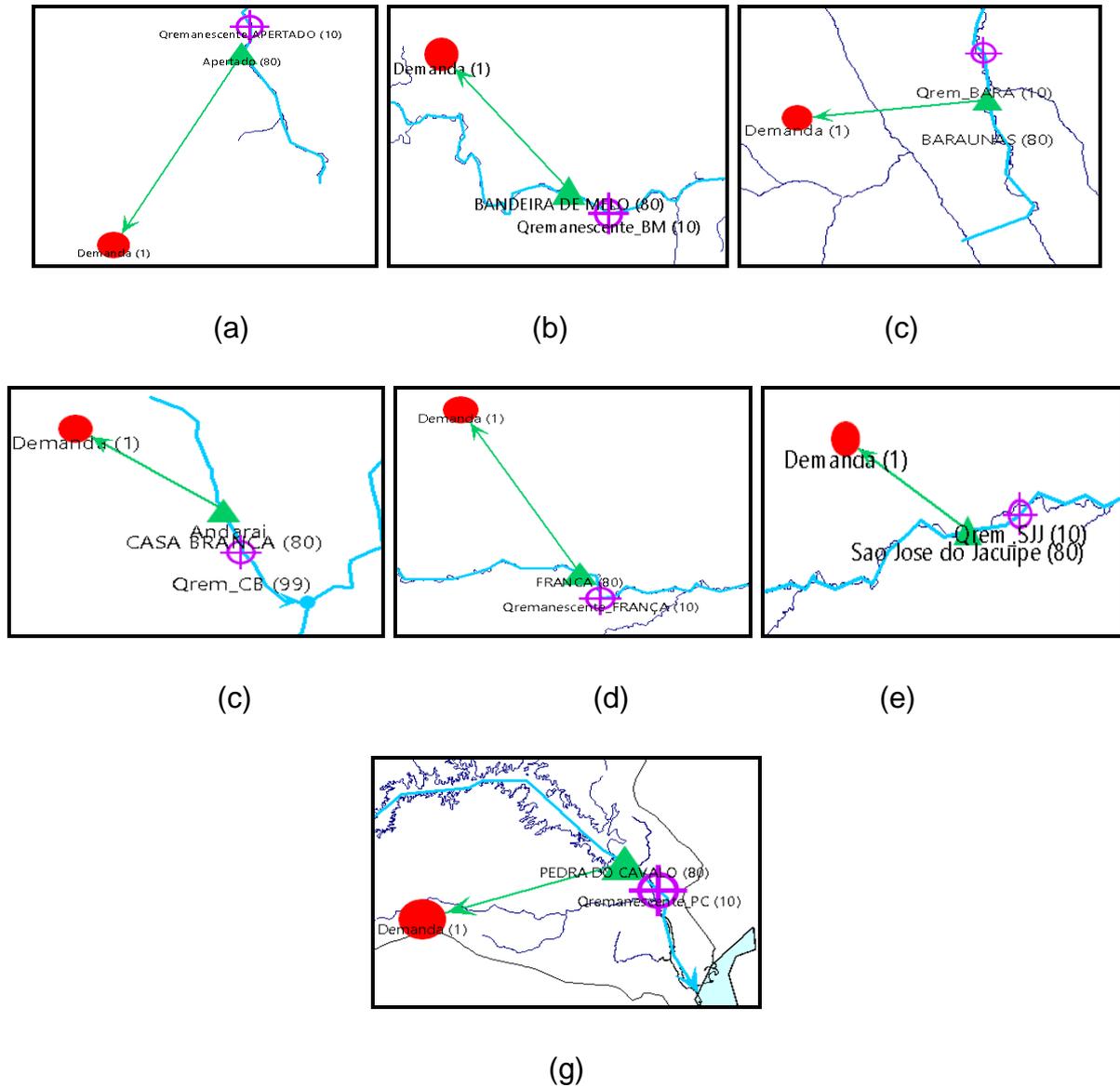
A Figura 16 apresenta a tipologia dos reservatórios da bacia do rio Itapicuru e a Figura 17 traz as informações da bacia do rio Paraguaçu.

Figura 16Tipologias da rede de fluxo das barragens do Itapicuru: (A) Aipim; (b) Pindobaçu; (c) Ponto Novo; (d) Pedras Altas



Fonte: Própria

Figura 17 Tipologias da rede de fluxo das barragens do Paraguaçu: (a) Apertado; (b) Bandeira de Melo; (c) Baraúnas; (d) Casa Branca; (e) França; (f) São José do Jacuípe; (g) Pedra do Cavalo



Fonte: Própria

Após a montagem dos sistemas, foram inseridas as séries de vazões naturalizadas geradas para cada uma das onze seções fluviais, e os dados físicos e operacionais das barragens: capacidade de armazenamento, volume inicial, volume morto, evaporação (calculada), as demandas e as vazões remanescentes. O volume inicial foi considerado como a capacidade de armazenamento, pois estudos como o de Andrade (2006) já indicaram que na simulação de operação de reservatório em rede de fluxo (como no WEAP21) em nível diário, considerar inicialmente o reservatório cheio ou vazio não fará grande diferença nos resultados obtidos.

Devido à dificuldade de encontrar as informações referentes às demandas de alguns reservatórios em estudo, com vistas a uniformizar os dados utilizados no projeto, e considerar o caso extremo de utilização da água das bacias hidrográficas estudadas, optou-se por utilizar na modelagem do sistema hídrico as vazões outorgáveis para cada reservatório para obtenção de séries de vazões regularizadas e representar a condição impactada. Essas demandas foram calculadas utilizando o WEAP21 com base na Instrução Normativa da Superintendência de Recursos Hídricos do estado da Bahia (SRH) Nº 01, de 27 de fevereiro de 2007, que define como somatório das vazões a serem outorgadas como sendo 80% das vazões regularizadas com 90% de garantia para lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes. Dessa forma, foram definidas as vazões regularizadas com 90% de garantia, através de tentativa e erro, utilizando o WEAP21, baseadas nas séries sintéticas utilizadas como dados de entrada, e a partir desse valor foram encontradas as vazões outorgáveis máximas (atendidas pelos reservatórios) e as vazões remanescentes (o complemento das máximas outorgáveis, ou seja, 20% da vazão regularizada com garantia de 90%). Os referidos valores, para cada uma das barragens, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Vazões regularizadas com 90% de garantia, vazões outorgáveis e vazões remanescentes calculadas com WEAP21

BARRAGEM	Vazão regularizada calculada (m ³ /s)	Vazão outorgável (m ³ /s)	Vazão remanescente calculada (m ³ /s)
APERTADO	7,98	6,39	1,59
BANDEIRA DE MELO	34,38	27,50	6,88
BARAÚNAS	2,26	1,80	0,45
CASA BRANCA	0,78	0,62	0,15
FRANÇA	3,36	2,68	0,36
PEDRA DO CAVALO	73,49	58,79	17,59
SÃO JOSÉ DO JACUÍPE	5,90	4,72	1,18
AIPIM	0,25	0,20	0,051
PEDRAS ALTAS	1,97	1,57	0,39
PINDOBAÇU	1,39	1,11	0,28
PONTO NOVO	4,74	3,79	0,95

Fonte: Própria

Para caracterizar a operação realizada nas barragens avaliadas, foram efetuadas modelagens com a configuração de prioridades que considerou prioridades iguais para as vazões outorgáveis (80% das vazões regularizadas com 90% de garantia) e vazão remanescente (20% das vazões regularizadas com 90% de garantia), seguidas pela meta referente ao volume do reservatório.

Uma vez que as vazões outorgáveis máximas representaram na modelagem do sistema hídrico os usos consuntivos e não consuntivos, a configuração de prioridades utilizadas representou a situação em que mais o sistema foi exigido. Posto que as prioridades iguais para demandas e vazão remanescentes leva este sistema ao cenário mais crítico de atendimento, já que o modelo deve utilizar a água disponível para atender o máximo possível das retiradas das vazões outorgáveis ao mesmo tempo que deve reservar água para atender as vazões remanescentes.

Após a montagem do sistema individual das barragens e inserção dos dados de entrada (vazões no curso do rio; vazões incrementais; taxa de evaporação; precipitação, demandas; curva cota-área-volume dos reservatórios; vazões regularizadas; volume máximo, mínimo e morto dos reservatórios e capacidade de regularização dos mesmos), foi realizada a simulação das condições da bacia

depois das interferências representadas pela operação dos reservatórios e assim foram obtidas as séries de vazões alteradas. Essas séries trazem consigo a influência da operação das barragens para o regime hidrológico dos rios Paraguaçu e Itapicuru, porém sem considerar o efeito cascata dos reservatórios, e foram utilizadas nas etapas seguintes da metodologia desta pesquisa.

5.4. Avaliação das Alterações Hidrológicas

Para se caracterizar as alterações hidrológicas sobre as vazões via o confronto das condições de referência e das condições alteradas, foi utilizada a metodologia proposta por Richter et. al. (1996,1999) com o *Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA), pela utilização em diversos estudos no mundo (OLDEN & POFF, 2003; GENZ, 2006; SOUZA, 2009; ROCHA, 2010; MINEA & BARBULESCU, 2014) e também por conseguir representar de modo satisfatório as alterações hidrológicas a partir dos índices.

Os resultados das variáveis do IHA (Quadro 8) são fundamentais para a aplicação da metodologia de classificação subsequente que é o cerne do objetivo geral da presente pesquisa. Essas variáveis são o ponto inicial para a classificação das alterações hidrológicas e para a definição dos limiares, utilizados para atribuição de pontos, que permitem tal classificação.

Para realização da caracterização de tais alterações hidrológicas foi necessário estabelecer uma condição de referência para representar o período sem- impacto (regime não alterado) e a definição da série de dados do período com impacto (regime alterado).

As vazões do período não impactado foram obtidas a partir da geração de séries temporais de vazão naturalizadas, utilizando o MGB-IPH, e as vazões em condições alteradas foram obtidas a partir da aplicação do WEAP21, como foi detalhado no item 5.3.

Assim, o método do IHA foi utilizado para fornecer os resultados de desvios relativo das 66 estatísticas (33 variáveis do Quadro 8 em 2 períodos) para serem utilizados no DHRAM a partir da aplicação em duas situações: 1) para a aplicação da metodologia de classificação na sua forma original, conforme Black *et al.* (2005); 2) para desenvolvimento de adaptação da metodologia, assim como para a

reclassificação das barragens com essa nova forma da metodologia de classificação.

5.4.1. IHA

A aplicação do software IHA é descrita por Richter *et al.* (1996), a partir do cálculo de um conjunto de características hidrológicas seguindo quatro passos:

1. Definição de séries de dados de vazão para o local de estudo (antes e depois do impacto);
2. Cálculo dos valores dos atributos hidrológicos (33 variáveis) com base nas séries de pré e de pós-impacto;
3. Cálculo da estatística interanual (estatísticas de tendência central e de dispersão para as 33 variáveis, totalizando 66 estatísticas);
4. Cálculo dos valores dos indicadores de alteração hidrológica, partindo da comparação das 66 estatísticas (2 estatísticas de 33 variáveis) para períodos pré e pós-impacto, cujos resultados são apresentados como um percentual do desvio dos dados de um período de tempo, ou condição, em relação ao tempo ou condição anterior.

A base científica por trás deste *software* e algumas aplicações práticas do IHA são descritas em Richter *et al.* (1996,1997,1998,1999). Entretanto, algumas definições de variáveis e métodos de cálculo foram modificadas desde essas publicações, como visto no item 3.2.1.

Neste estudo, as análises estatísticas foram restritas aos cálculos das 33 variáveis do IHA, pois são nessas variáveis que a aplicação da metodologia de classificação, o DHRAM, se baseia para estabelecimento de seus limiares. O estudo considerou ainda a comparação de estatísticas de período sem impacto e com impacto. O Quadro 8 traz as variáveis IHA, divididas em seus 5 grupos de classificação, e mostra as características do regime que cada variável representa.

Quadro 8 Resumo das variáveis hidrológicas utilizadas no IHA, e suas características

Grupos de estatística do IHA	Característica do Regime	Variáveis Hidrológicas
Grupo 1: Magnitude das vazões mensais	Distribuição temporal Magnitude	1 - 12. Vazões médias mensais.
Grupo 2: Magnitude e duração das vazões anuais extremas	Magnitude Duração	13. Vazão mínima anual de 1 dia; 14. Vazão máxima anual de 1 dia; 15. Vazão mínima anual de 3 dias; 16. Vazão máxima anual de 3 dias; 17. Vazão mínima anual de 7 dias; 18. Vazão máxima anual de 7 dias; 19. Vazão mínima anual de 30 dias; 20. Vazão máxima anual de 30 dias; 21. Vazão mínima anual de 90 dias; 22. Vazão máxima anual de 90 dias; 23. Número de dias de vazão nula; 24. Vazão mínima de 7 dias dividido pela vazão média anual.
Grupo 3: Ocorrência das vazões anuais extremas	Tempo/Periodicidade	25. Dia juliano de ocorrência do valor máximo anual de 1 dia; 26. Dia juliano de ocorrência do valor mínimo anual de 1 dia.
Grupo 4: Frequência e duração de pulsos de vazões altas e baixas	Magnitude Frequência Duração	27. Número de pulsos elevados/ eventos de cheias por ano; 28. Número de pulsos baixos/ eventos de seca por ano; 29. Duração médias dos eventos de cheia anual; 30. Duração média dos eventos de seca anual.
Grupo 5: Taxas e frequência das mudanças nas vazões	Frequência Taxas de mudança	31. Média de todas as diferenças positivas de dias consecutivos; 32. Médias de todas das diferenças negativas de dias consecutivos; 33. Número de reversões.

Fonte: Richter (1999) (tradução pela autora)

Segundo *The Nature Conservancy* (TNC, 2009), o IHA tem muitas opções que podem ser utilizadas para controlar o modo com que as variáveis são calculadas. A primeira decisão a ser tomada diz respeito a se a análise compreenderá a comparação de dois períodos distintos ou se trata de caracterizar a série de um único período. Para o caso de estudos a respeito de alteração brusca no sistema hidrológico como a construção de uma barragem, o IHA é utilizado para analisar como o regime de escoamento foi afetado, a partir da análise das variáveis em condição não impactada e em condição impactada.

As variáveis do IHA podem ser calculadas utilizando estatísticas paramétricas ou não paramétricas.

Inicialmente o IHA foi aplicado considerando análise paramétrica para que seus resultados fossem utilizados na classificação do grau de impacto das barragens utilizando a metodologia original.

Para a adaptação da metodologia proposta, procedeu-se a aplicação do IHA utilizando a análise não paramétrica, uma vez que as séries de vazões utilizadas não apresentam distribuição Normal, o que foi confirmado pelo teste de normalidade utilizando o método de *Kolmogorov-Smirnov*.

Dessa forma foram utilizados os percentis 25% e 75 % para definição dos limites de identificação das vazões baixas, médias e altas.

5.4.1.1. Avaliação da variabilidade das séries de vazões naturalizadas (sem impacto de barragem)

A fim de proporcionar uma análise da variabilidade já contida nas próprias séries naturalizadas utilizadas, cada uma destas foi dividida em duas partes, ou diferentes períodos de tempo, para fins de comparação (via o IHA). A análise da variabilidade natural a partir de séries de vazões naturalizadas se deu devido, principalmente, à grande quantidade de falhas nas séries de vazões observadas.

O primeiro período estabelecido para as séries naturalizadas do rio Itapicuru abrange de 1963 a 1976 e o segundo contempla os anos de 1977 a 1991. Para as séries das seções fluviais do rio Paraguaçu o primeiro período foi de 1964 a 1976 e o segundo de 1977 a 1990. A Figura 18 ilustra a divisão realizada para a comparação via IHA.

Figura 18 Períodos para comparação das séries naturalizadas via IHA



Fonte: Própria

Os períodos de análise, por convenção do IHA, foram tratados como período pré-alteração (primeiro período) e período pós-alteração (segundo período), embora não

esteja sendo considerada alteração antrópica, propriamente dita, ou o ano de implantação de barramentos, mas sim a comparação das séries de vazões naturalizadas divididas ao meio.

Os resultados para os 5 grupos de variáveis do IHA considerados, os quais podem ser chamados de índices, foram apresentados utilizando diagramas semelhantes a boxplot para realizar uma análise exploratória e melhor representação das medianas e dos valores máximos e mínimos. Os percentis 25% e 75%, que caracterizam as estatísticas relevantes na análise não-paramétrica, foram então utilizados para determinar os limites de identificação dos valores de vazões baixas e altas.

Essa análise permitiu observar as características das séries sintéticas em relação às variáveis do IHA sem a presença de barramentos evidenciando variabilidades intrínsecas à essas séries naturalizadas.

5.4.1.2. Avaliação das Alterações Hidrológicas

Após a obtenção das séries de vazões regularizadas (impactadas), a partir da modelagem do sistema hídrico para as seções das barragens consideradas no estudo procedeu-se então a avaliação das alterações hidrológicas decorrentes de sua implantação.

Essa avaliação foi embasada na comparação da condição de referência, definida pelas séries de vazões naturalizadas, com a condição impactada, definida pelas séries de vazões regularizadas. As vazões regularizadas se referem ao mesmo período que as vazões naturalizadas. Assim, para possibilitar comparação as referidas vazões foram inseridas em um mesmo arquivo, obtendo assim uma série única, na qual o primeiro período corresponde à condição sem impacto e o segundo período à condição impactada. Em seguida os arquivos foram inseridos no IHA para cálculo das 33 variáveis. A análise utilizada foi a não paramétrica.

Dessa forma, nesta aplicação a condição não impactada para as seções fluviais da bacia do rio Itapicuru abrange o período de 1963 a 1991, e a condição impactada o mesmo período. Para as barragens da bacia do rio Paraguaçu o período das séries foi de 1963 a 1990. A comparação realizada pelo IHA então contempla o mesmo período de dados para ambas as condições consideradas, de modo as séries de

vazões naturalizadas são confrontadas com as séries de vazões regularizadas (impactadas), como mostra o esquema da Figura 19.

Figura 19 Esquema da comparação das séries de vazões naturalizadas x séries vazões regularizadas via IHA



Fonte: Própria

Os resultados para os 5 grupos de variáveis do IHA também foram apresentados utilizando o diagrama semelhante ao boxplot para realizar uma análise exploratória e melhor representação das medianas e dos valores máximos e mínimos.

5.5. Classificação de Alterações Hidrológicas

Para subsidiar a adaptação da metodologia de classificação de alterações hidrológicas decorrentes da implantação de barramentos, inicialmente foi necessária a aplicação da metodologia original para analisar quais as fragilidades da mesma em relação à realidade de corpos d'água da região estudada.

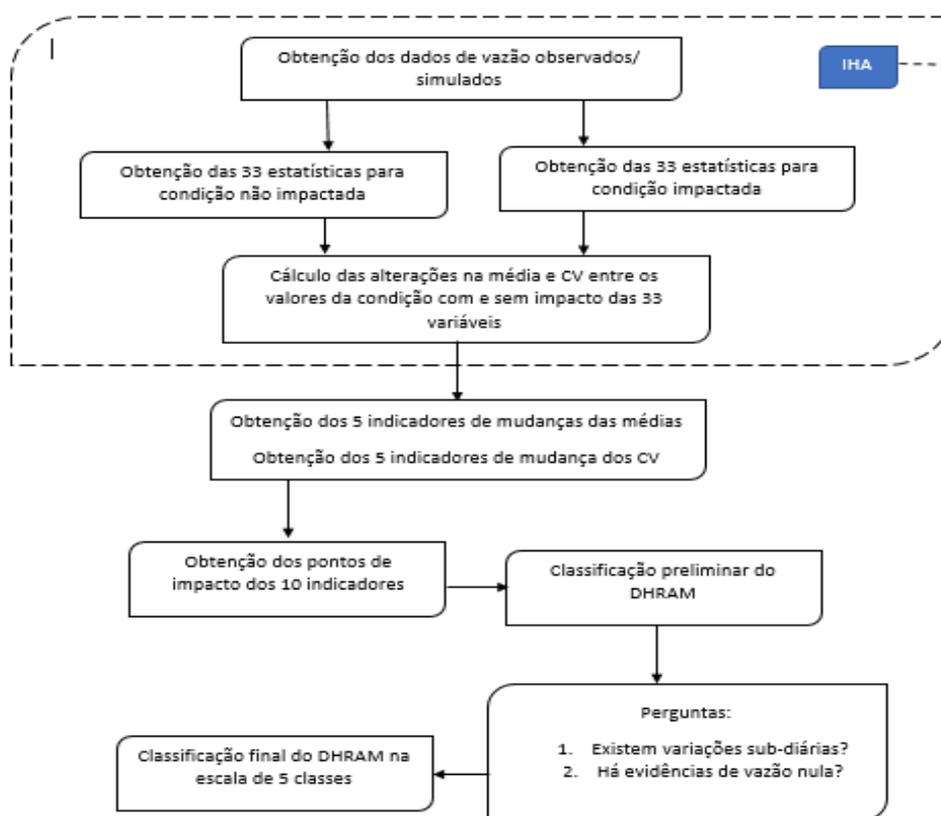
Após a aplicação da metodologia na sua forma original para os rios Itapicuru e Paraguaçu, foi realizada adaptação a condições locais, via a definição de novos limiares de classificação para o método e reagrupamento das variáveis indicadoras. Definidos os novos limiares e demais ajustes, a metodologia adaptada foi também aplicada. Essas etapas são descritas nos itens a seguir.

5.5.1. Aplicação da Metodologia de Classificação de Alterações Hidrológicas

O método escolhido para classificação das alterações hidrológicas decorrentes de barragens foi o *Dundee Hydrological Regime Alteration Method* (DHRAM), proposto por Black *et. al.* (2000).

Os autores montaram um fluxograma com o esquema da aplicação do DHRAM como pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 Esquema de aplicação do DHRAM



Fonte: Adaptado de Black *et al.* (2000)

A aplicação do modelo DHRAM baseia-se no cálculo de parâmetros estatísticos a partir dos dados de vazão. Os parâmetros são divididos em cinco grupos diferentes (grupos do IHA). Em cada grupo, os valores médios (identificados de 1a-5a) e coeficientes de variação (CV, identificados de 1b-5b) dos dados são utilizados como indicadores. O coeficiente de variação fornecido pelo IHA para aplicação considerando análise paramétrica é definido pela divisão do desvio padrão pela média da série de cada período (THE NATURE CONSERVANCY, 2009).

Assim, há um total de dez indicadores sintetizados utilizados na comparação entre as situações de vazões não impactadas e impactadas. As alterações são calculadas como variações relativas (%).

Os valores que servirão de alicerce para a definição dos indicadores citados e para o cálculo das médias e do CV para cada grupo são os resultados das 66 variáveis (pré

e pós-impacto para cada cenário) fornecidos pelo processamento do IHA em formato de planilha.

O cálculo de mudança e percentual de variação absoluta é feito com a aplicação da Equação 2.

$$PM = \frac{\bar{X}_{pós} - \bar{X}_{pré}}{\bar{X}_{pré}} \times (100) \quad (2)$$

Onde, PM: é o percentual de mudança; $\bar{X}_{pós}$: são os valores das médias e coeficientes de variação do período pós- impacto (aqui considerados como com - impacto); $\bar{X}_{pré}$: são os valores das médias e coeficientes de variação do período pré- impacto (aqui considerados como sem-impacto).

Após o cálculo dos valores médios de cada grupo do IHA, são definidos os pontos de impacto. Tais pontos variam de 0 a 3 e são definidos de acordo com o resultado encontrado para o percentual de cada média e CV dos cinco grupos trabalhados. Esses pontos são obtidos através do posicionamento dos valores dos percentuais de mudanças das médias e dos CVs entre os limiares de mudanças hidrológicas sugeridos por Black *et al.* (2000), para a Escócia e Irlanda do Norte, os quais são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 Limiares das mudanças hidrológicas utilizadas para alocação dos pontos de impacto

Variáveis IHA	Indicadores Sintetizados	Percentual de mudança na pontuação do grupo IHA		
		Limiar Inferior	Limiar Intermediário	Limiar Superior
1. Magnitude das vazões médias mensais	1a	19.9	43.7	67.5
	1b	29.4	97.6	165.7
2. Magnitude da duração das vazões anuais extremas	2a	42.9	88.2	133.4
	2b	84.5	122.7	160.8
3. Tempo de ocorrência das vazões anuais extremas	3a	7	21.2	35.5
	3b	33.4	50.3	67.3
4. Frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas	4a	36.4	65.1	93.8
	4b	30.5	76.1	121.6
5. Taxa de frequência de mudança do hidrogramas	5a	46	82.7	119.4
	5b	49.1	79.9	110.6

Fonte: Adaptado de Black et al. (2005)

O Quadro 10 traz os pontos de impacto que são atribuídos aos grupos de variáveis de acordo com o posicionamento dos percentuais de mudanças em relação aos limiares apresentados no Quadro 9.

Quadro 10 Pontos de impacto relacionados aos percentuais de mudança e posição em relação aos limiares

Pontos de impacto	Percentuais de mudanças
0	< limiar inferior
1	≥ limiar inferior e < limiar intermediário
2	≥ limiar intermediário e < limiar superior
3	≥ limiar superior

Fonte: Adaptado de Black *et al.* (2005)

Assim, a soma dos pontos obtidos para os dez indicadores de síntese do IHA definem a pontuação total do impacto. O Quadro 11 mostra como esses valores totais serão então utilizados, para determinar a classe de gravidade do impacto. A pontuação máxima teórica do método é 30 pontos.

Quadro 11 Classificação das alterações hidrológicas

Classe	Faixa de pontuação	Descrição
1	0	Nenhuma alteração (condição não impactada)
2	1 a 4	Baixo grau de impacto
3	5 a 10	Moderado grau de impacto
4	11 a 20	Alto grau de impacto
5	21 a 30	Condição severamente impactada

Fonte: Adaptado de Black *et al.* (2000)

Assim, a partir da aplicação da metodologia do DHRAM aqui descrita, foram obtidos valores de referência de média e coeficiente de variação para cada grupo de variáveis do IHA. Em seguida, foram calculadas as médias de mudança tanto para a média quanto para o coeficiente de variação destes grupos, com o posterior posicionamento dos valores encontrados em relação os limiares definidos pelo DHRAM. Depois de contabilizados os pontos para cada grupo, eles foram somados para obter um único valor e este foi utilizado para classificação preliminar. Após essa etapa foram respondidas duas perguntas:

- a) As variações subdiárias causadas pelas atividades humanas excedem 25% das vazões com 95% de permanência das vazões não impactadas?
- b) Os impactos antropogênicos causam vazão nula?

Para cada resposta positiva, foi acrescentada mais uma classe ao resultado da classificação preliminar e então foi obtida a classificação final.

5.5.2. Aplicação de Metodologia de Classificação de Alterações Hidrológicas com ajuste

O ajuste da metodologia proposta considerou inicialmente a definição de novos limiares que representem melhor as características dos rios de regiões das bacias hidrográficas estudadas, utilizando os dados de vazão dos mesmos. Também foi realizada uma reorganização das variáveis do IHA (originalmente distribuídas em 5 grupos) em subgrupos, utilizadas para auxiliar na atribuição de pontos de impacto das barragens.

5.5.2.1. Reorganização de variáveis

A reorganização das variáveis dos 5 grupos do IHA foi motivada pelo fato de haverem variáveis com significados diferentes dentro do mesmo grupo, e por seus resultados na metodologia do DHRAM original serem sintetizados em um único valor para proceder a atribuição dos pontos de impacto para as barragens.

Para fundamentar essa reorganização, foram realizados testes estatísticos, com análise não paramétrica.

Nos testes as variáveis foram analisadas partindo dos agrupamentos já estabelecidos pelo IHA, para inferir semelhança entre as mesmas.

Assim, foram aplicados o Teste de Friedman para grupos com 3 ou mais variáveis e o Teste de Wilcoxon para grupos com duas variáveis. Os testes foram realizados com o auxílio do pacote estatístico *IBM SPSS Statistics 19*.

O teste de Friedman é o teste não-paramétrico utilizado para comparar dados amostrais vinculados, ou seja, quando o mesmo indivíduo é avaliado mais de uma vez. O teste de Friedman não utiliza os dados numéricos diretamente, mas sim os postos ocupados por eles após a ordenação feita para cada grupo separadamente. Após a ordenação é testada a hipótese de igualdade da soma dos postos de cada grupo (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

O teste de Wilcoxon é utilizado para pesquisar o comportamento dos dados, de modo que se possa dizer qual membro do par é maior, e determinar o sentido da diferença dentro do par; e ordenar estas diferenças no sentido de seu valor absoluto. No teste aos dados são atribuídos postos independentes do sinal, e após o posicionamento é atribuído o sinal da diferença. Então, se as duas classificações são equivalentes, é de se esperar que algumas das maiores diferenças sejam positivas e outras negativas. Desta forma, se forem somados os postos com sinal positivo e os postos com sinal negativo, deve-se esperar somas aproximadamente iguais. Se houver diferença entre estas duas somas é sinal de que as duas classificações (ou tratamentos) não se equivalem e deve-se então rejeitar a hipótese nula, e considerar as variáveis como diferentes (SIEGEL & CASTELLAN, 2006)

Então, as variáveis foram separadas de acordo com o resultado dos ranks e percentis fornecidos pelos testes, e a significância observada (maior ou menor do que 0,05). Quando as variáveis apresentavam valores muito diferentes de percentis, ranking e significância menor do que 0,05 se considerava que a hipótese de elas serem semelhantes às demais pertencentes ao grupo não era válida. Para os grupos com mais de 3 variáveis, quando tal hipótese não foi confirmada, as variáveis que se mostraram diferentes foram agrupadas separadamente e um novo teste foi realizado. Quando o teste para o novo agrupamento indicava uma significância superior a 0,05, era então formado um subgrupo para o grupo inicialmente considerado.

Para comparação de duas variáveis, quando o teste apontava desigualdade elas eram separadas e passaram a formar cada uma um novo agrupamento, denominado subgrupo do grupo inicial do IHA.

5.5.2.2. Definição de novos limiares

A metodologia apresentada por Black *et al.* (2005) para o DRHAM baseou-se em características de rios da Escócia e da Irlanda do Norte, de modo que os limiares definidos carregam a tendência dessas bacias.

Os autores da metodologia escolheram 20 bacias consideradas não impactadas distribuídas e 11 impactadas por ações antrópicas (barragens, captação para indústrias e agricultura, piscicultura e descargas de efluentes) para obtenção de

séries históricas de vazão para representarem a condição de referência (sem impacto) e para condição alterada (com impacto). Esses dados das bacias foram então inseridos no IHA para calcular as 33 variáveis dentro de suas 5 categorias. Eles descreveram 4 limiares: 1 referência superior, 2 limiares intermediários (limiar intermediário inferior e limiar intermediário superior), 1 limiar/referência inferior. Os autores definiram como valores para a referência inferior o maior erro do modelo hidrológico, utilizado para gerar os dados de vazão sintéticos das 20 bacias naturais, e a superior como a maior alteração observada dentre as 11 bacias impactadas. Os limiares intermediários foram obtidos a partir do cálculo da diferença entre a referência inferior e superior dividida por três. O valor resultante desse cálculo caracterizou o intervalo entre os limiares, de modo que o segundo limiar intermediário passa a ser chamado de limiar superior.

Para realizar o ajuste da metodologia DRHAM utilizando dados locais, optou-se por efetuar um procedimento que caracterize melhor as condições das regiões estudadas. Os limiares inferiores, diferente da metodologia original, aqui foram definidos considerando a alteração da variabilidade natural a partir do confronto das séries de vazões naturalizadas com elas mesmas, de modo que um valor de indicador abaixo do valor de limiar obtido a partir dessa abordagem não representará uma alteração decorrente de ações antrópicas. Para as referências superiores, apesar de Black *et al.*, (2005) assumirem a maior alteração dentre as 11 barragens avaliadas, no presente trabalho foi utilizado a média das alterações encontradas para que os limiares não apresentassem uma tendência nem para menor nem para maior restrição.

Das onze seções fluviais/barragens avaliadas, foram selecionadas 8 para que seus dados de vazão auxiliassem nessa definição. As seções selecionadas foram: Aipim, Pindobaçu, Ponto Novo, Apertado, Baraúnas, Casa Branca, França e Pedra do Cavalo.

Desse modo, utilizou-se os valores obtidos com o IHA (aplicado a opção não paramétrica) referente a medianas e coeficiente de dispersão dos resultados das variáveis para as 5 categorias, e os valores de percentual de mudança (ou fatores de desvio) de cada uma das variáveis. Com a posse desses dados, foram então calculadas as médias e desvios padrões das medianas e dos coeficientes de dispersão. Os coeficienteS de dispersão são calculados na abordagem

nãoparamétrica pelo IHA a partir da diferença entre o percentil 75% e o percentil 25%, dividida pelo percentil 50% (THE NATURE CONSERVANCY, 2009). Os valores de média e de coeficiente de dispersão foram obtidos para as variáveis das 5 categorias calculados para as 8 seções fluviais. Os valores resultantes da soma das médias e do desvio padrão para cada um dos grupos das seções selecionadas consistiram nos novos limiares para cada grupo.

A partir da aplicação do IHA utilizando as séries de vazões naturalizadas geradas para as seções das 8 barragens selecionadas foram obtidos os limiares inferiores.

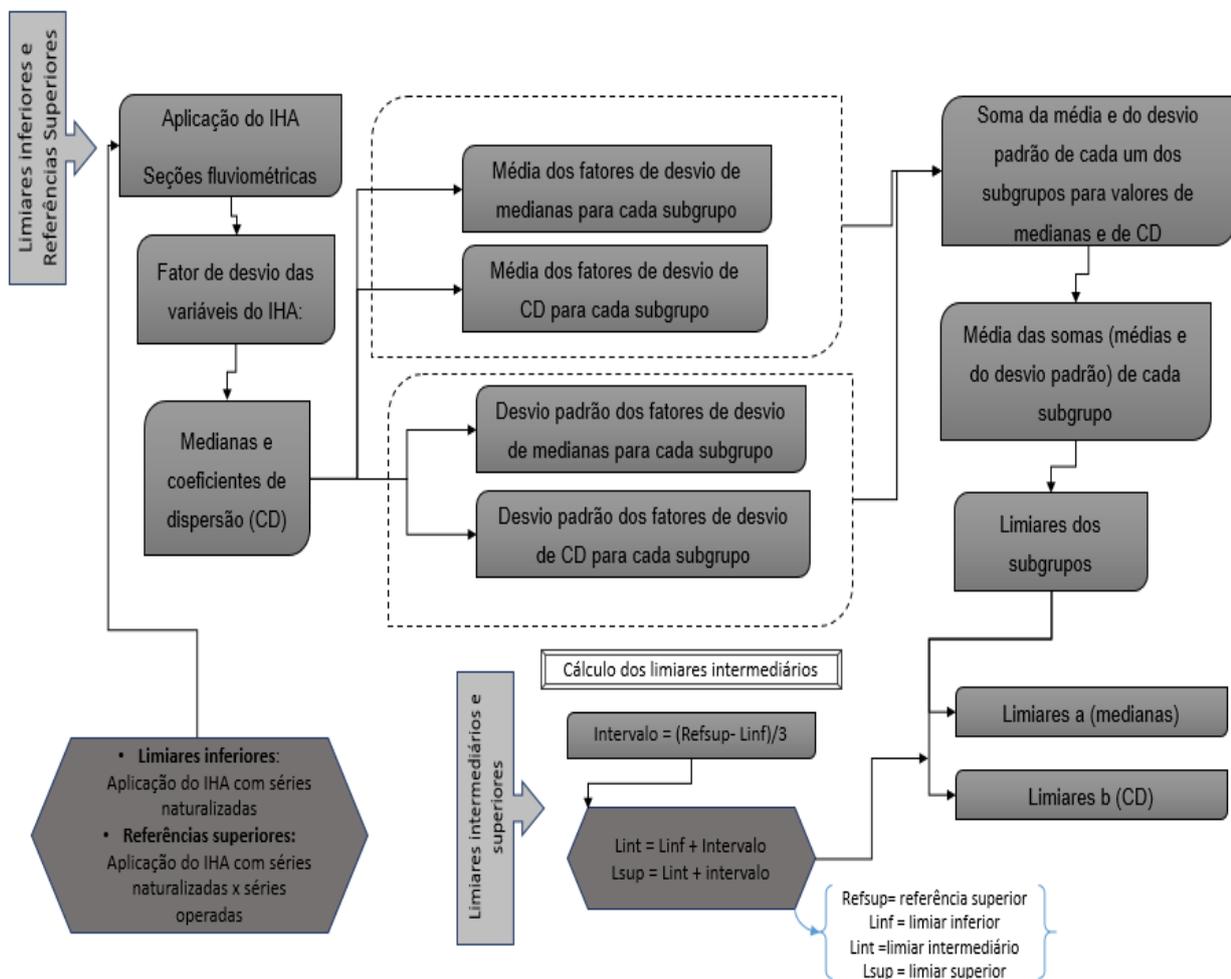
Para a referência superior, descrita pelos autores como essencial para o estabelecimento dos limiares intermediários, foi efetuado o mesmo procedimento da obtenção dos limiares inferiores, entretanto foram utilizados os resultados do IHA derivados da comparação entre a condição não impactada e a condição impactada, ou seja, o confronto das séries de vazões naturalizadas e regularizadas.

Os limiares intermediários, por sua vez foram definidos utilizando a distância entre o limiar inferior e a referência superior dividida por três. Esse resultado consistiu no intervalo entre os limiares.

Assim, para cada um dos 12 subgrupos (associados aos 5 grupos originais) foi estabelecido um valor de limiar referente à medida de tendência central (identificado com a letra a) e outro referente à medida de dispersão (identificado com a letra b), resultado da soma da média e do desvio padrão das medianas e coeficientes de dispersão das variáveis dos 5 grupos. Em outras palavras o limiar 1a é o resultado da soma da média e do desvio padrão dos valores de mediana do Grupo 1, enquanto o limiar 1b é o resultado da mesma soma obtidos para aos valores de coeficiente de dispersão do mesmo grupo. O mesmo ocorreu para os demais grupos.

A Figura 21 apresenta o esquema da adaptação da metodologia de classificação de alterações hidrológicas em rios de semiárido decorrentes de barragens, no que se refere a limiares e reorganização das variáveis.

Figura 21 Esquema do ajuste da metodologia de classificação – limiares e reorganização de variáveis



Fonte: Própria

O procedimento realizado para a definição de novos limiares, reorganizados nos subgrupos, é apresentado com mais detalhes no Apêndice D.

5.5.2.3. Aplicação da metodologia de classificação com ajuste

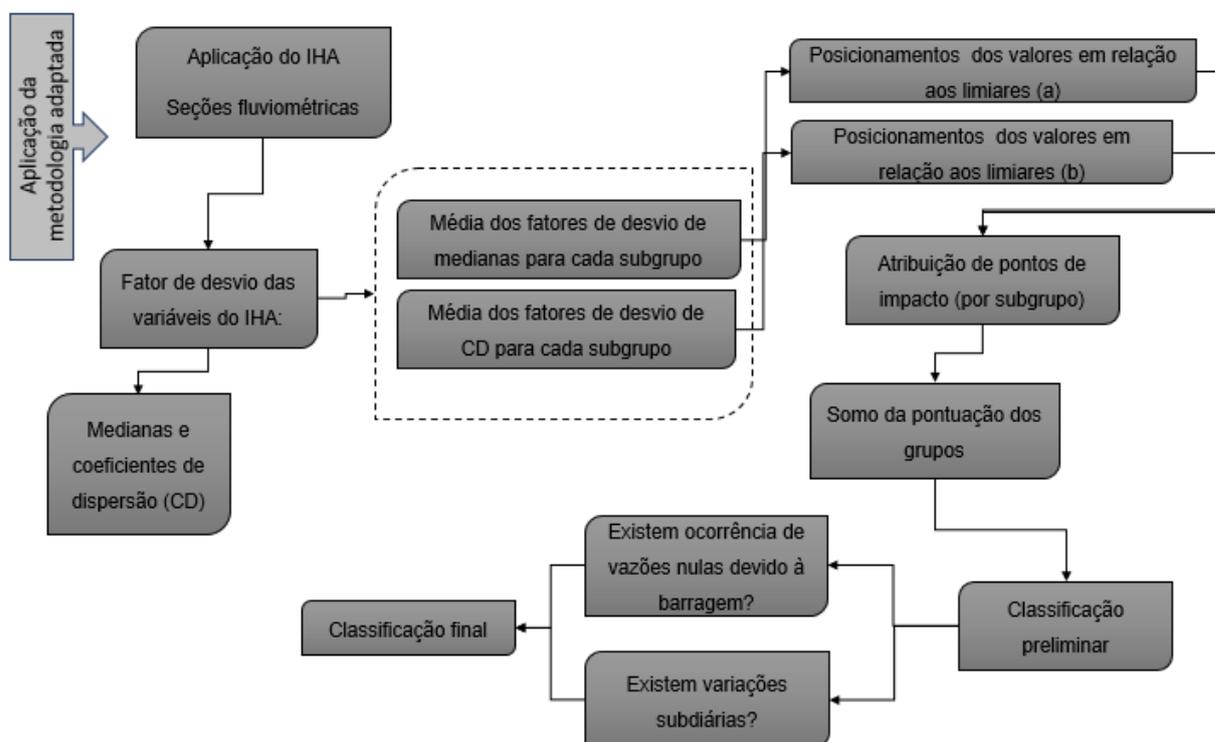
Para aplicação da metodologia de classificação com ajuste levando em consideração dados locais, foram utilizados os resultados do IHA das 8 seções utilizadas para definição dos novos limiares, e também as três seções fluviais que foram separadas para serem utilizadas apenas na aplicação da metodologia DHRAM com ajuste. Essa separação ocorreu na tentativa de avaliar a os limiares obtidos e avaliar a capacidade de representar as três seções fluviais que foram separadas.

As barragens selecionadas foram aquelas para as quais existiam dados medidos disponíveis de montante e jusante, que permitissem aplicação da metodologia DHRAM com adaptação para um período de dados diferente daquele que foi utilizado para a obtenção dos resultados do IHA, e que foram também objeto de estudo em pesquisas anteriores. Assim essas três seções fluviais foram: Pedras Altas, Bandeira de Melo e São José do Jacuípe.

Após aplicação da metodologia DHRAM com ajuste, procedeu-se a comparação dos resultados da aplicação da metodologia original e da metodologia adaptada para identificar a similaridade e diferenças entre os resultados obtidos com as metodologias.

A Figura 22 apresenta o esquema da classificação de alterações hidrológicas decorrente de barragens com adaptação para rios de semiárido.

Figura 22 Esquema da aplicação da metodologia de classificação com ajuste



Fonte: Própria

6 RESULTADOS

6.1. Análise da Consistência de Dados hidrológicos

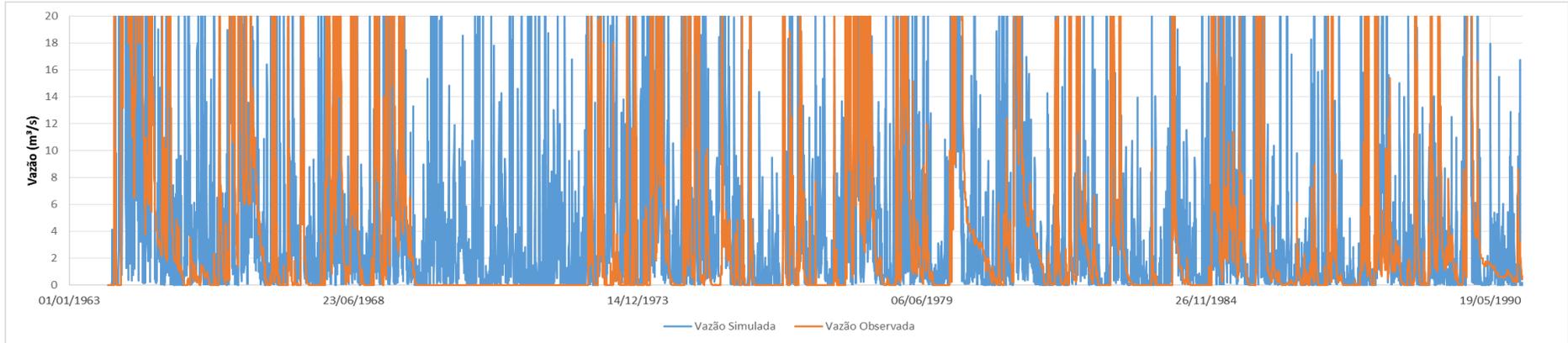
Após a obtenção de dados de chuva e vazão das bacias do rio Paraguaçu e Itapicuru, pôde-se notar que o número de estações pluviométricas é maior que o número de estações fluviométricas e que, mesmo em algumas destas estações fluviométricas apresentando um período razoável de dados, foram identificadas muitas falhas.

Assim, devido à necessidade de séries históricas extensas para modelagem do sistema hídrico e para avaliação das alterações hidrológicas, optou-se por utilizar as séries de vazão simuladas pelo modelo de simulação precipitação-vazão MGB-IPH geradas no Projeto GRANBAR, para as séries de dados referentes à bacia do rio Itapicuru (FONTES *et al.*, 2014) e para a bacia do rio Paraguaçu as séries foram geradas no projeto “Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia”, por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (GENZ, 2011). Dos estudos citados, foram obtidas séries de vazão sintéticas geradas para as seções das barragens escolhidas

Ainda que a modelagem hidrológica utilize as séries de vazões observadas para a calibração do modelo e geração das séries sintéticas, é importante também realizar uma análise comparativa entre as séries disponíveis observadas e as séries geradas.

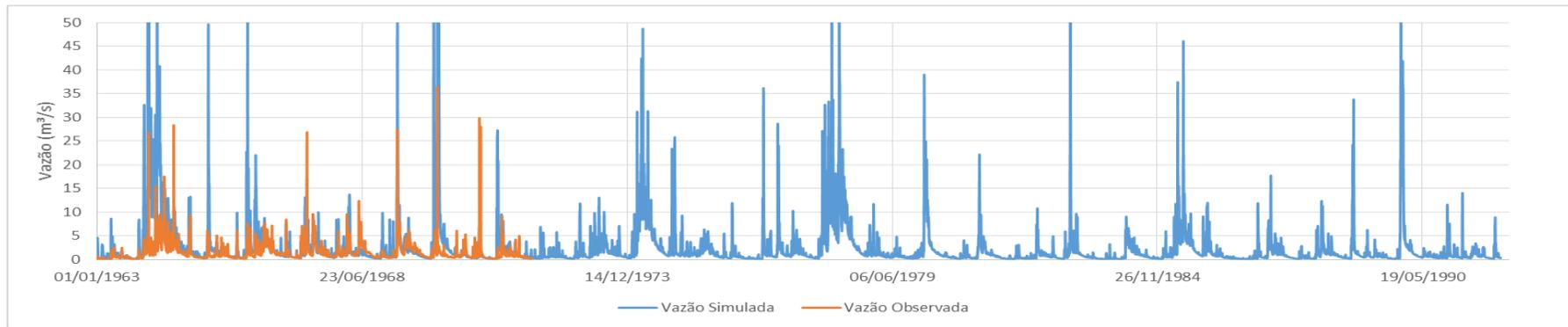
Como exemplo, a Figura 23 traz comparação das vazões geradas e observadas para a barragem de São José do Jacuípe, da bacia do rio Paraguaçu, enquanto que a Figura 24 apresenta essa comparação para a seção da barragem de Pindobaçu, do rio Itapicuru.

Figura 23 Comparação das vazões observadas e simuladas de São José do Jacuípe



Fonte: ANA (2014) e Genz (2011)

Figura 24 Comparação das vazões simuladas e observadas da barragem de Pindobaçu

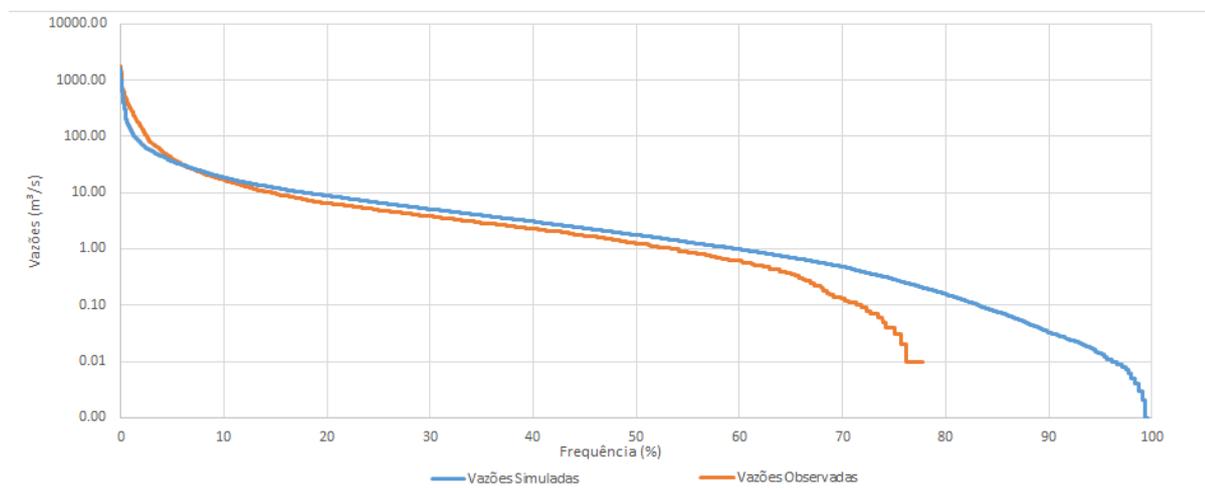


Fonte:

ANA (2014) e Fontes *et al.* (2014)

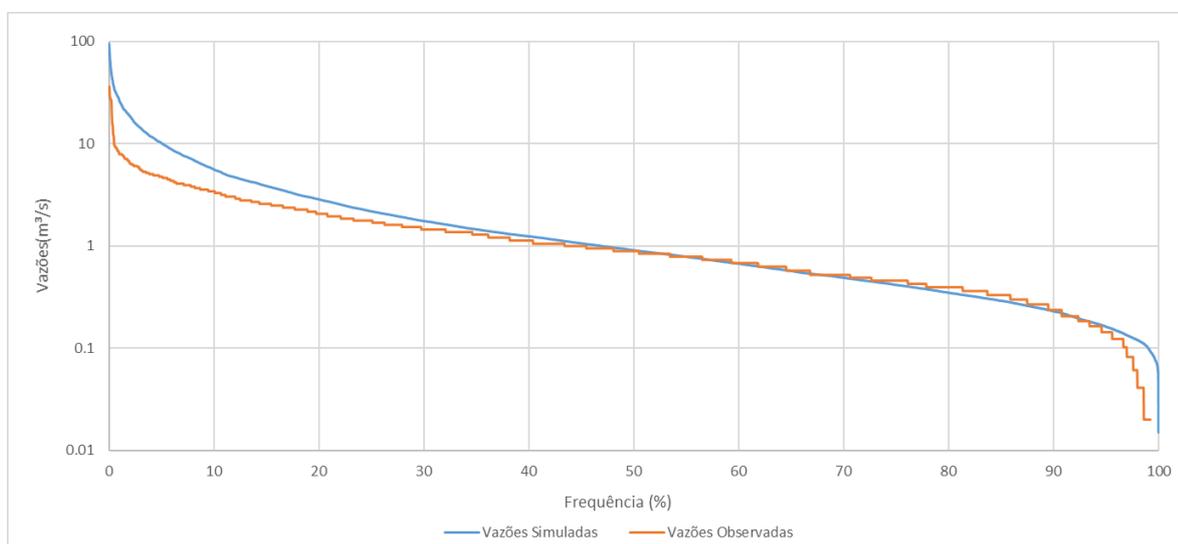
As Figura 25 e Figura 26 trazem as curvas de permanência das vazões observadas e simuladas para as seções das barragens de São José do Jacuípe e Pindobaçu.

Figura 25 Curvas de permanência das vazões observadas e simuladas para barragem de São José do Jacuípe série completa



Fonte: ANA (2014) e Genz (2011)

Figura 26 Curvas de permanência das vazões observadas e simuladas para barragem de Pindobaçu série completa



Fonte: ANA (2014) e Fontes *et al.* (2014)

Nos gráficos apresentados na Figura 23 e Figura 24, o eixo vertical foi limitado para melhor visualização das vazões mínimas. Nestas figuras, foram identificados valores de vazões simuladas muito elevadas e discrepantes do restante da série. Para São José do Jacuípe, por exemplo, ocorreram eventos de vazões superiores a 1500 m³/s, enquanto os outros valores da série se encontram abaixo de 20m³/s. A seção

do rio Itapicuru que compreende a barragem de Pindobaçu se destaca ao apresentar um evento de vazão de 90 m³/s enquanto a maioria da série apresenta dados com valores abaixo de 20m³/s.

Tal discrepância identificada pode ser confirmada na Figura 25 e na Figura 26, que mostram a curva de permanência da série de vazões simuladas com magnitudes superiores à observada na faixa dos valores máximos. Essa tendência foi observada também para as seções das barragens de França, Pedra do Cavalo e Ponto Novo.

A partir da análise foi observada a tendência do modelo de simulação de vazões MGB-IPH em superestimar as vazões para as séries geradas para as bacias do Itapicuru e Paraguaçu. Essa tendência também pode ser observada ao analisar as vazões de base, uma vez que para as séries simuladas sempre apresentam magnitudes superiores às vazões observadas, com exceção do período compreendido entre os anos 1977 e 1982, no qual as vazões mínimas simuladas são menores do que as observadas. A década de 70 e os anos de 1982/83 apresentaram condições climáticas anômalas devido à ocorrência do fenômeno El Niño, e isso pode ter influenciado na representatividade da simulação nesse período.

Ainda que sejam identificadas diferenças entre as séries de dados simulados e observados, ao compará-las é notável que a modelagem hidrológica conseguiu expressar o comportamento da variabilidade hidrológica próximo ao comportamento das séries observadas.

A tendência citada de superestimação pode ocorrer devido às características das bacias que estão localizadas em região de clima semiárido e também pela qualidade das séries disponíveis que foram utilizadas para calibração do modelo. Tais séries apresentam grande número de falhas e alguns dados duvidosos, assim como na análise de qualidade dos dados realizada no estudo de Santos *et al.* (2012) que avaliou a qualidade de dados de vazão à jusante da barragem de Apertado na bacia do rio Paraguaçu utilizando o método descrito por Tucci (2002) a partir dos valores de cota e vazão máximos e mínimos, com base na curva-chave das estações. Foram comparados os valores de cota e vazão medidos em campo, utilizados na elaboração da curva chave das estações, com valores de cota observada e vazão gerada a partir dos níveis de cota verificados e também da curvas-chave. Em seguida as estações foram classificadas. Os resultados desse estudo mostraram a

necessidade de revisão das curvas-chave, reavaliando os dados de vazão gerados. O estudo de Souza *et al.* (2014) que avaliou as curvas-chave de postos fluviométricos localizados no rio Itapicuru-Mirim, importante afluente do rio Itapicuru, e também avaliou a consistência dos dados disponíveis, e do mesmo modo foi identificada a necessidade de definição de curvas-chave por período para o rio analisado, além da revisão periódica dessa ferramenta, uma vez que este atravessa região semiárida e apresenta elevada instabilidade de sua calha dificultando a estimativa da vazão.

Frente à investigação realizada, pôde-se conhecer a situação dos dados simulados que foram utilizados no presente trabalho, de modo que mesmo com as diferenças identificadas entre os dados simulados e os dados observados, e sabendo-se que às séries simuladas estão associados erros de modelagem e incertezas, assumiu-se que as séries de dados sintéticas são válidas, uma vez que a qualidade dos dados observados poderia comprometer a obtenção dos resultados.

6.2. Séries de vazões obtidas nas simulações hidrológicas

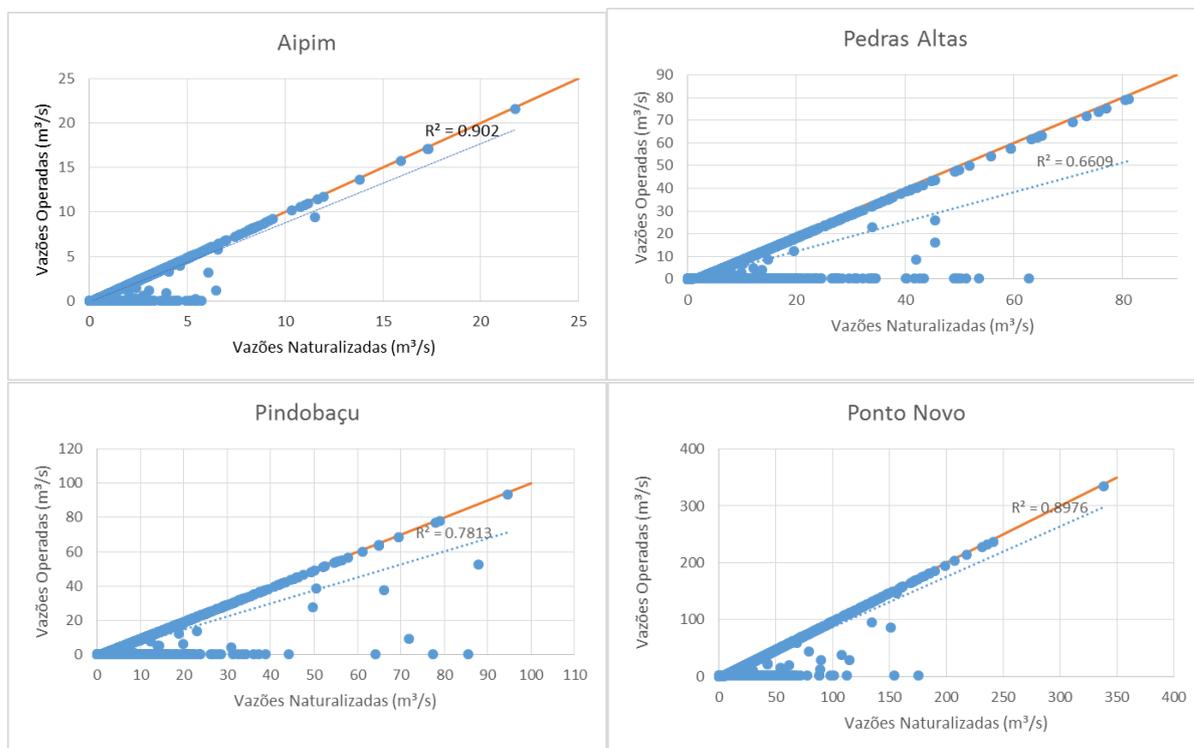
A fim de observar as alterações do regime de hidrológico em função da presença e operação barragens, foram preparados gráficos de dispersão (Figura 27) para comparação entre as séries de vazões naturalizadas, obtidas nas simulações do MGB-IPH em FONTES *et al.* (2014) e GENZ (2011), e das vazões regularizadas obtidas na simulação do WEAP realizada no presente estudo. Tais gráficos ilustram de uma forma conjunta as alterações ocorridas.

Quando comparadas as séries de vazões naturalizadas e regularizadas, nota-se que as vazões foram reduzidas em função da presença das barragens uma vez que os pontos do gráfico de dispersão se espalham entre o eixo das abscissas (vazão nula), e a bissetriz (valores iguais). Isto ocorre predominantemente para os menores valores de vazão. Para vazões de pico, há tendência a se manterem com mesma magnitude, sem amortecimento visível das cheias.

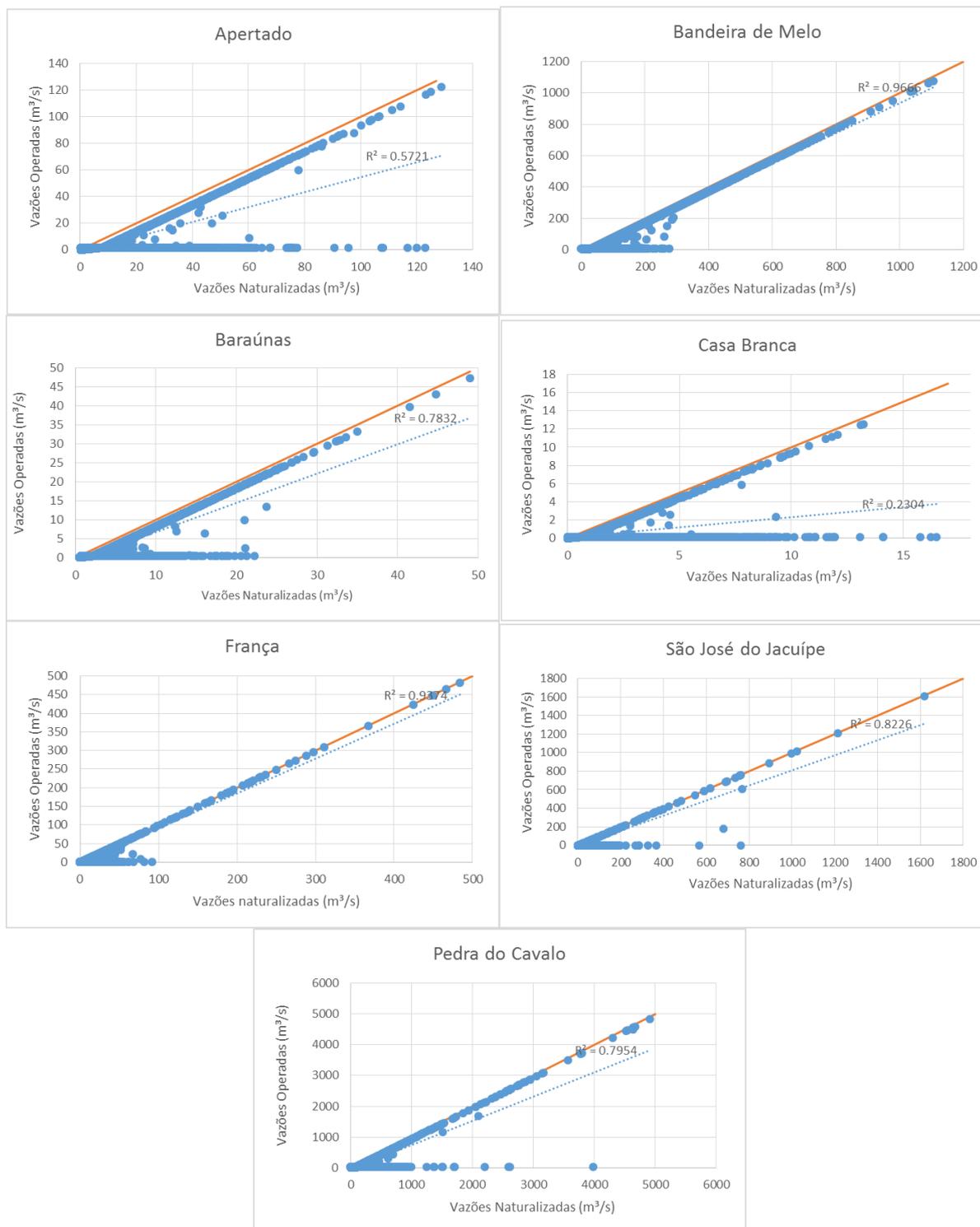
Para as seções de São José do Jacuípe e França o comportamento das séries de vazões é diferente das demais, uma vez que a operação das barragens provoca aumento das vazões mínimas com alteração nas máximas para a primeira seção.

Podem-se observar tais comportamentos nos gráficos da Figura 27, relativos às seções da bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b), respectivamente.

Figura 27 Gráficos de dispersão das séries de vazões Naturalizadas vs. Regularizadas nas seções fluviais da bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



(a)



(b)

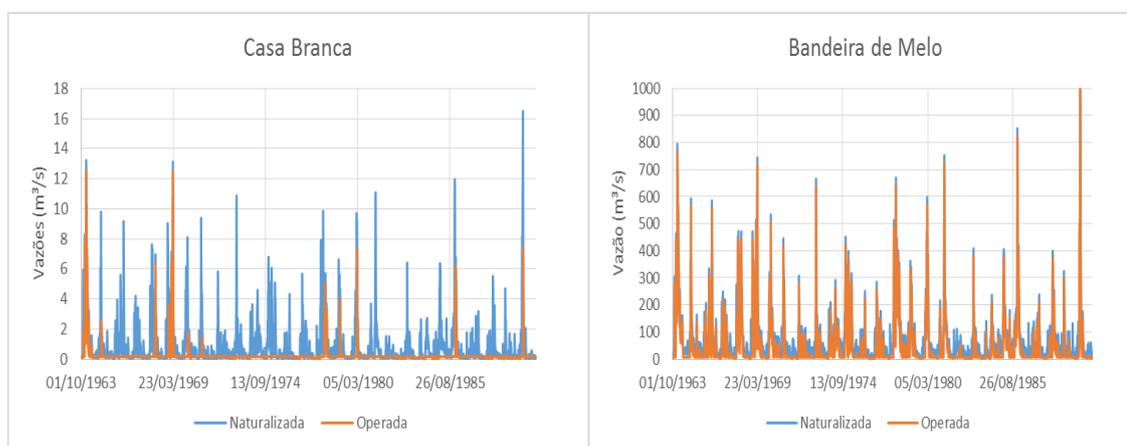
Fonte: Própria, a partir de Genz *et al.* (2011), Fontes *et al.* (2014)

Ainda na Figura 27, é possível identificar que as seções fluviais referentes às barragens de Aipim, França e Bandeira de Melo apresentaram menores alterações entre as duas condições, com grande número de pontos sobre a bisetrix e poucos

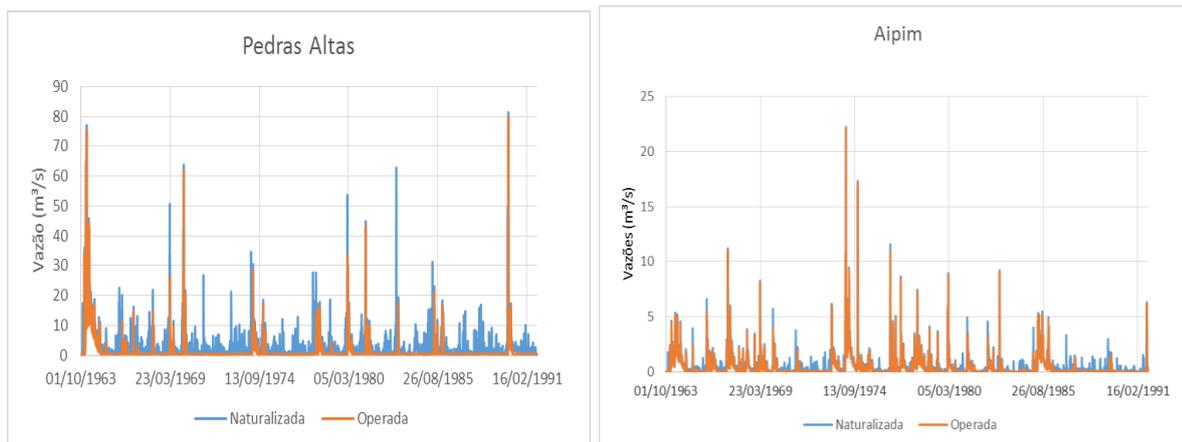
pontos concentrados abaixo dela. Além disso elas foram as que apresentaram menor redução para as vazões de maior magnitude. Por outro lado, as seções fluviais definidas por Pedras Altas e Casa Branca foram as que apresentaram maior número de pontos abaixo da bissetriz, além de um número significativo de valores bem próximos a zero pra a última seção. Nas seções de Pedra do Cavalo e Apertado verificou-se a ocorrência de vazões muito próximas a zero na série de vazões regularizadas em eventos nos quais as vazões na série naturalizada apresentavam magnitude na ordem de 4000 m³/s para a primeira e 120 m³/s para a segunda, indicando que nessas seções além do impacto sobre as vazões mínimas também afetaram as cheias.

A Figura 28 traz, como exemplo, os fluviogramas comparativos das vazões naturalizadas e regularizadas nas seções fluviais que apresentaram as maiores e as menores alterações para a bacia do Itapicuru (Figura 28a) e para a bacia do Paraguaçu (Figura 28b).

Figura 28 Fluviogramas de comparação das vazões naturalizadas e regularizadas para as seções fluviais da bacia do rio Paraguaçu (a) e do rio Itapicuru (b)



(a)



(b)

Fonte: Própria, a partir de Genz *et al.* (2011), Fontes *et al.* (2014)

Como pode ser observada na Tabela 5, que apresenta os valores de vazões médias diárias anuais para a seção fluvial definida por Pedras Altas, a série de vazões naturalizadas apresentou uma redução na vazão média de 56% e, para máxima, de 38%. Em contraponto, Aipim apresentou redução de 33% da vazão média, 31% da mínima e 12% da máxima. Os valores de vazões máximas e mínimas se referem às médias das vazões anuais diárias da série, respectivamente.

Tabela 5 Vazões médias diárias anuais (média, mínima, máxima)

Vazões médias diárias anuais		Aipim	Pedras Altas	Pindobaçu	Ponto Novo	Apertado	Bandeira de Melo	Baraúnas	Casa Branca	França	São José do Jacuípe	Pedra do Cavalo
Médias	Naturalizada	0.6	2.9	2.5	10.5	10.1	77.1	3.1	0.8	3.7	8.8	117.6
	Operada	0.4	1.3	1.5	6.8	4.0	49.0	1.3	0.2	2.3	4.0	49.2
	Diferença (%)	33.2	56.1	41.3	35.4	60.3	36.4	57.6	72.2	36.9	54.8	58.2
Mínima	Naturalizada	0.046	0.182	0.179	0.894	0.430	9.447	0.961	0.021	0.002	0.005	10.525
	Operada	0.032	0.233	0.144	0.527	0.822	3.131	0.342	0.084	0.147	0.656	10.502
	Diferença (%)	30.9	22.0	19.9	41.0	47.8	66.9	64.4	75.3	98.8	99.3	0.2
Máximas	Naturalizada	6.2	28.7	35.5	104.3	61.3	486.2	19.2	7.7	105.0	228.8	1013.3
	Operada	5.4	17.6	24.4	91.2	36.9	457.1	14.8	2.6	91.5	143.7	738.9
	Diferença (%)	12.7	38.5	31.2	12.6	39.8	6.0	22.6	66.5	12.8	37.2	27.1

Fonte: Própria

Na bacia do rio Paraguaçu, a seção definida por Casa Branca apresentou redução de 72% da vazão média e 66% da máxima. A seção de Bandeira de Melo foi a que apresentou as menores alterações para vazão média e para vazão máxima. Para vazão mínima, Pedras Altas, Apertado, Casa Branca, França e São José do Jacuípe com aumento nos valores médios anuais, com destaque para a última com uma diferença de 99%.

É possível observar que, de um modo geral, as maiores alterações ocorreram nas vazões mínimas, sendo verificado aumento de 99% em São José do Jacuípe e que as vazões máximas foram pouco alteradas à exceção de Casa Branca.

Nota-se, pelos fluviogramas apresentados na Figura 28, que em Aipim, Bandeira de Melo e França as alterações provocadas pela operação da barragem são menores, enquanto que em Pedras Altas, Casa Branca, Apertado e Pedra do Cavalo as mudanças foram mais expressivas.

A alteração das vazões na seção de Pedra do Cavalo se destaca das outras, pois, essa é a maior barragem, dentre as onze avaliadas e a única em que o vertedor é constituído por comportas, uma vez que o controle do vertimento quando o reservatório atinge o volume máximo é maior do que em reservatórios de soleira livre e pode provocar maiores alterações no regime hidrológico a jusante das barragens. Essa barragem se destaca ainda, pelos seus objetivos de operação contemplarem a geração de energia e o controle de cheias, além do abastecimento humano e a irrigação.

Pode-se ainda comparar o que foi observado nos fluviogramas com os valores de R^2 (Tabela 6) encontrados para os gráficos de dispersão apresentados na Figura 27.

Tabela 6 Valores de R^2 dos gráficos de dispersão

Seção Fluvial	R^2 (Q nat x Q op)
APERTADO	0,57
BANDEIRA DE MELO	0,97
BARAÚNAS	0,78
CASA BRANCA	0,23
FRANÇA	0,94
PEDRA DO CAVALO	0,79
SÃO JOSÉ DO JACUÍPE	0,82
AIPIM	0,90
PEDRAS ALTAS	0,66
PINDOBAÇU	0,78
PONTO NOVO	0,90

Fonte: Própria

Os valores de R^2 , apresentados na Tabela 6, indicam também as maiores alterações para Casa Branca, Apertado e Pedra Altas que apresentaram valores mais baixos para essa métrica. Bandeira de Melo, Aipim, França e Ponto Novo apresentam

valores se aproximam de 1, refletindo a pouca diferença entre as séries. Pedra do Cavalo e São José do Jacuípe apresentam valores de R^2 mais próximos a 0,80, o que indicaria menores diferenças entre as séries, mas o que foi observado nos fluviogramas era que elas indicavam uma maior alteração.

6.3. Avaliação das Alterações Hidrológicas

6.3.1. Avaliação dos Regimes Hidrológicos sem Impacto de Barragens, a partir das Séries Naturalizadas

A avaliação dos regimes hidrológicos sem impacto de barragens, realizada a partir das séries naturalizadas, apresentado nesse item, ocorreu, pois, para analisar alterações hidrológicas provocadas por ação antrópica é importante considerar as variabilidades do regime hidrológico natural, ou não impactado, para que tal variabilidade não seja confusa com resultados de alterações devido a ações antrópicas em análise. Assim, neste capítulo foram analisadas séries de vazões naturalizadas utilizando o método do IHA para possibilitar a observação das variações ocorridas no regime hidrológico dos trechos dos rios estudados.

Os resultados são aqui apresentados em gráficos *boxplots*, a fim de observação visual. Nesta representação são evidenciados os valores centrais e extremos de alguns indicadores hidrológicos. Além disso, são identificados com o número 1 (período 1) os *boxplots* que representam os resultados das estatísticas para o primeiro período (1963 a 1976) e com 2 (período 2) os resultados do segundo período (1977 a 1991 para Itapicuru e 1977 a 1990 para Paraguaçu). Reforça-se que assim foi procedido, comparando subséries de dois períodos de tempo, de cada série de vazões naturalizadas, a fim de se identificar as variabilidades intrínsecas do regime não alterado.

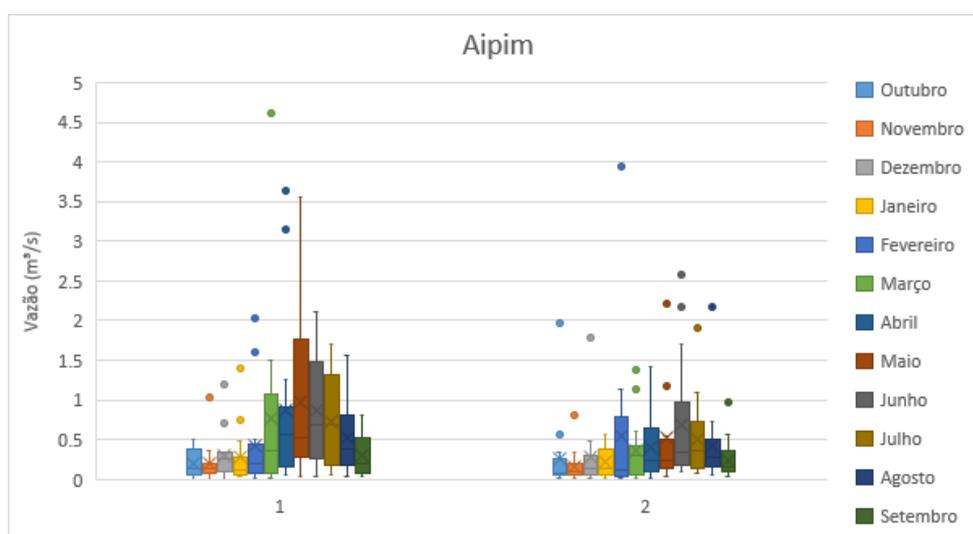
6.3.1.1. Magnitude das vazões medianas mensais

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os resultados das estatísticas de magnitude das vazões medianas mensais para as seções fluviais estudadas, nas bacias do rio Itapicuru e rio Paraguaçu, respectivamente. Nessa figura os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjunto de

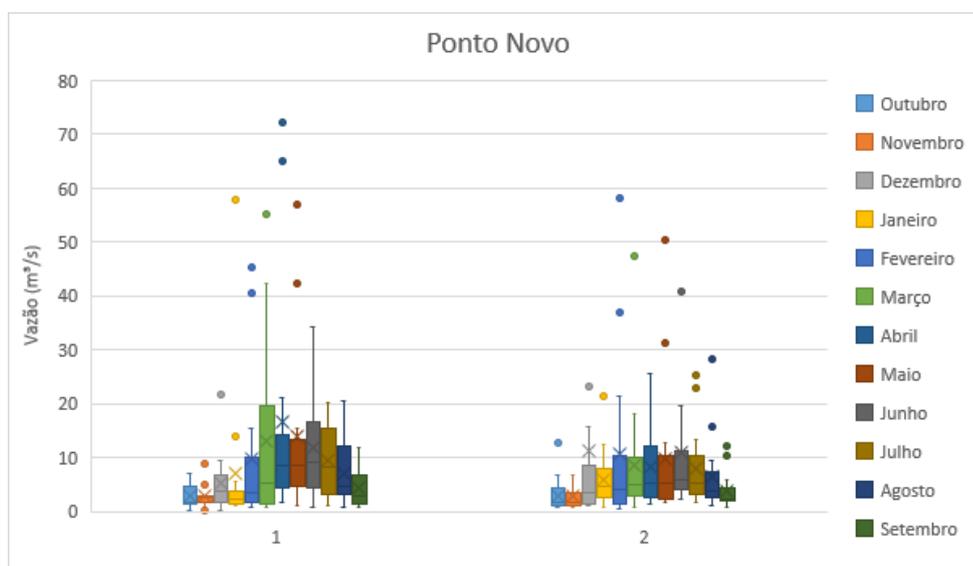
boxplots identificado com o número 1 (período 1) os do segundo período com o número 2 (período 2), e evidencia a maior e menor variabilidade, referidas pelo nome das barragens ali situadas ou previstas. Cada mês está representado por um *boxplot* e uma cor apresentada na legenda.

As medianas das vazões mensais em cada seção de estudo, aqui consideradas, de acordo com Richter *et al.* (1996) descrevem as condições diárias normais para cada mês fornecendo uma estimativa geral da disponibilidade de hábitat.

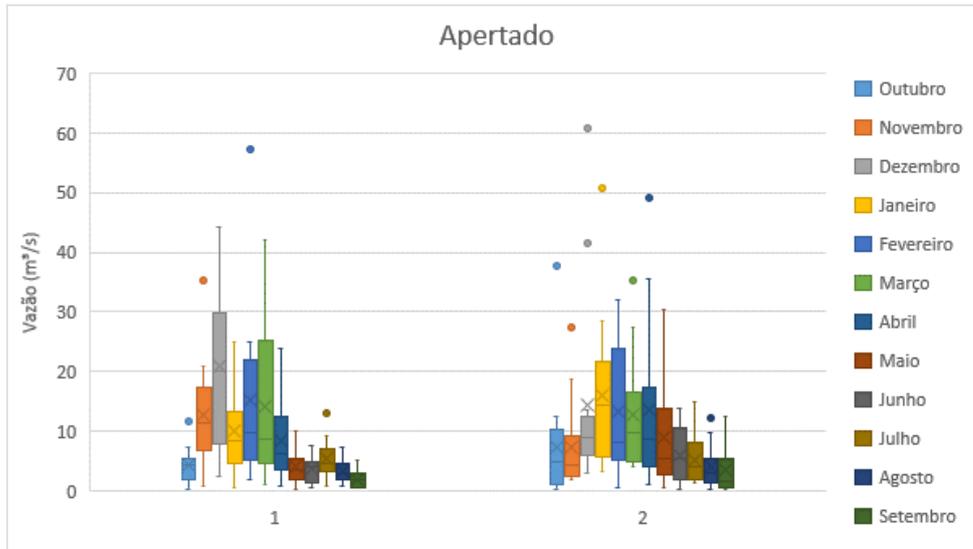
Figura 29 Magnitude das vazões naturalizadas mensais (período1 x período2) na bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



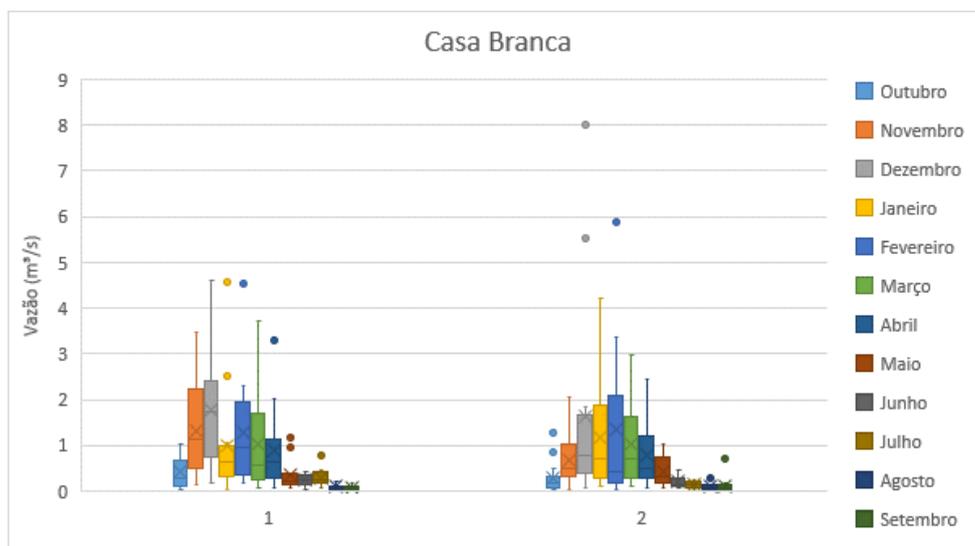
(a.1)



(a.2)



(b.1)

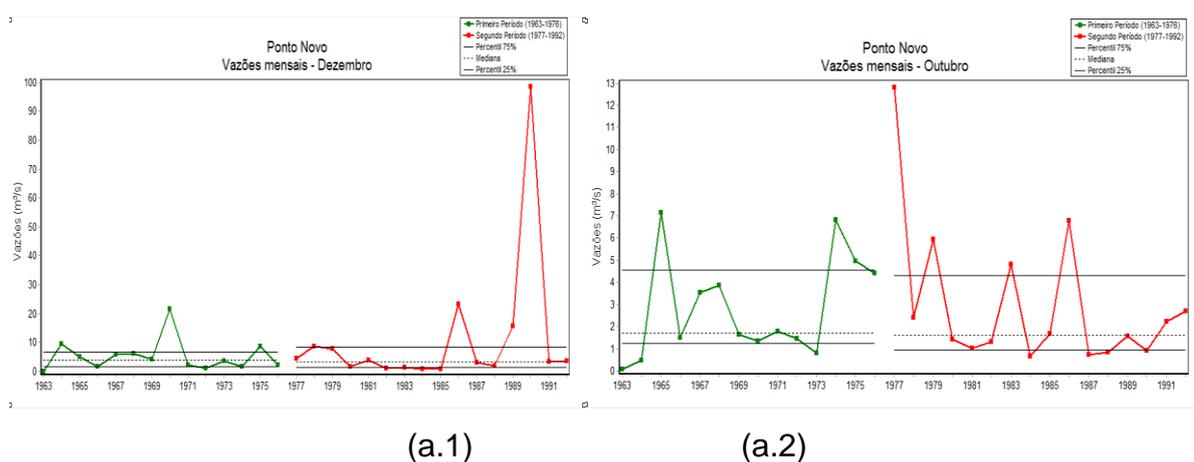


Fonte: Própria

Com relação à bacia do Itapicuru, as maiores variações mensais foram observadas para a seção de Ponto Novo, com alterações entre o primeiro e o segundo período bastante acentuados. A seção de Aipim apresentou a menor variação, principalmente para suas medianas. As maiores variações em Ponto Novo podem estar relacionadas à área da referida seção, que é a maior entre as quatro seções avaliadas da bacia do Itapicuru. Nota-se ainda que do primeiro para o segundo período, houve redução dos valores de magnitudes medianas, sobretudo para os meses entre abril e setembro (período seco).

Para as seções definidas pelas barragens do rio Paraguaçu analisadas, a maior variação dos valores entre os meses foi observada na seção de Casa Branca e, entre os períodos 1 e 2, foi identificada para a seção de Pedra do Cavalo e São José do Jacuípe. Para os valores máximos em Pedra do Cavalo há redução das vazões do mês de abril a setembro, já em São José do Jacuípe, França e Baraúnas essa redução se inicia em março, sendo bem acentuada. Por outro lado Apertado não apresenta grandes variações e em Bandeira de Melo ocorre aumento das vazões nesses meses no segundo período. Para as magnitudes mínimas identifica-se redução, à exceção de Pedra do Cavalo e Apertado. Em relação às magnitudes medianas, Pedra do Cavalo se destaca frente à variação e reduções dos valores. A Figura 30 traz o comportamento das vazões no mês de dezembro e outubro para a seção fluvial de Ponto Novo e de março e outubro para Aipim. Por outro lado, a Figura 31 traz o comportamento em dezembro e junho da seção fluvial de Casa Branca e em dezembro e setembro para Apertado, visando assim avaliar a magnitude das vazões ocorridas nos meses de dezembro e junho, para a segunda, visando representar a ocasião de chuvas e de seca.

Figura 30 Vazões mensais: (a.1) Ponto Novo – dezembro; (a.2) Ponto Novo – outubro; (b.1) Aipim – março e (b.2) Aipim – outubro



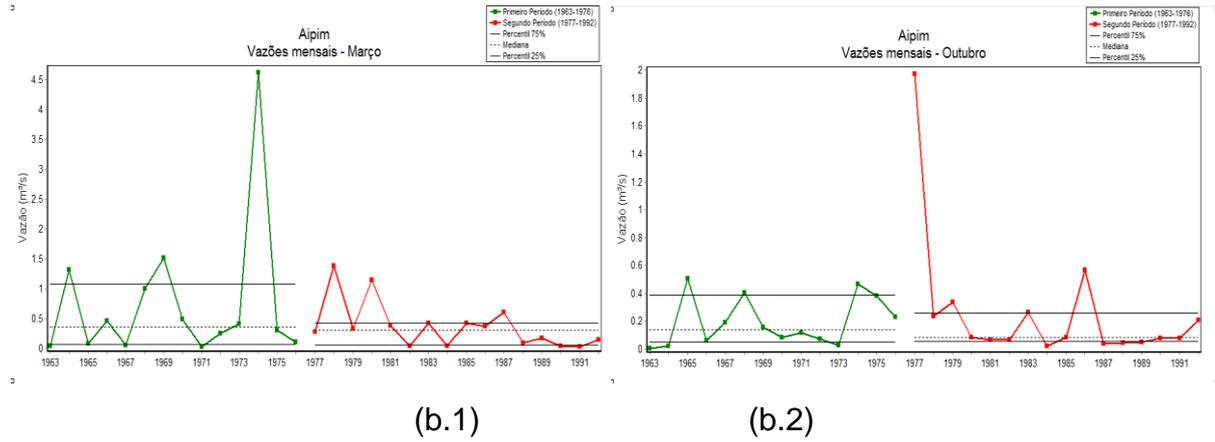
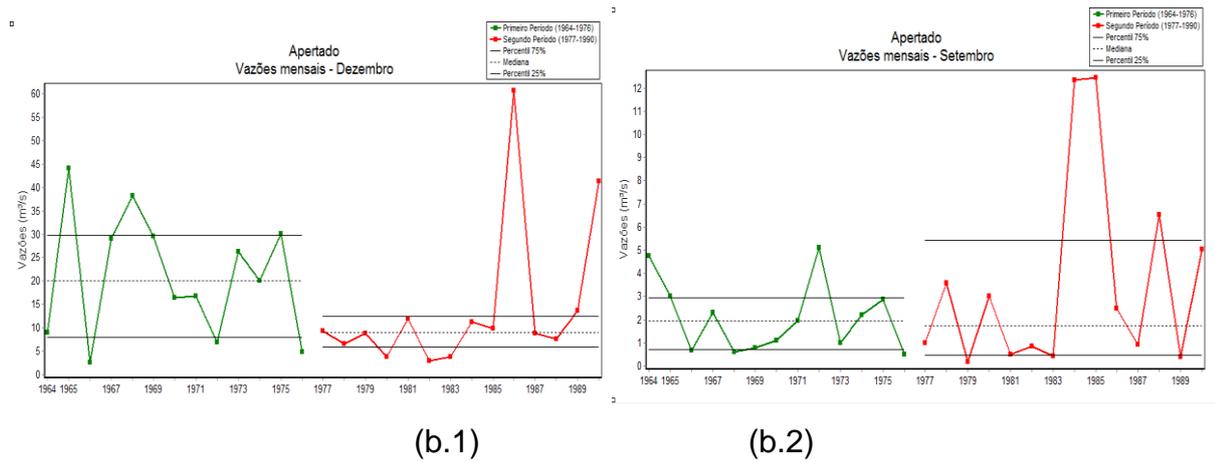
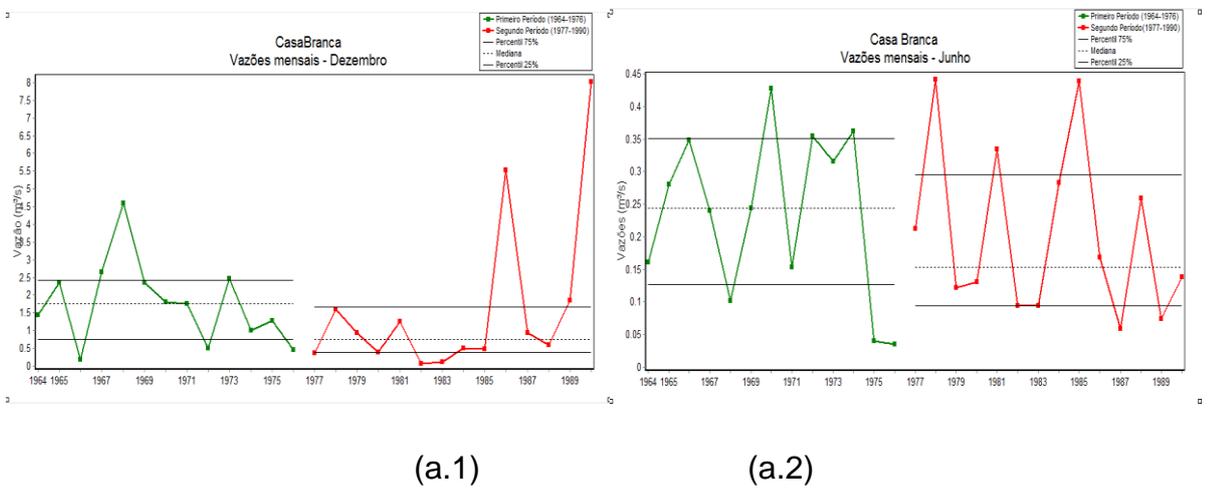


Figura 31 Vazões mensais: (a.1) Casa Branca – dezembro; (a.2) Casa Branca – junho; (b.1) Apertado – dezembro e (b.2) Apertado – setembro



Fonte: Própria

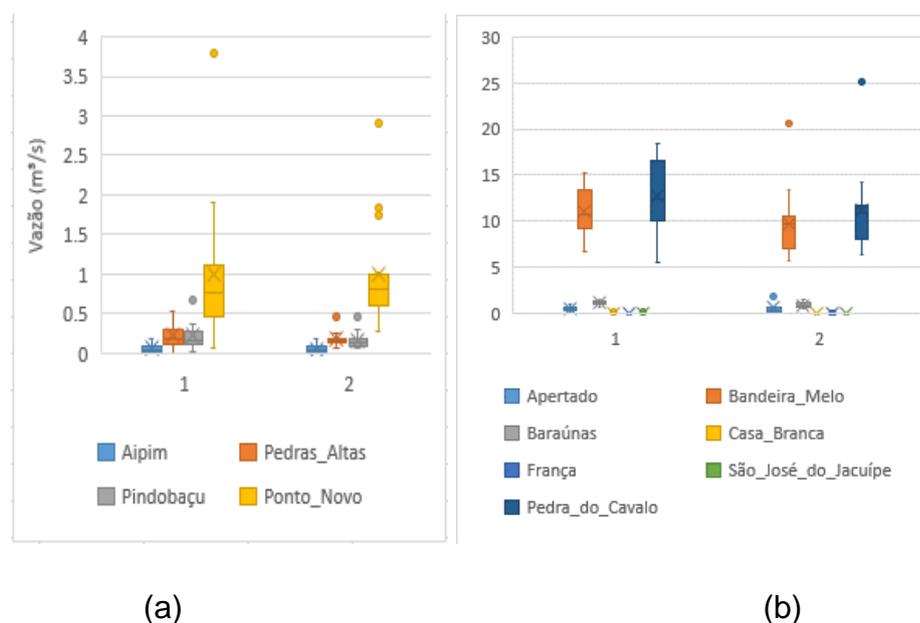
As seções definidas pelas barragens de ambas as bacias estudadas demonstram uma tendência de redução dos valores das medianas e mínimas das vazões mensais entre os períodos, principalmente no período de cheia. Nota-se ainda uma elevação dos valores de eventos de cheia em ambas as ocasiões.

6.3.1.2. Vazões mínimas, médias de 7 dias

A variabilidade em relação à vazão mínima de 7 dias de duração é maior para a seção definida por Ponto Novo na bacia do Itapicuru, enquanto que para a bacia do Paraguaçu a variação é mais acentuada para a seção de Pedra do Cavalo, conforme pode ser observado na Figura 32. Na Figura os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjunto de *boxplots* e identificados com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

Nota-se uma redução dos valores mínimos para as duas bacias.

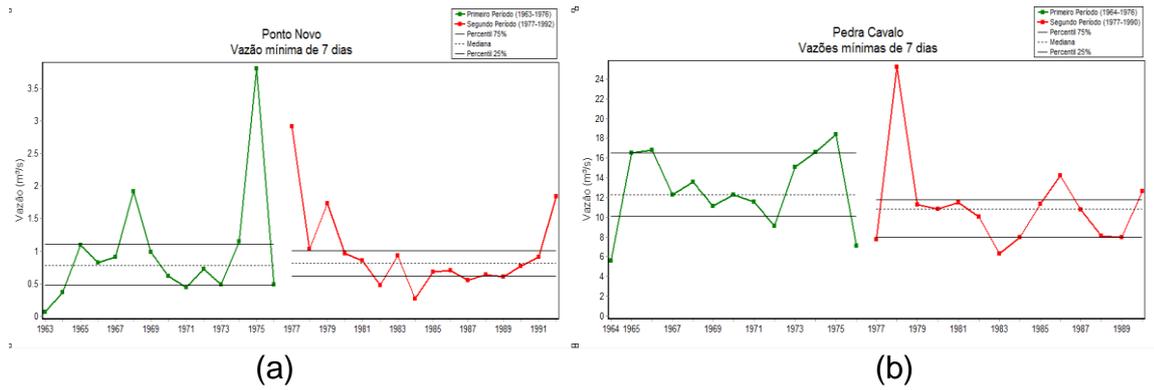
Figura 32 Magnitude das vazões mínimas anuais médias de 7 dias (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e do rio Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

O comportamento das vazões mínimas com duração de 7 dias ao longo dos anos no primeiro e segundo período para Ponto Novo e Pedra do Cavalo é evidenciado na Figura 33. Tais seções foram as que apresentaram maiores variações de um período para o outro. Pode-se observar a redução ocorrida nas vazões mínimas entre o primeiro e segundo período para ambas as seções fluviais.

Figura 33 Vazões mínimas anuais médias de 7 dias: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo



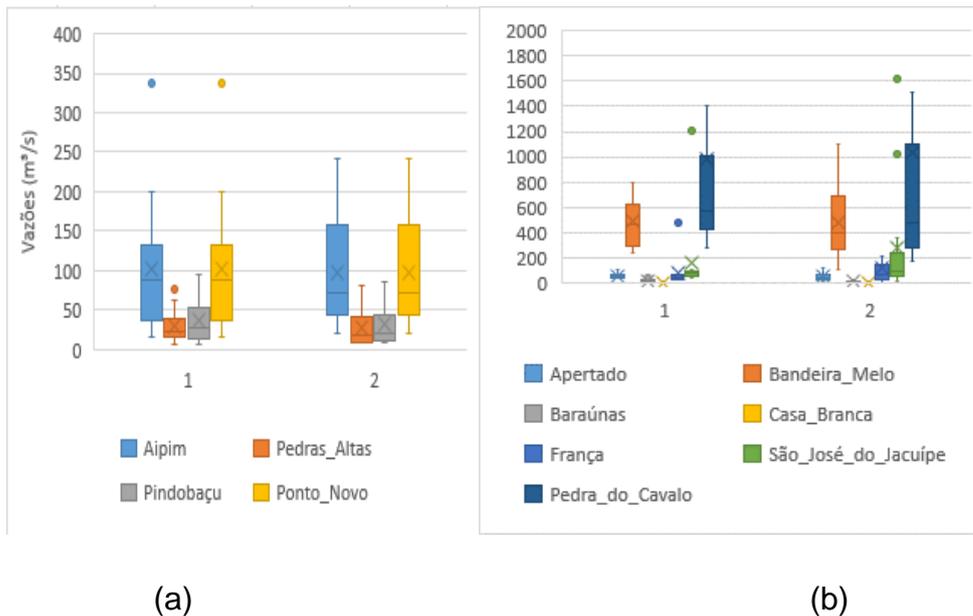
Fonte: Própria

6.3.1.3. Vazões diárias máximas

Na Figura 34, é possível identificar que a tendência verificada na Figura 32 se repete, sempre com a redução dos valores da mediana, dos menores valores do primeiro período para o segundo período, mas com aumento nos valores máximos. Os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjuntos de *boxplots* e identificados com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

O valor de outliers máximo da vazão máxima de 1 dia para Pedra do Cavallo chegaram 5000 m³/s, o qual foi muito superior aos valores das demais seções, e assim o eixo das ordenadas foi limitado em 2000 m³/s.

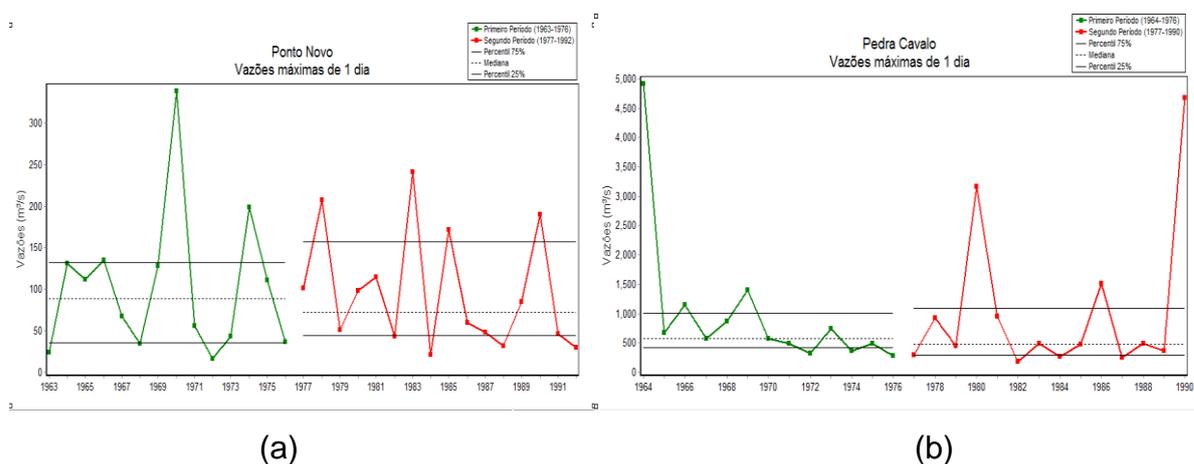
Figura 34 Magnitude das vazões máximas de 1 dia (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

A Figura 35 demonstra o comportamento das vazões máximas de 1 dia em Ponto Novo, e Pedra do Cavallo.

Figura 35 Magnitude das vazões máximas de 1 dia para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

Para as vazões máximas de 1 dia em Ponto Novo não é possível identificar uma variação expressiva. Para Pedra do Cavallo nota-se pouca redução nos menores valores.

6.3.1.4. Dia de ocorrência de vazões extremas

Esse grupo de variáveis expressa o dia juliano de ocorrência da máxima e da mínima vazão anual identificadas entre 1 e 366, sendo então representado pelo dia de ocorrência da vazão mínima anual e pelo dia de ocorrência da vazão máxima anual.

Os resultados para dia de ocorrência de vazões extremas são aqui apresentados em gráficos polares, para melhor visualização, uma vez que a variável está relacionada ao ciclo de 365 dias de um ano.

Na Figura 36 as legendas dos gráficos apresentam os nomes das barragens abreviados os quais são: AIP-Aipim; AP- Apertado, BM – Bandeira de Melo; BAR- Baraúnas; CB-Casa Branca; FR-França; PA-Pedras Altas; PIND-Pindobaçu; PN-Ponto Novo; SJ-São José do Jacuípe; PC-Pedra do Cavallo.

Na análise dia de ocorrência de vazões extremas (Figura 36) destaca-se Aipim com variabilidade mais acentuada. Na bacia do Paraguaçu não há diferenças muito destacadas entre o primeiro e segundo período em todas as seções para dias de vazões mínimas e máximas, pois as variações da ocorrência dos extremos máximos se altera de setembro para outubro com variação menor que 30 dias, em relação a ocorrência de mínimas.

Figura 36 Dia de ocorrência de vazões extremas (período 1 x período 2): (a) Itapicuru; (b) Paraguaçu



(a)



(b)

Fonte: Própria

A Tabela 7 traz os dias julianos de ocorrência de vazões máximas e mínimas entre os períodos analisados para as 11 seções fluviais estudadas.

Tabela 7 Dia juliano de ocorrência de máximas e mínimas (período 1 e período2)

Seções Fluviais	Mínima		Máxima	
	Período-1	Período-2	Período-1	Período-2
AIPIM	49	309	110.5	303.5
PEDRAS ALTAS	314.5	293.5	42.5	32.5
PINDOBAÇU	318.5	307.5	103	117
PONTO NOVO	318.5	310.5	67.5	54.5
APERTADO	264	269.5	361	47
BANDEIRA DE MELO	271	258	364	34.5
BARAÚNAS	274	274	28	34.5
CASA BRANCA	261	261.5	360	30.5
FRANÇA	285	287.5	361	37
SÃO JOSÉ DO JACUÍPE	275	297	357	41.5
PEDRA DO CAVALO	269	268.5	30	49.5

Fonte: Própria

Como pode-se observar a partir da Figura 36 e da Tabela 7, as mínimas na bacia do rio Itapicuru ocorreram na primeira quinzena de novembro (mediana do dia juliano 307,5 à 310,5) para as seções fluviais de Aipim, Pindobaçu e Ponto Novo no segundo período avaliado. Enquanto, no primeiro período essa vazão ocorria alguns dias antes em novembro (em relação ao segundo período) para Pindobaçu e Ponto Novo, para Aipim essa diferença foi de 3 meses (fevereiro para novembro). Para, Pedras Altas a ocorrência foi antecipada em 1 mês (novembro para outubro) no segundo período. Em relação as máximas, a ocorrência em Pedras Altas foi antecipada em alguns dias de fevereiro do primeiro para o segundo período avaliado. Em Pindobaçu a diferença também foi de dias no mês de abril, mas com atraso da ocorrência de 103 para 117 no segundo período. Em Aipim, a ocorrência entre os períodos analisados foi defasada em 6 meses (abril para novembro) e em Pindobaçu foi antecipada em menos de 15 dias em abril e para Ponto Novo a variação foi de Março para fevereiro.

Para as máximas na bacia do rio Paraguaçu, a ocorrência foi atrasada do primeiro para o segundo período em 4 meses (setembro para fevereiro) para Apertado e Bandeira de Melo, em menos de 20 dias para Baraúnas e Pedra do Cavalo (entre janeiro e fevereiro) e de 1 mês em Casa Branca e França (dezembro para fevereiro).

Frente ao observado, nota-se que, à exceção de Aipim, as mínimas ocorrem entre outubro e novembro para a maioria das seções fluviais estudadas, e as máximas se alternam entre os meses do final do ano e os meses iniciais.

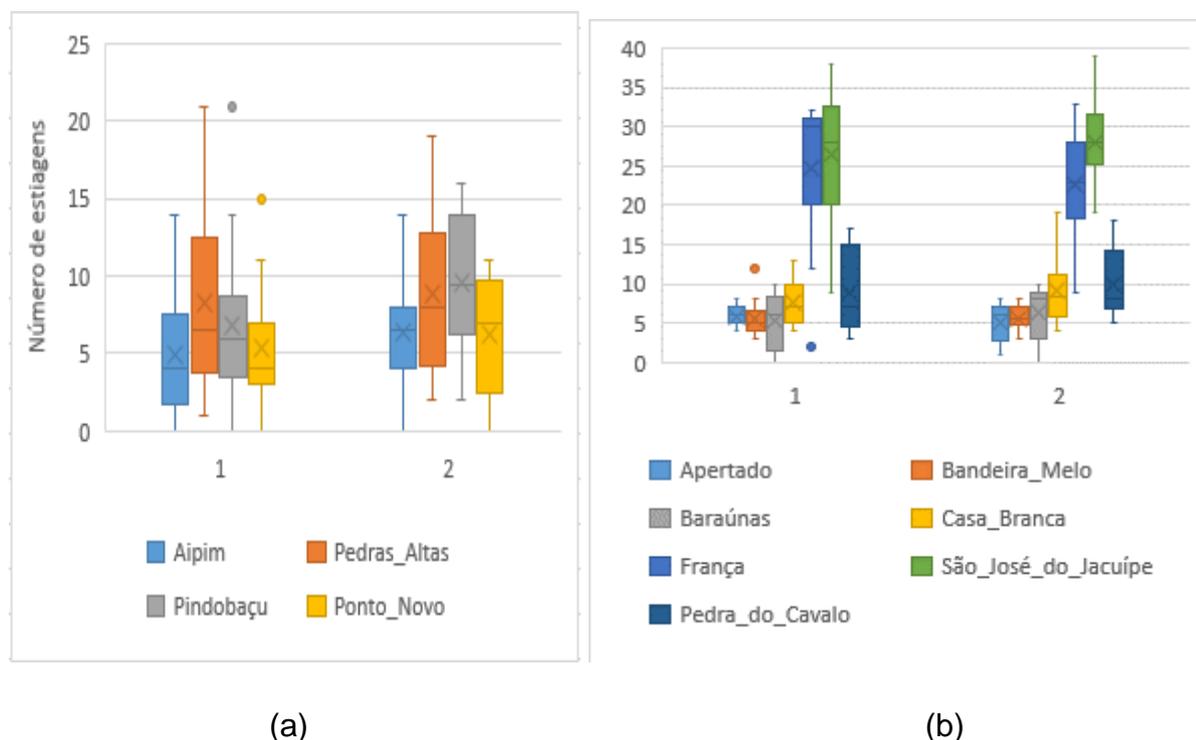
6.3.1.5. Número de ocorrência de estiagens

A ocorrência de uma estiagem é identificada como a diminuição de vazão para níveis abaixo do percentil 25%. Para o parâmetro quantidade de estiagens em cada ano, para a bacia do rio Itapicuru (Figura 37a), a seção definida por Pindobaçu se destaca com a maior variação.

Os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjunto de *boxplots* e identificados com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

Em relação a essa variável, os valores das medianas do segundo período foram maiores, correspondendo à maior ocorrência de estiagens de 1977 a 1991. As seções definidas por França e São José do Jacuípe aparecem com a maior diferença entre número de estiagens, na bacia do rio Paraguaçu.

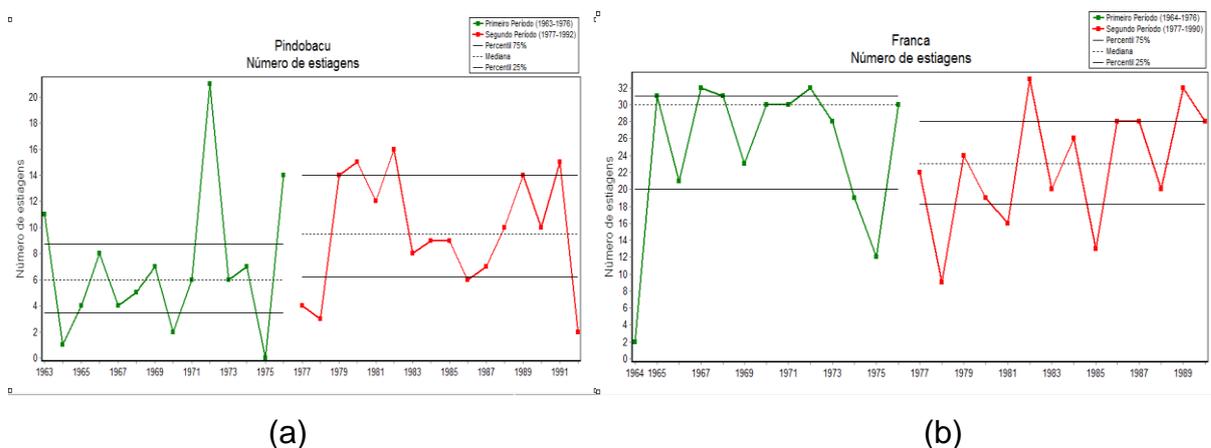
Figura 37 Número de ocorrência de estiagens durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

O comportamento da ocorrência de estiagens durante o ano para Pindobaçu e França, é apresentado na Figura 38.

Figura 38 Representação da quantidade de estiagens durante o ano: (a) Pindobaçu; (b) França



Fonte: Própria

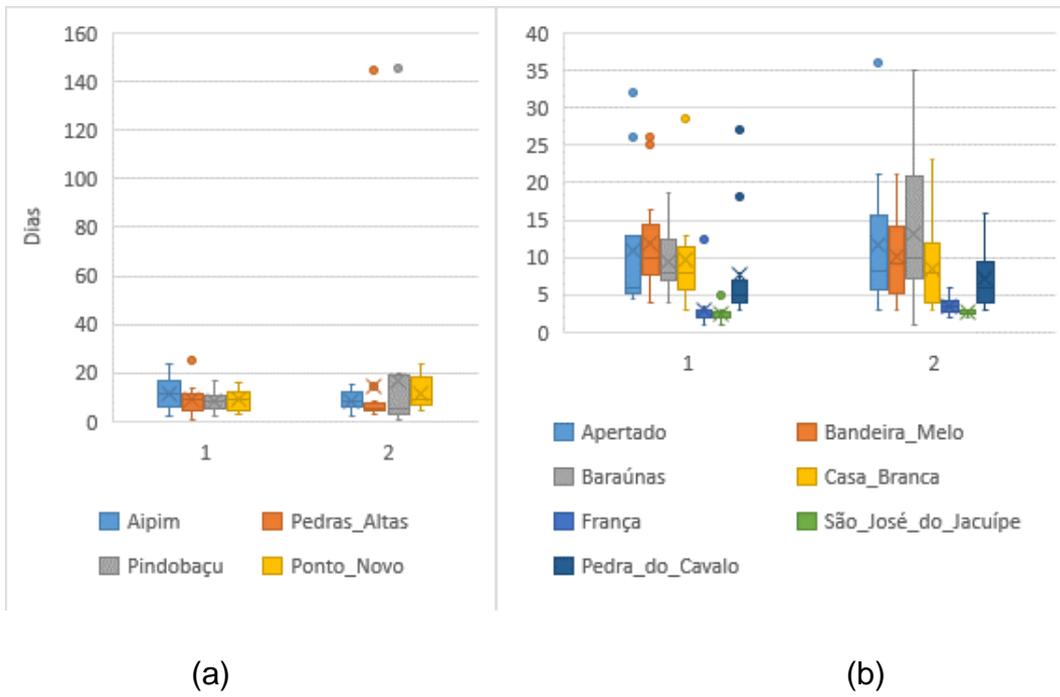
Nota-se que há um aumento das estiagens no segundo período em Pindobaçu, demonstrando que esse é um período mais seco para essa seção. Em França é observada uma pequena redução entre os períodos, mas com a ocorrência de algumas estiagens acima do percentil 75%.

6.3.1.6. Duração das estiagens

No que se refere à duração das estiagens (Figura 39) as maiores variações ocorrem em Pedras Altas e Pindobaçu para a bacia do Itapicuru. A Figura 39 citada apresenta os resultados para o primeiro período agrupados em conjunto de *boxplots* e identificados com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

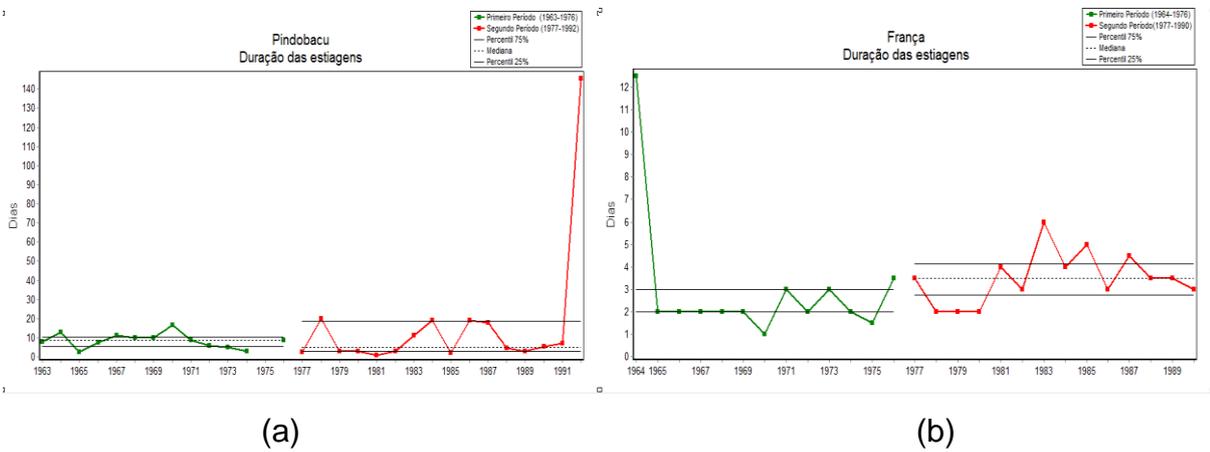
Na localidade de Aipim, bacia que para outras variáveis apresenta variabilidade pequena, neste caso mostra similaridade com as demais seções fluviais, com períodos curtos das estiagens. Na bacia do rio Paraguaçu, as durações são bastante regulares, com pouca variação para os máximos valores, à exceção das localidades de Baraúnas e Pedra do Cavallo. A Figura 40 mostra a duração das estiagens durante os dois períodos comparados, para Pindobaçu e França, evidenciando a redução da duração de estiagens para a primeira seção e o aumento na segunda. O aumento da duração das estiagens em França no segundo período indica que esse pode ter sido também um período de maiores estiagens nessa seção.

Figura 39 Duração de estiagens durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

Figura 40 Variação da duração das estiagens no tempo: (a) Pindobaçu; (b) França



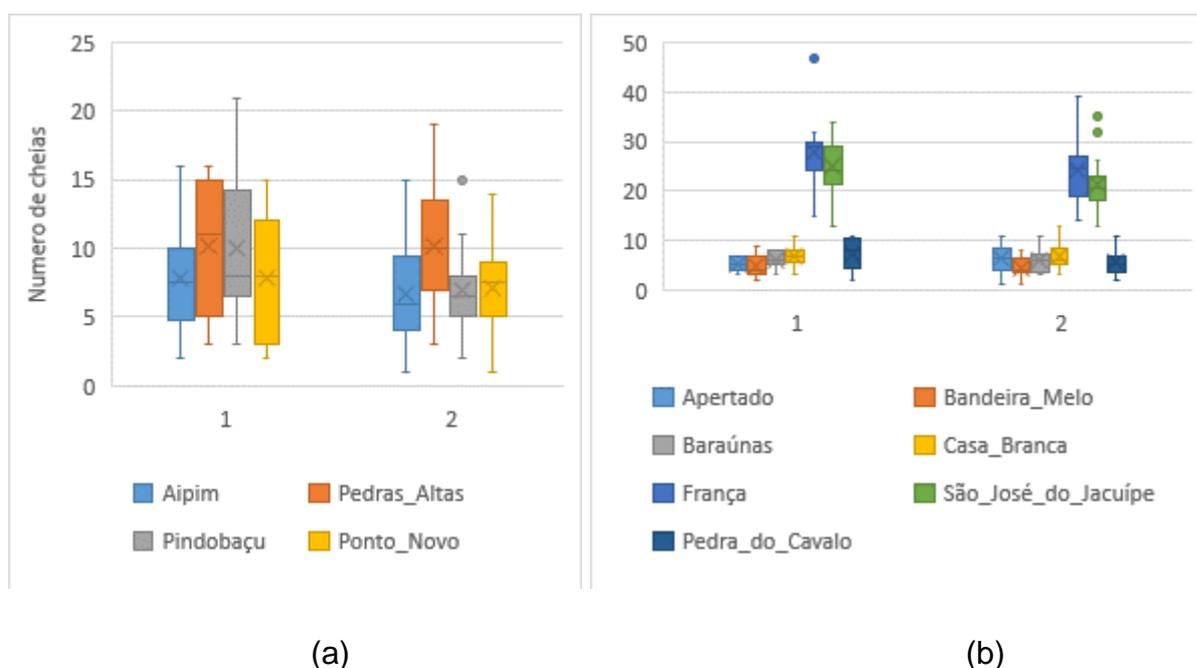
Fonte: Própria

6.3.1.7. Número de ocorrência de cheias

A ocorrência de uma cheia é identificada quando a vazão é maior que o percentil 75% dos dados do período definido como condição não impactada

Na Figura 41, na qual os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjunto de *boxplots* identificado com o número 1 e os do segundo período com o número 2, é feita referência à variável quantidade de cheias. Se destacam França e São José do Jacuípe com maior variação e, referindo-se às bacias do rio Itapicuru, todas mostram comportamento de redução nos valores, à exceção de Pindobaçu. Pode-se identificar a redução da quantidade de cheias para o segundo período.

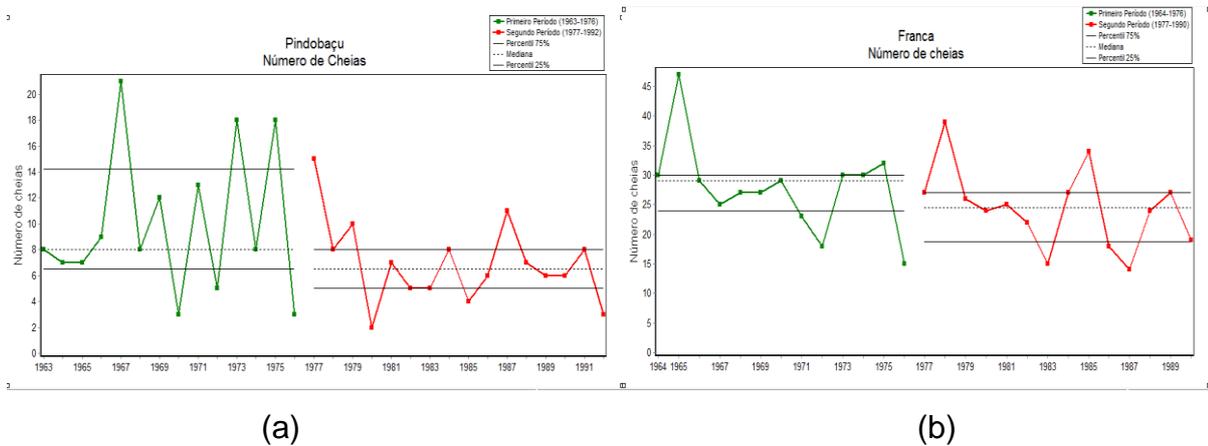
Figura 41 Quantidade de cheias durante o ano (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

O comportamento da ocorrência de cheias durante o ano para Pindobaçu e França, é apresentado na Figura 42.

Figura 42 Representação da quantidade de cheias durante o ano: (a) Pindobaçu; (b) França



Fonte: Própria

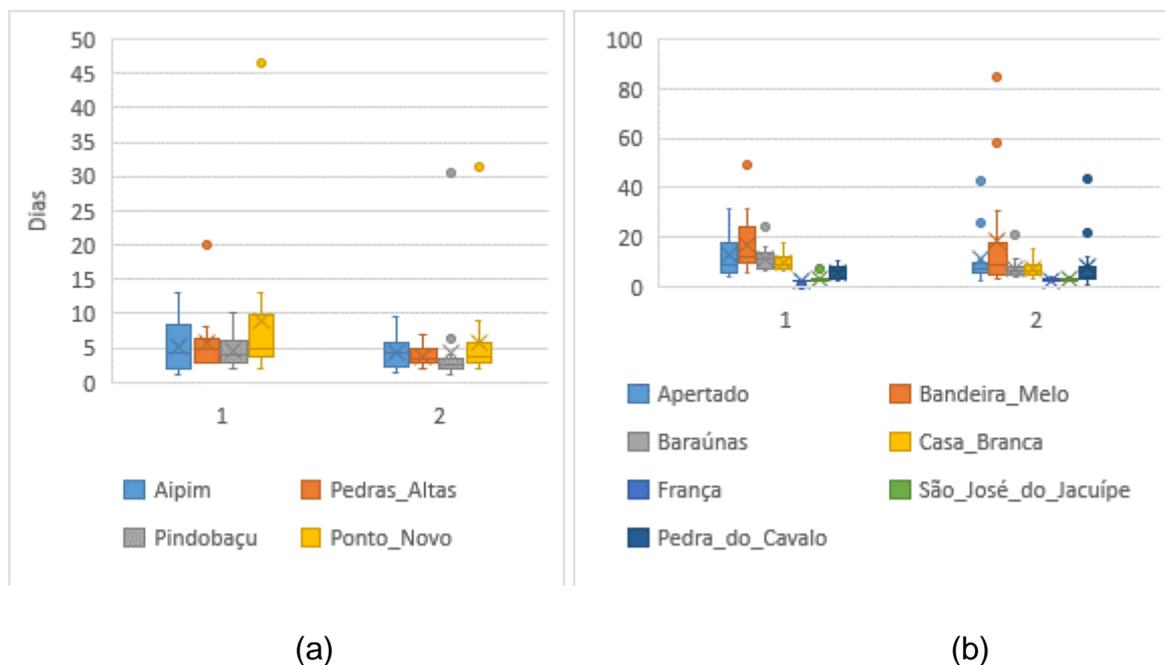
Observa-se a partir da Figura 42 que ocorreu uma redução na quantidade de cheias no segundo período em Pindobaçu, assim como em França, indicando mais uma vez que para ambas as bacias o segundo período foi mais seco que o primeiro período analisado.

6.3.1.8. Duração de cheias

As maiores variações da duração das cheias para a bacia do rio Itapicuru são registradas para Ponto Novo, enquanto para Aipim ocorrem as menores variações. Essas variações podem ser observadas na Figura 43, que apresenta os resultados para o primeiro período agrupados em conjunto de boxplot e identificados com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

Para a bacia do rio Paraguaçu, as maiores variações ocorreram para Bandeira de Melo e as menores são apresentadas por França e São José do Jacuípe. É importante destacar que as variações para os mínimos valores dessa variável e para as medianas foram muito pequenas de um período para o outro tendo mais destaque os valores máximos (redução).

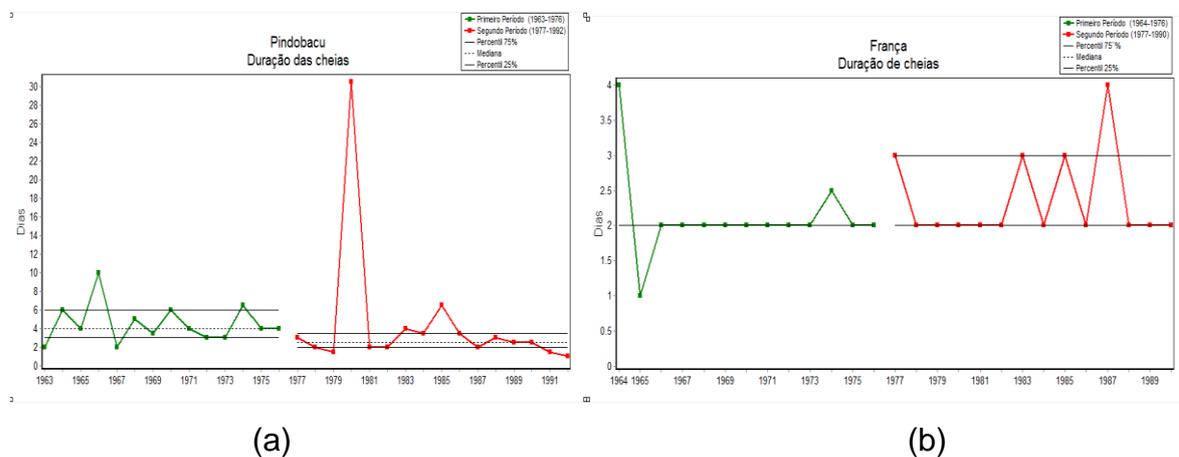
Figura 43 Duração de cheias durante o ano (período 1 x período 2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

A Figura 44 mostra a duração das cheias durante os dois períodos comparados, para Pindobaçu e França. Ela ilustra a redução da duração das cheias para a primeira seção, com ocorrência de apenas um evento superior ao percentil 75%. Para a segunda seção foi observado aumento de 1 dia na duração das cheias. O aumento da duração das cheias em França no segundo período indica que mesmo sendo um período mais seco, ainda ocorreram eventos de cheias maiores do que o primeiro período em 4 anos.

Figura 44 Variação da duração das cheias no tempo: (a) Pindobaçu; (b) França



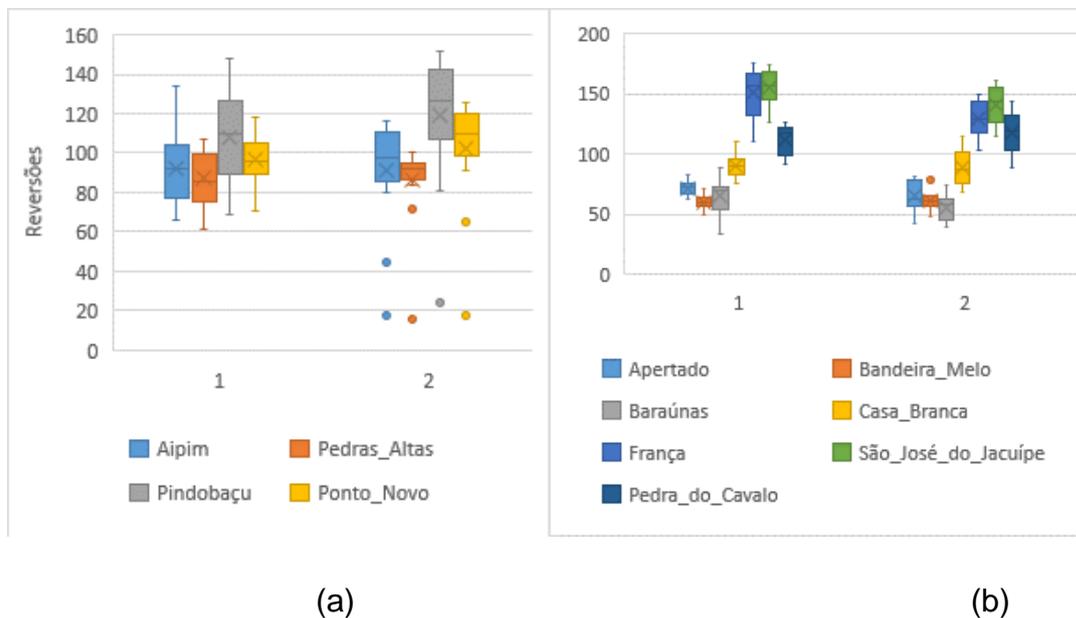
Fonte: Própria

6.3.1.9. Forma dos hidrogramas

Este grupo é composto por três variáveis, ligados a características do hidrograma: a taxa de ascensão, taxa de recessão e número de reversões. A Figura 45 traz os resultados do número de reversões, que representa o número de vezes em que as vazões passam de uma magnitude (ou tendência) para outra, ou seja, representa quanto a frequência de vazões varia entre ascensão e recessão (regularidade das chuvas). Nessa figura os resultados para o primeiro período estão agrupados em conjuntos de *boxplot* e identificado com o número 1 e os do segundo período com o número 2.

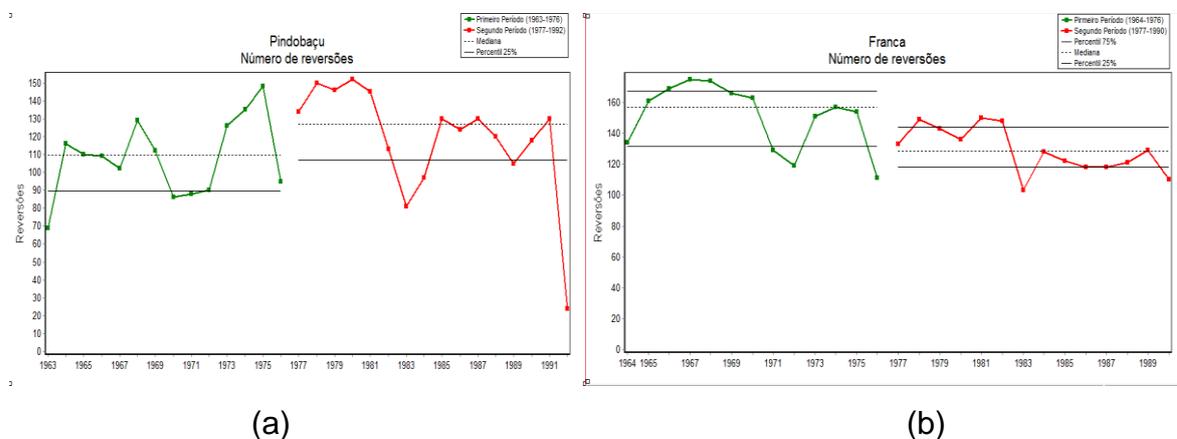
Na Figura 45, é possível observar o aumento das medianas do número de reversões do primeiro período para o segundo período de análise para as seções da bacia do rio Itapicuru, o que significa que ocorreram mais eventos de mudança na magnitude vazões. Na bacia do rio Paraguaçu, por outro lado, observa-se uma redução nos valores dessa variável para algumas seções e pouca variação para outras. Essa variável está relacionada às variações diárias das vazões do rio, e mostram que é mais previsível para as barragens do Paraguaçu, principalmente para as seções Pedra do Cavalo e Bandeira de Melo, devido à sua área de drenagem e pela região em que estão localizadas (regiões mais chuvosas), e apresentam um período lento de variação com aumentos ou quedas nos valores menos repentinos, diferindo de França e São José do Jacuípe que mostram um comportamento mais alterado com as reduções na ocorrência das reversões, devido, provavelmente, à redução de eventos de cheia. A Figura 46, que apresenta o comportamento do número de reversões durante o ano em Pindobaçu e França, confirma a redução desses eventos ocorrida no segundo período de análise.

Figura 45 Número de reversões durante o ano (período 1 x período2) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

Figura 46 Número de reversões diárias de vazão: (a) Pindobaçu; (b) França



Fonte: Própria

Com os resultados obtidos foi possível identificar que na bacia do Itapicuru a maior variabilidade das vazões na condição natural se dá nas seções de Ponto Novo e Pindobaçu. Para a bacia do Paraguaçu o destaque foi para Pedra do Cavalo, São José do Jacuípe e Bandeira de Melo. Além disso, os valores das variáveis do IHA avaliadas, que se referem diretamente à vazão (mediana mensal, vazões mínimas de 7 dias e vazão máxima de 1 dia) mostraram uma tendência à redução no período que compreende os anos de 1977 a 1991 em relação ao primeiro período (1963 a

1976). Para as estiagens houve aumento na quantidade e redução na duração. Para as cheias identificou-se redução e para número de reversões houve aumento.

Nota-se, então, uma característica na bacia do Itapicuru de mais variabilidade para seções fluviais de menores áreas de drenagem e também de cabeceira de rio. A tendência da variabilidade mais expressiva para seções de cabeceira não se repete na bacia do rio Paraguaçu, uma vez que nessa as maiores variabilidades foram observadas em seções fluviais de trecho médio e baixo dos rios, para essa bacia. Notou-se, ainda, que a intermitência de alguns trechos impõe grande interferência na variabilidade.

6.3.2. Avaliação das Alterações nos Regimes Hidrológicos em Função das Barragens

Assim como no item 6.2.1, os resultados obtidos referentes a alterações hidrológicas das seções fluviais avaliadas são aqui apresentados em gráficos *boxplot* para melhor observação visual. Nos gráficos os resultados estão apresentados para condição não impactada (NI) e condição impactada (I) evidenciando valores mínimos, medianos e máximos de alguns indicadores hidrológicos. Para complementar a análise do comportamento das vazões, são apresentados também os resultados gráficos fornecidos pelo IHA.

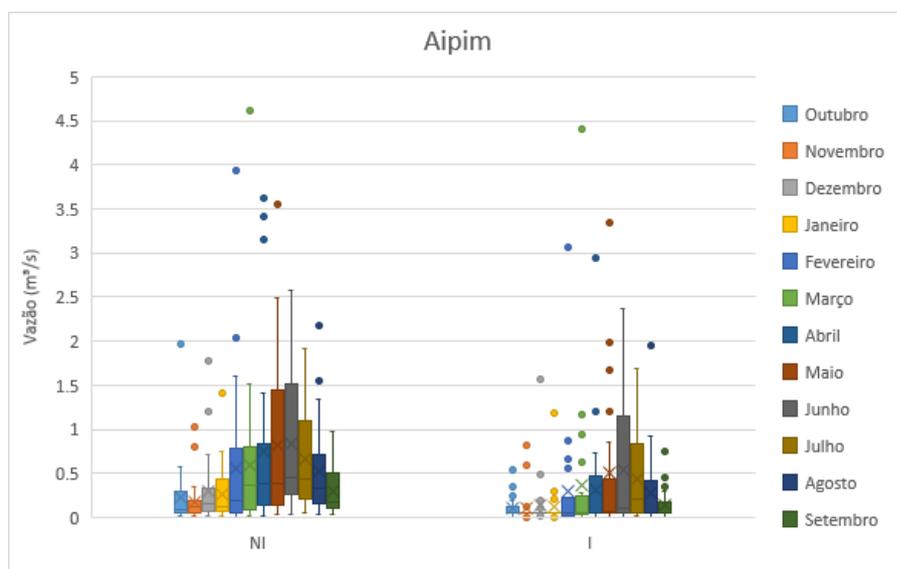
6.3.2.1. Magnitude das vazões medianas mensais

A Figura 47 apresenta os resultados das estatísticas de magnitude das vazões medianas mensais para as seções fluviais estudadas, referidas pelo nome das barragens ali situadas ou previstas. Cada mês está representado por um *boxplot* e uma cor apresentada na legenda.

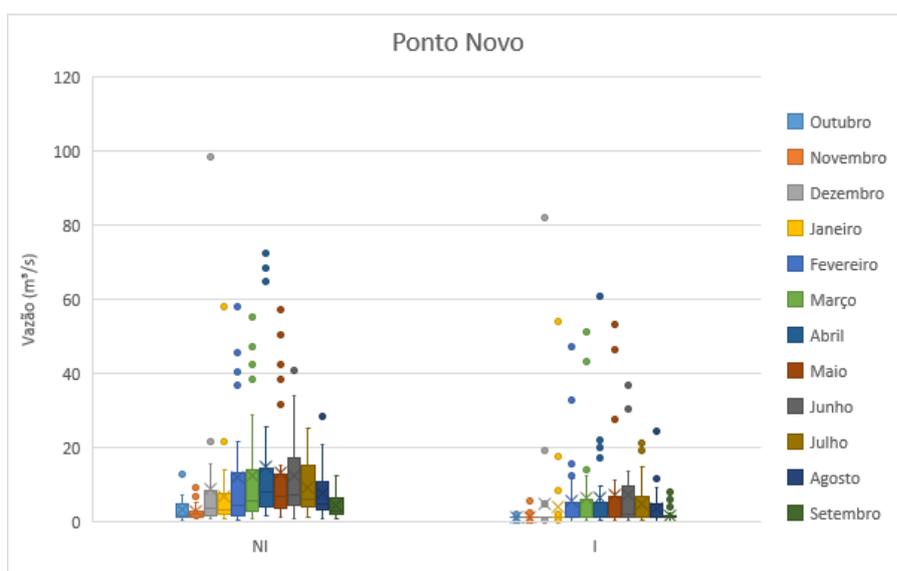
Na avaliação da condição alterada das seções, com relação à bacia do Itapicuru as maiores variações mensais, assim como na avaliação do regime natural das vazões, são observadas para a seção de Ponto Novo, com alterações entre a condição sem impacto e a condição impactada. A seção de Aipim apresentou a menor variação principalmente para os valores medianos e mínimos, uma vez que esses valores pouco se alteram de uma condição para outra. Para as seções definidas pelas

barragens do rio Paraguaçu analisadas, a maior variação para esse parâmetro foi identificada para a seção de Pedra do Cavalo e as menores variações registradas para Casa Branca.

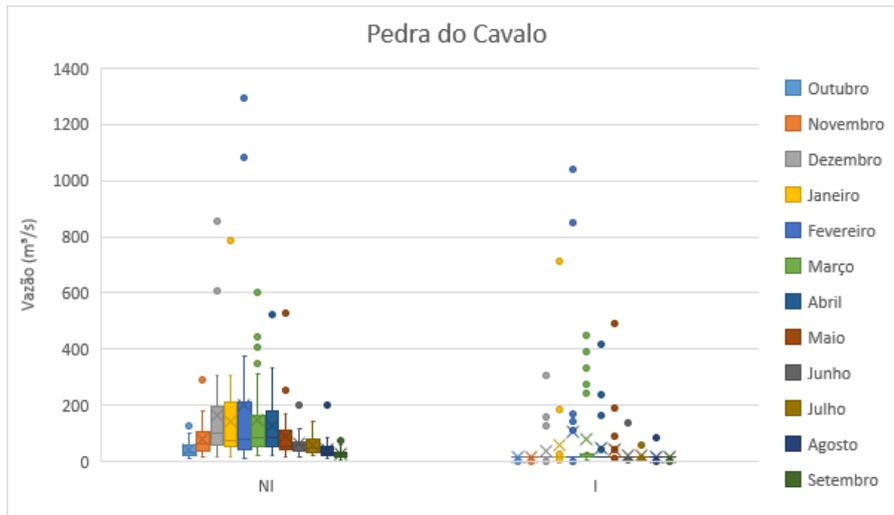
Figura 47 Magnitude da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) mensais das bacias do Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) – casos de maior e menor alteração



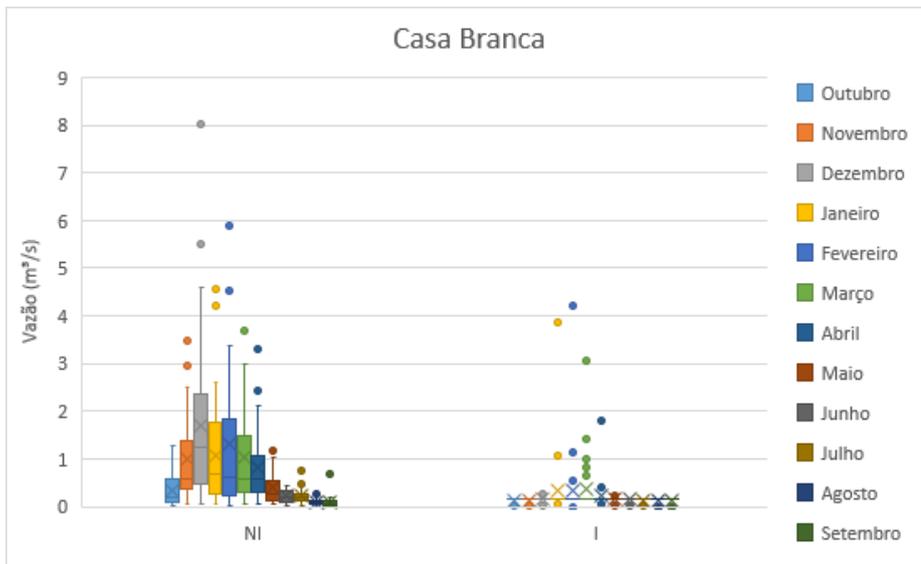
(a.1)



(a.2)



(b.1)



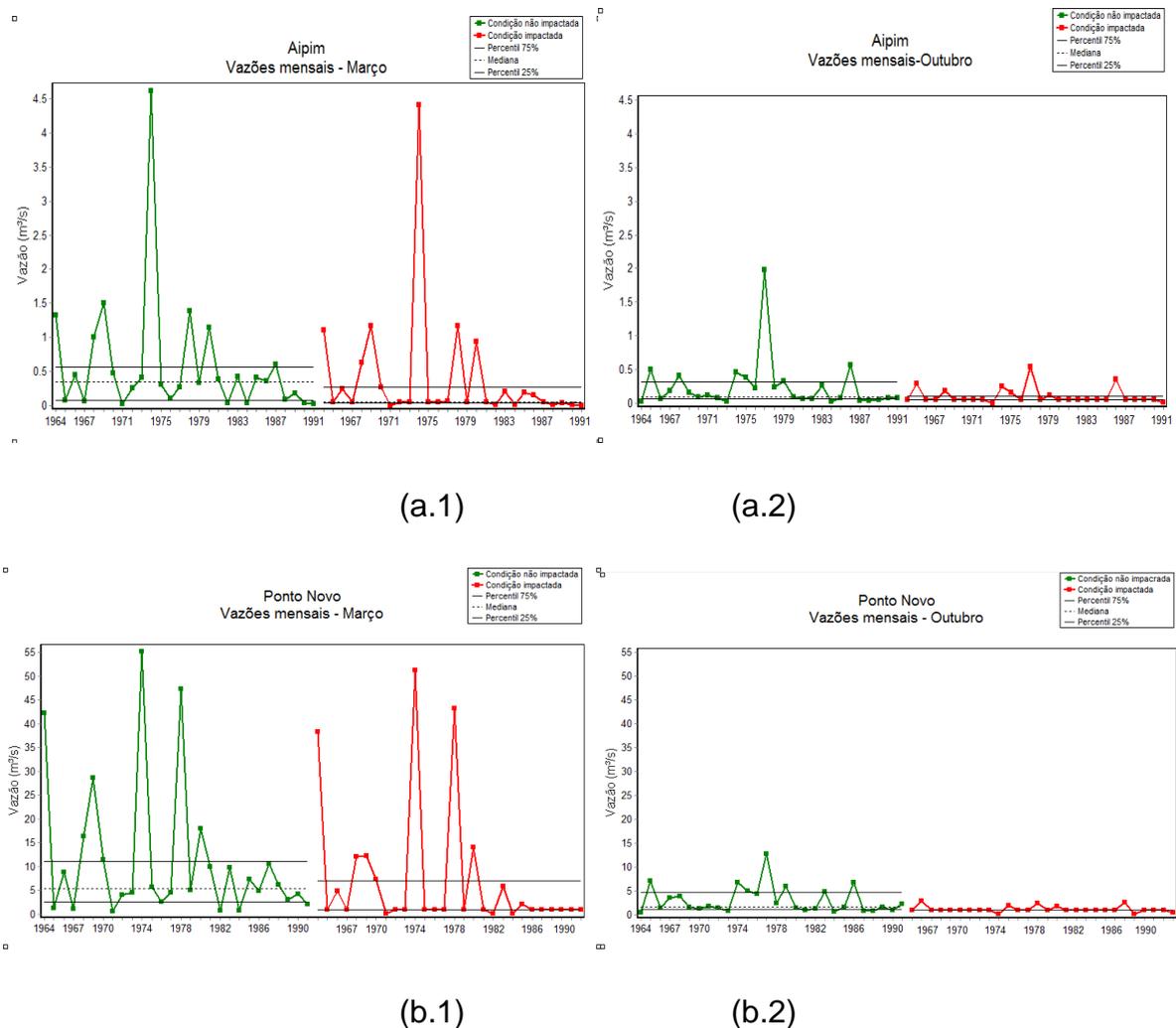
(b.2)

Fonte: Própria

As seções definidas pelas barragens de ambas as bacias estudadas demonstram uma característica geral de redução dos valores das medianas das vazões da condição não impactada para a condição impactada.

A Figura 48 traz o comportamento das vazões no mês de março e outubro para as seções fluviais de Aipim e Ponto Novo, enquanto a Figura 49 traz o comportamento das seções fluviais de Pedra do Cavalo e Casa Branca visando avaliar a magnitude das vazões ocorridas nos meses de fevereiro e setembro, para a segunda, visando representar o período úmido e período seco.

Figura 48 Vazões mensais: (a.1) Aipim – março; (a.2) Aipim – outubro; (b.1) Ponto Novo – março e (b.2) Pedras Altas – outubro

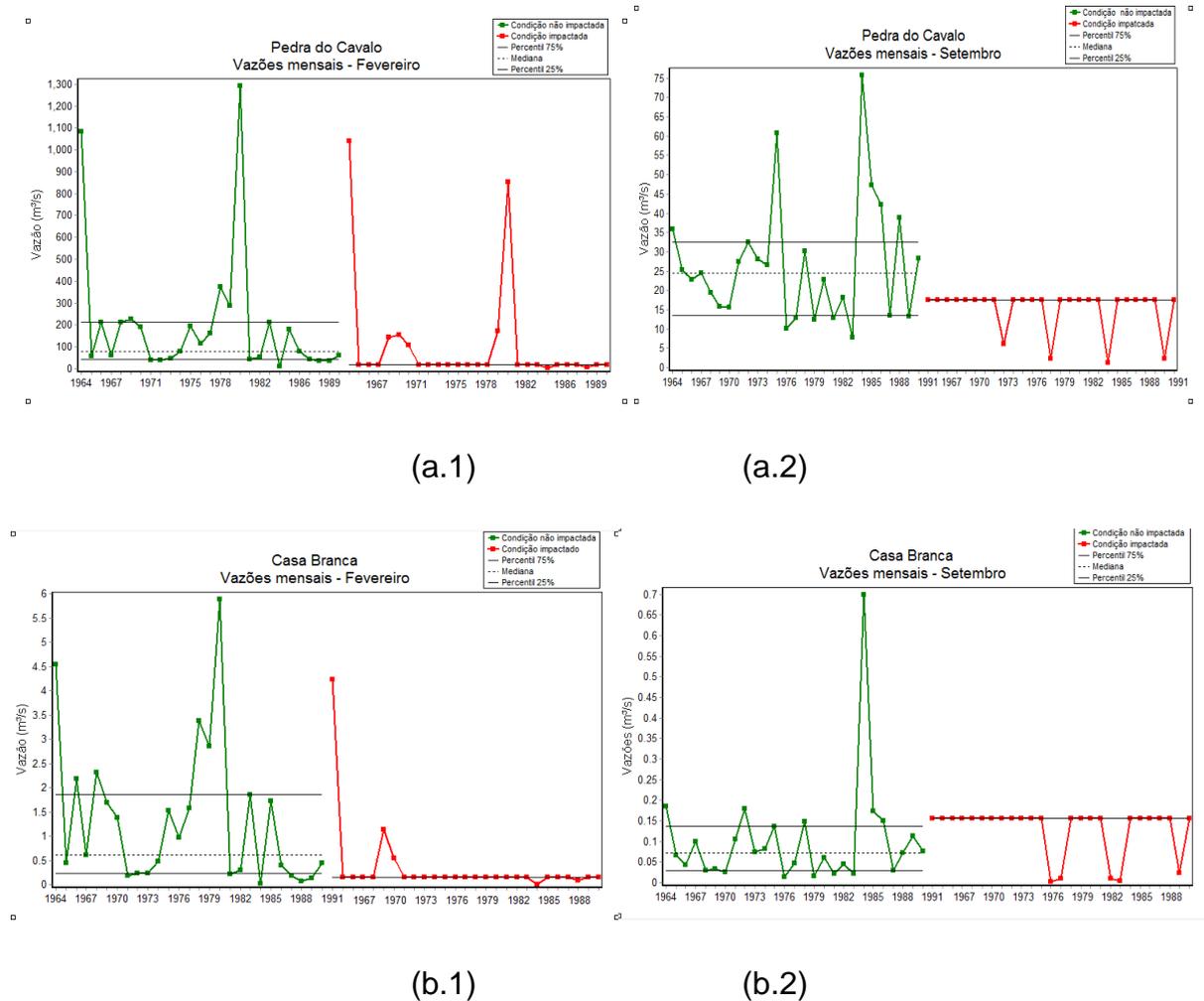


Fonte: Própria

É possível observar nas seções fluviais da bacia do rio Itapicuru que a presença dos reservatórios provocou a redução da mediana das magnitudes das vazões diárias gerando maior impacto na regularização das menores destas vazões. No período úmido (março) em Aipim, a presença da barragem fez com que a maior parte das vazões se concentrasse entre a mediana e o percentil 25%. No período seco os valores se mantiveram próximos ao percentil 25%, evidenciando a redução das vazões mais destacada nessa condição. Em Ponto Novo o comportamento das vazões no período úmido após a operação do reservatório se assemelha a Aipim, de modo que há em ambos os casos deslocamento da mediana da condição impactada para o valor do percentil 25% da condição naturalizada. Nota-se mais uma vez

redução das menores vazões, e no período seco essas vazões assumem o valor do percentil 25%.

Figura 49 Vazões mensais: (a.1) Pedra do Cavalo – fevereiro; (a.2) Pedra do Cavalo – setembro; (b.1) Casa Branca – fevereiro e (b.2) Casa Branca – setembro



Fonte: Própria

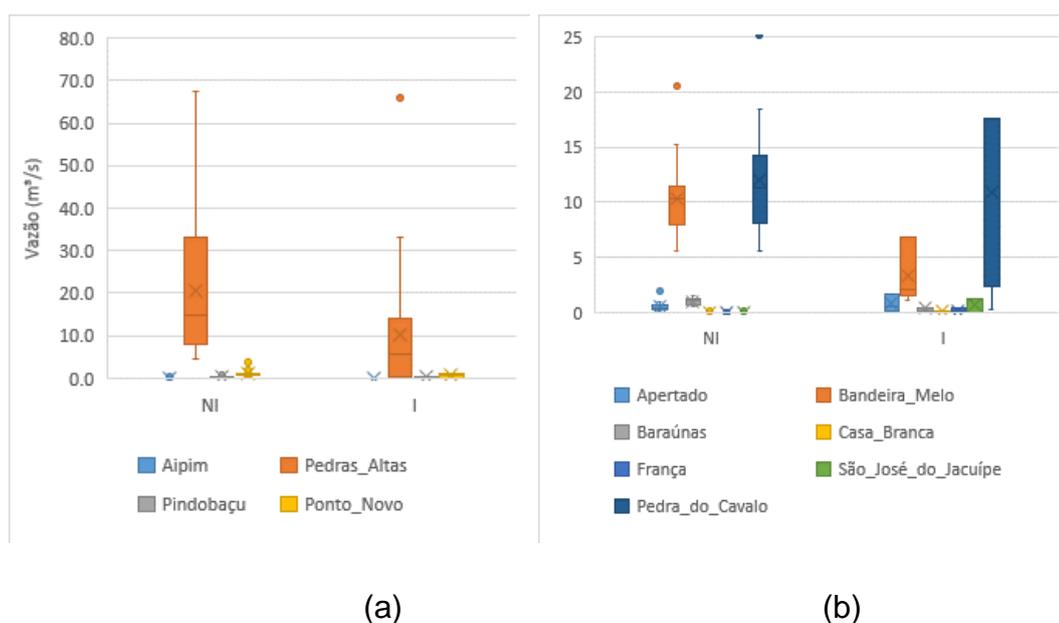
Nas seções da bacia do rio Paraguai também foi verificado a redução da magnitude das vazões diárias em cada mês na condição impactada. Em Pedra do Cavalo as maiores alterações foram verificadas no período seco, com redução nos valores das vazões medianas mensais para valores abaixo do percentil 75%. No período úmido as vazões apresentaram-se com valor igual ao percentil referido. Casa Branca apresentou redução expressiva das vazões no período úmido e aumento dos valores medianos e máximos para o período úmido, indicando um maior impacto nas vazões ocorridas no período úmido que podem provocar graves consequências no ecossistema à jusante.

É possível identificar aumento na constância nas vazões devido ao objetivo das barragens de armazenar água para provimento das demandas no período seco. Observa-se também que as grandes cheias não são afetadas drasticamente em nenhuma das seções. A redução significativa na mediana ocorre devido à definição da vazão remanescente e atenuação dos valores médios da vazão. A preservação de alguns picos observados no período seco em Aipim e Ponto Novo reflete um período úmido suficiente para suprir o período seco e possibilitar vazões a jusante maiores que a mínima remanescente. Entretanto a identificação de vazões abaixo da mediana em Pedra do Cavalo e Casa Branca reflete a demanda considerada na operação dos reservatórios que os levam a situação mais crítica que pode ser observada.

6.3.2.2. Vazões mínimas, médias de 7 dias

A partir da Figura 50 nota-se que a variação em relação à vazão mínima de 7 dias de duração é maior para a seção definida por Ponto Novo na bacia do Itapicuru, enquanto que para a bacia do Paraguaçu a variação é mais acentuada para Pedra do Cavalo.

Figura 50 Magnitude das vazões mínimas anuais médias de 7 dias da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e do rio Paraguaçu (b)

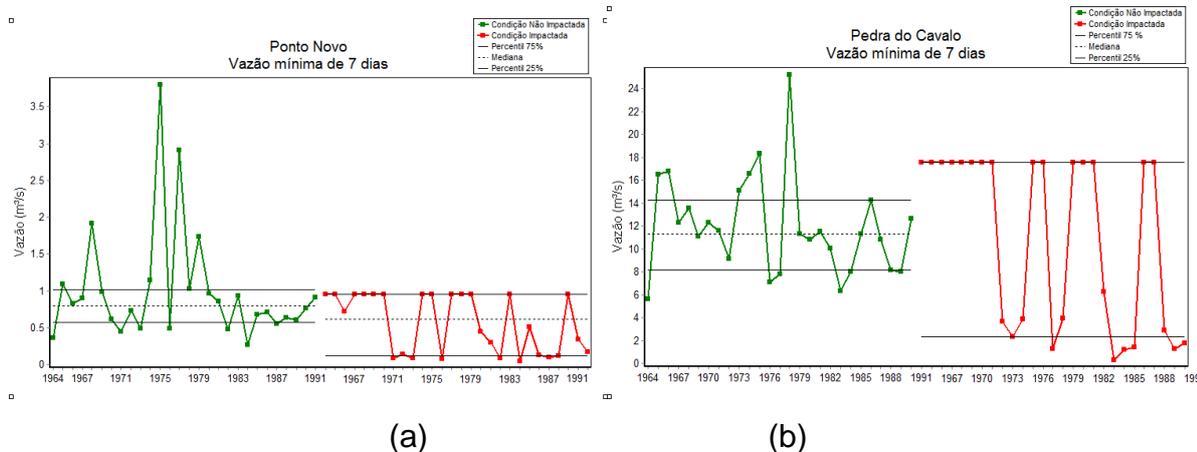


Fonte: Própria

Cabe observar que os máximos valores tendem a se igualar ou se aproximar da mediana, principalmente, refletindo a regularização das vazões das barragens a montante.

A Figura 51 traz o comportamento das vazões mínimas de 7 dias para Ponto Novo e Pedra do Cavalo. Como observado na Figura 50 essas seções foram as que se destacaram com maior variabilidade para as bacias estudadas.

Figura 51 Vazões mínimas de 7 dias: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo



Fonte: Própria

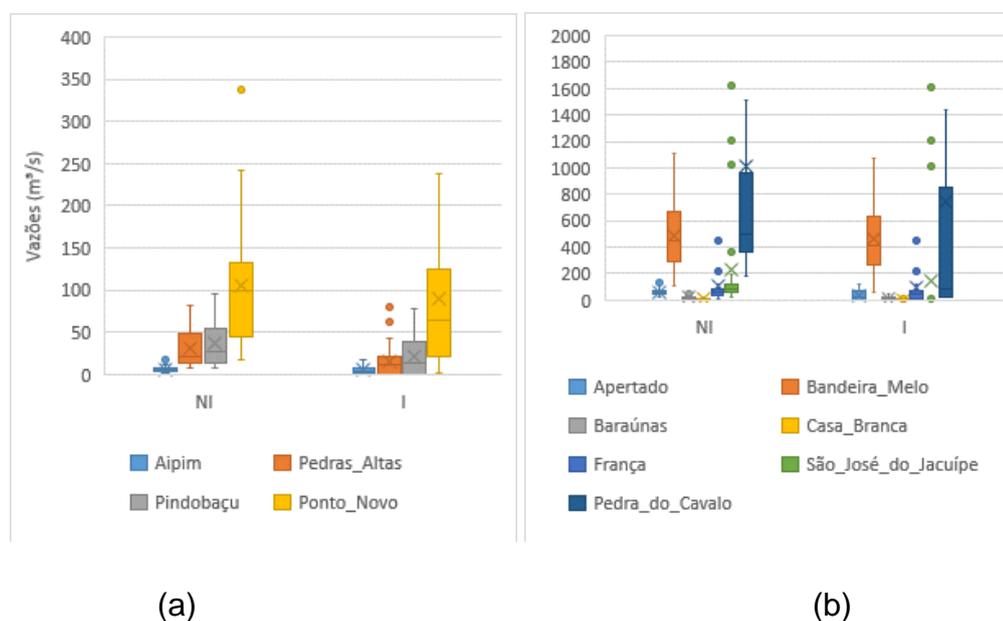
Em Ponto Novo é possível observar que houve uma mudança expressiva nas vazões mínimas com duração de 7 dias devido a regularização das vazões relacionada a vazão mínima de operação da barragem, e em 13 eventos a vazão se iguala ao percentil 75%, que na condição impactada assume o valor da vazão remanescente calculada. Entretanto, é possível observar que as abstrações para atender às demandas impactam de tal forma o regime hidrológico que em alguns eventos as vazões são muito inferiores à vazão remanescente.

Pedra do Cavalo demonstra uma aumento na ocorrência de vazões com grandeza na ordem de 18 m³/s, que corresponde à vazão mínima remanescente calculada após operação do reservatório, que provocou aumento na mediana. Esse resultado indica que a regularização dessas barragens promove, nessa seção fluvial, o aumento das vazões mínimas.

6.3.2.3. Vazões diárias máximas

Na Figura 52 é possível identificar a redução dos valores da mediana, dos maiores e menores valores da condição não impactada para a condição impactada. O valor do outlier máximo da vazão diária máxima de 1 dia para Pedra do Cavalo chegaram a 5.000 m³/s, para as seções do Paraguaçu o eixo foi limitado em 2.000m³/s.

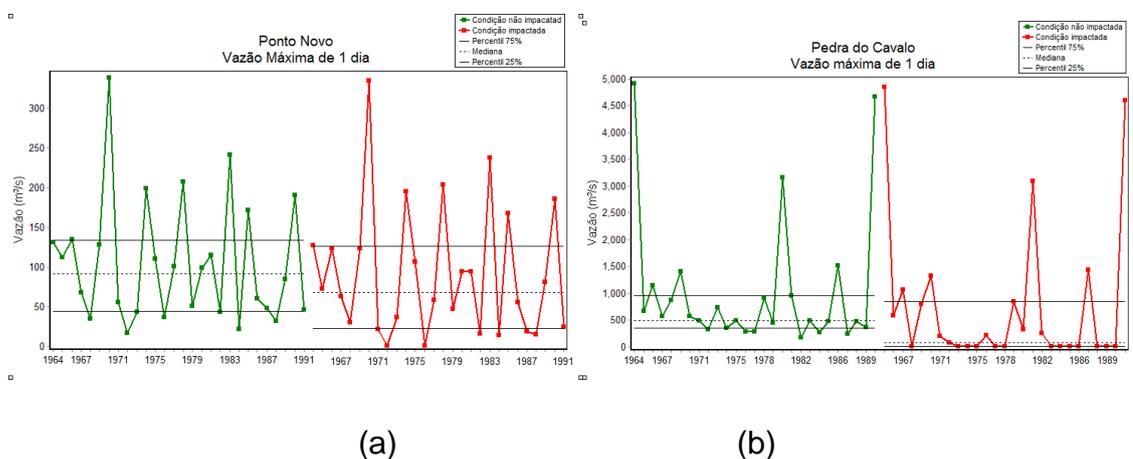
Figura 52 Magnitude das vazões máximas de 1 dia da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

A Figura 53 demonstra o comportamento das vazões máximas de 1 dia em Ponto Novo, e Pedra do Cavalo.

Figura 53 Vazões máximas de 1 dia: (a) Ponto Novo; (b) Pedra do Cavalo



Fonte: Própria

Em relação às vazões máximas de 1 dia em Ponto Novo não é possível identificar uma alteração expressiva nas vazões regularizadas apenas uma redução no valor da mediana e dos percentis após a operação do reservatório.

Para Pedra do Cavalo nota-se redução e maior ocorrência nos menores valores, provocando redução da mediana. Nota-se ainda que não houve grande impacto nos valores máximos. Para Ponto Novo a magnitude das vazões máximas também não diminuiu, significativamente, indicando que essas barragens não afetam as grandes cheias e que o reservatório enche com frequência.

A variabilidade ao longo dos anos para Ponto Novo é mantida. Cabe observar, que para Pedra do Cavalo e demais seções do Paraguaçu, as magnitudes das vazões medianas e dos mínimo valores são amortecidos, com exceção das máximas.

6.3.2.4. Dia de ocorrência das vazões extremas

Na análise do dia de ocorrência de vazões extremas (Figura 54) não foram identificadas variações significativas para as bacias avaliadas, com exceção de Pedras Altas, Apertado e Pedra do Cavalo para os eventos de cheias.

A Tabela 8 traz os dias julianos de ocorrência de vazões máximas e mínimas entre a condição não impactada (NI) e a condição impactada (I) para as 11 seções fluviais estudadas.

Tabela 8 Dia juliano de ocorrência de máximas e mínimas (condição não impactada e condição impactada)

Seções Fluviais	Mínima		Máxima	
	NI	I	NI	I
AIPIM	323	330	138	222
PEDRAS ALTAS	301	275	41.5	275
PINDOBAÇU	310	301	103	205
PONTO NOVO	314	332	68	179
APERTADO	265	275	35	334
BANDEIRA DE MELO	271	275	23	27
BARAÚNAS	274	275	28	50
CASA BRANCA	261	275	360	275
FRANÇA	287	275	21	77
SÃO JOSÉ DO JACUIPE	296	275	360	275
PEDRA DO CAVALO	269	275	45	275

Fonte: Própria

Nas (Figura 54) as legendas dos gráficos apresentam os nomes das barragens abreviados os quais são: AIP-Aipim; AP- Apertado, BM – Bandeira de Melo; BAR- Baraúnas; CB-Casa Branca; FR-França; PA-Pedras Altas; PIND-Pindobaçu; PN-Ponto Novo; SJ-São José do Jacuípe; PC-Pedra do Cavallo.

Figura 54 Dia de ocorrência das extremas da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) na bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



(a)



(b)

Fonte: Própria

É possível identificar uma maior alteração dos dias de ocorrência de vazões máximas para as seções da bacia do rio Itapicuru, isso pode estar relacionado ao fato de essa seções estarem próximas à cabeceiras, exceto Ponto Novo, dos

afluentes do rio Itapicuru e assim apresentam maior variabilidade na ocorrência das máximas.

É possível observar ainda a partir das Figura 54 e da Tabela 8, as mínimas na bacia do rio Itapicuru na condição não impactada ocorreram nos primeiros 20 dias de novembro para todas as seções fluviais. Por outro lado, na condição impactada em Aipim e Pono Novo a vazão mínima passou a ocorrer em dezembro, Pedras Altas em outubro, em Pindobaçu a ocorrência foi antecipada em 9 dias. Em relação as máximas, a ocorrência em Aipim foi alterada de maio para agosto da condição não impactada para a condição impactada, enquanto em Pedras Altas a alteração foi de fevereiro para outubro, Pindobaçu de abril para julho e Ponto Novo de março para junho.

Para a bacia do rio Paraguaçu, a ocorrência da vazão mínima na condição impactada prevaleceu em outubro para todas as seções fluviais. Para Apertado, essa ocorrência foi alterada de setembro na condição não impactada para outubro na condição impactada, assim como Casa Branca e Pedra do Cavalo e para as demais seções a alteração foi em dias no mês de outubro. Para a vazão máxima, a alteração em Apertado foi de fevereiro para outubro, sendo assim antecipada. Em Bandeira de Melo, a alteração foi apenas de dias em janeiro e em Baraúnas essa alteração foi de um mês (janeiro para fevereiro). O comportamento em Casa Branca e São José do Jacuípe foi semelhante, com alteração da ocorrência da vazão máxima anual de dezembro para outubro, sendo assim antecipada na condição impactada. Em França, a ocorrência foi alterada de janeiro para março e em Pedra do Cavalo de fevereiro para outubro, também com antecipação das cheias.

Nota-se que as mínimas ocorrem entre outubro e novembro para todas as seções fluviais estudadas, e máximas se alternam entre os meses do final do ano e os meses iniciais.

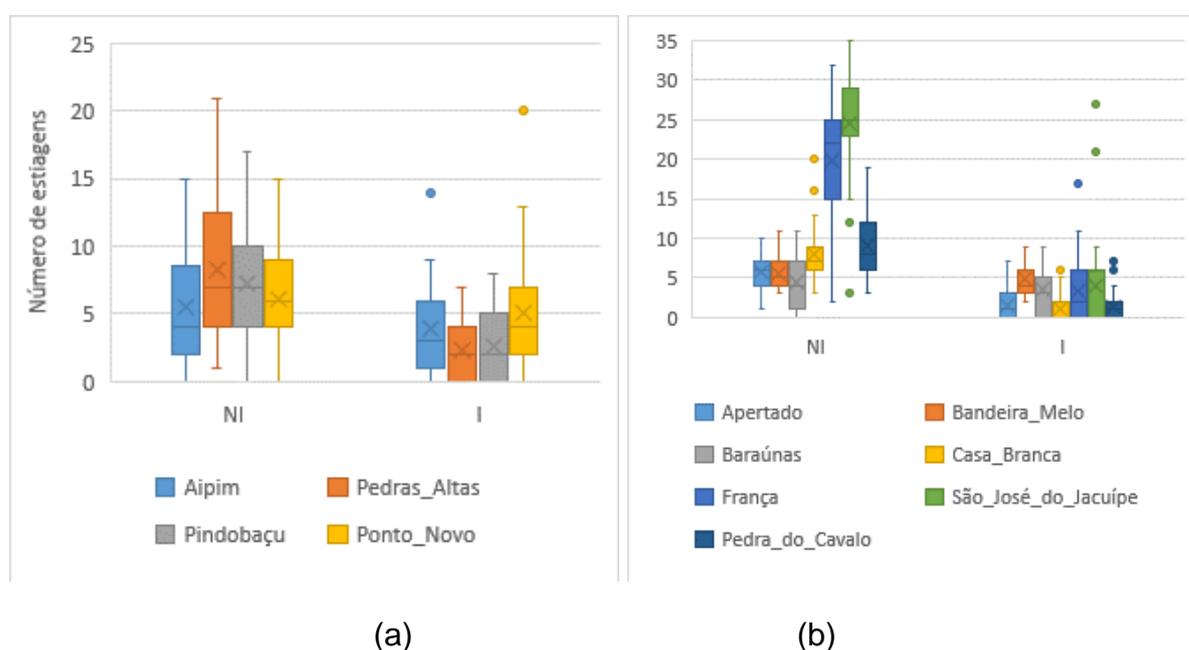
6.3.2.1. Número de ocorrência de estiagens

Para o parâmetro quantidade de estiagens em cada ano, para a bacia do rio Itapicuru (Figura 55a), as seções definidas por Pedras Altas e Pindobaçu se destacam com a maior variação, principalmente para máximos e medianas. Na bacia

do rio Paraguaçu as seções definidas por França e São José do Jacuípe aparecem com a maior variabilidade para essa variável.

Nota-se uma redução na quantidade de estiagens para todas as seções com exceção dos valores máximos de Ponto Novo e Bandeira de Melo, para os menores valores praticamente não há variação, assim como para as medianas em Aipim e Ponto Novo.

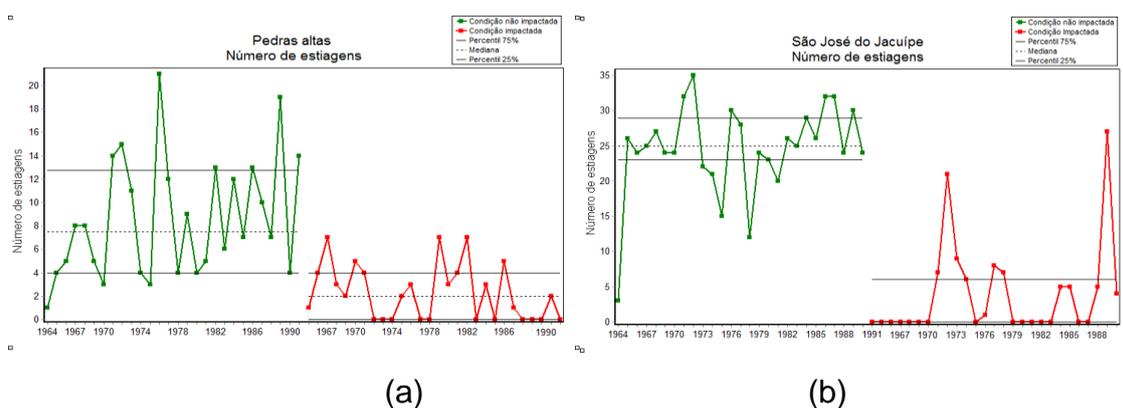
Figura 55 Número de ocorrência de estiagens durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

O comportamento da quantidade de estiagens durante o ano para Pedras Altas e São José Do Jacuípe pode ser observado na Figura 56.

Figura 56 Representação da quantidade estiagens durante o ano: (a) Pedras Altas e (b) São José do Jacuípe



Fonte: Própria

É notável que a quantidade, de estiagens durante o ano reduziu drasticamente para ambas as seções fluviais após a operação dos reservatórios, com redução da mediana chegando a quase zero para São José do Jacuípe. Para alguns anos a quantidade de estiagens apresenta valores extremamente baixos. Esse comportamento pode ser reflexo do efeito que o atendimento às vazões outorgáveis provocou no sistema. A vazão remanescente influencia também nessa variável para Pedras Altas, pois ela possui um valor inferior ao percentil 25 %, representando uma estiagem. Dessa forma, a permanência da vazão remanescente aumenta, a quantidade de contagem das estiagens diminui e a duração desse evento aumenta. O aumento na contagem das estiagens provoca por consequência o aumento nas durações computada no IHA.

Para Poff *et al.* (1997) a frequência com que as estiagens, e também cheias, acontecem é relevante para os processos de conectividade e desconectividade entre hábitats e o canal. Desse modo, as alterações na ocorrência das estiagens identificadas nas seções estudadas podem provocar consequências nos sistemas fluviais, no que se refere ao ciclo reprodutivo das espécies e atendimento à usos de água no trecho à jusante. .

6.3.2.2. Duração das estiagens

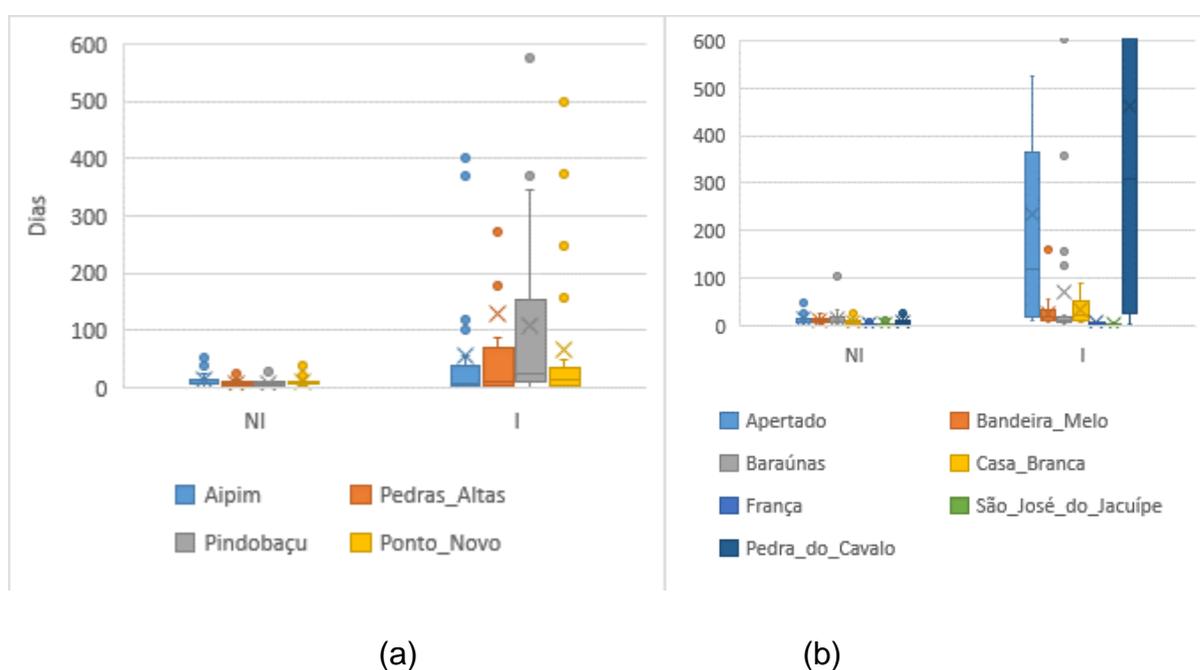
No que se referem à duração das estiagens (Figura 57) Pindobaçu apresenta valores máximos de duração de 400 dias e Pedras Altas de aproximadamente 90 dias na condição impactada, e assim demonstram as maiores variações, uma vez que na condição não impactada esses valores eram próximos a 25 dias. Em relação as medianas, Pedras Altas e Pindobaçu demonstram a maior variação. Além disso, identifica-se uma grande amplitude entre os maiores valores e as medianas. Devido aos elevados valores dos outliers observados em Pedras Altas e Pindobaçu o eixo das ordenadas foi limitado em 600 dias, para melhor visualizar as medianas e mínimas.

Na bacia do rio Paraguaçu, as durações são bastante irregulares, com grande variação (aumento) em termos de máximas, principalmente para Apertado, Baraúnas e Pedra do Cavalo. Para as medianas da duração das estiagens, destacam-se Pedra do Cavalo e Apertado e os mínimos valores não sofreram

grandes variações de uma condição para outra. O eixo do gráfico referente a bacia do Paraguaçu também foi limitado em 600 dias, para melhor visualizar as medianas e mínimas.

Observa-se que a duração das estiagens se comportou inversamente à quantidade das mesmas, de modo que se identifica o comportamento de quanto menor a quantidade de estiagens maior será a duração dessa estiagem para essas seções.

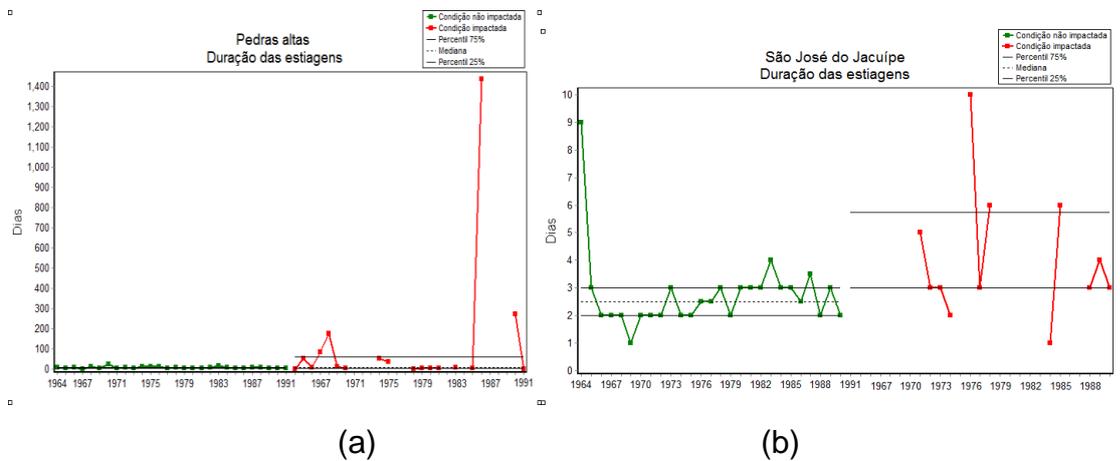
Figura 57 Duração de estiagens durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada



Fonte: Própria

A Figura 58 apresenta o comportamento da duração de estiagens durante o ano para Pedras Altas e São José do Jacuípe, que se destacaram como as seções com maior variação para essa variável.

Figura 58 Variação da duração das estiagens no tempo: (a) Pedras Altas; (b) São José do Jacuípe



Fonte: Própria

Os resultados evidenciam o que pode ser observado também na Figura 57, que ocorrem eventos discrepantes com duração superior a 2 anos para algumas seções como Pedras Altas. Esses valores discrepantes ocorrem pois o IHA só considera que uma estiagem acabou quando outra começa, e assim acaba por englobar um intervalo de tempo nos quais elas não ocorreram de fato. Para essa variável está aqui apresentado o gráfico de São José do Jacuípe para representar as seções da bacia do rio Paraguaçu, para permitir a comparação com os resultados da variável quantidade de estiagens. Dessa forma, é possível visualizar que a tendência dessa seções é de aumentar a duração das estiagens quando a quantidade das mesmas é reduzida, e diminuir quando a quantidade se eleva.

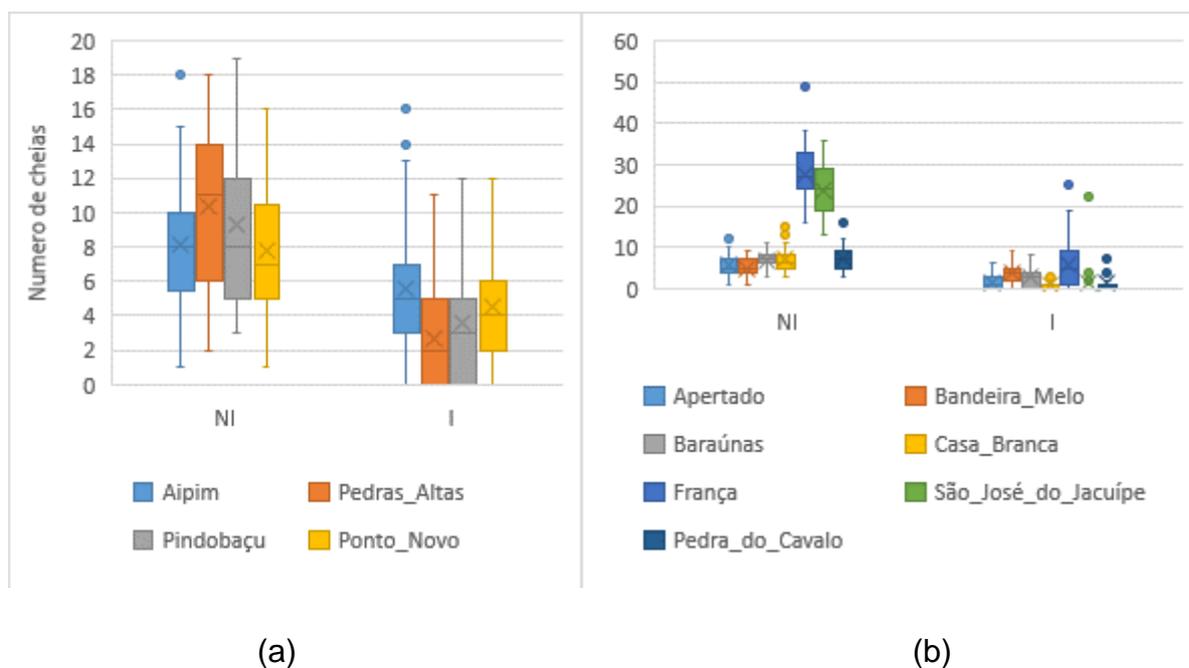
6.3.2.3. Número de ocorrência de cheias

Na Figura 59, é feita referência ao parâmetro quantidade de cheias, para o qual se destacam França e São José do Jacuípe com maior variação e amplitude e, referindo-se às bacias do rio Itapicuru, Pedras Altas, Pindobaçu e Ponto Novo se destacam, essas duas últimas apresentando variação semelhantes principalmente para medianas. Observa-se que as maiores variações nas seções ocorreram mais uma vez para os valores máximos e medianas para a bacia do Itapicuru.

Em França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo é possível identificar ainda um redução nas mínimas entre uma condição para a outras.

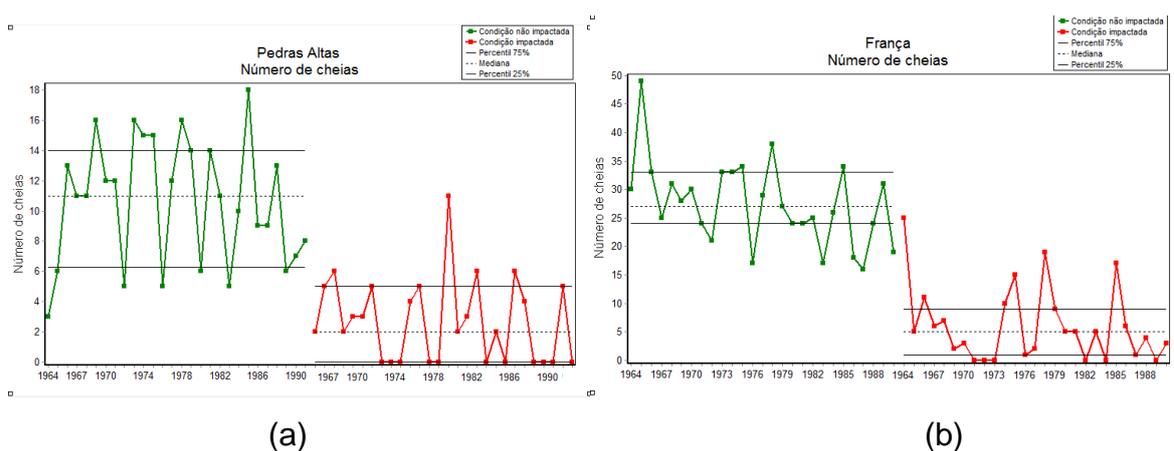
A Figura 60 demonstra a frequência das cheias durante o anos das seções fluviais de Pedras Altas e França, que apresentaram destaque nas alterações, para complementação da análise.

Figura 59 Número de ocorrência de cheias durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b)



Fonte: Própria

Figura 60 Representação da quantidade de cheias durante o ano: (a) Pedras Altas e (b) França



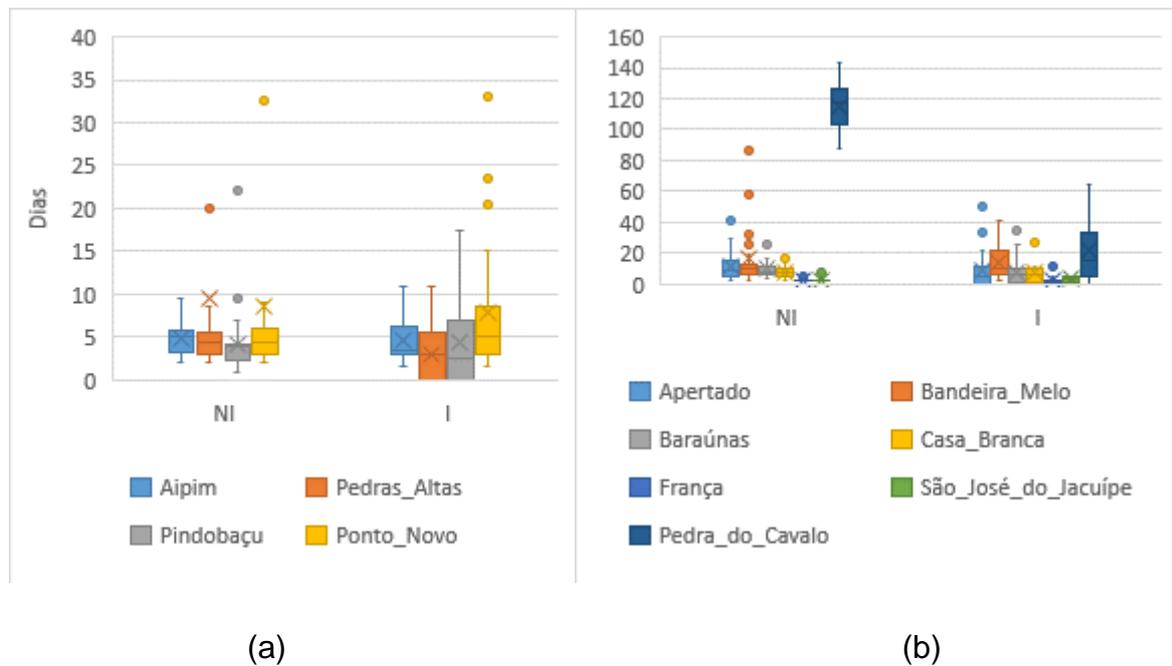
Fonte: Própria

Para as cheias a operação dos reservatórios provocou a diminuição dos valores máximos e mínimos nas duas seções apresentadas. As seções apresentam alteração em todos os valores sofrem reduções. Pode-se inferir que a regularização de Pedras Altas e França provoca grande impacto e que o atendimento às demandas afetou a ocorrência de cheias à jusante da barragem.

6.3.2.4. Duração de cheias

A maior variação de duração de cheias observada para a bacia do rio Itapicuru (Figura 61a) é registrada para os valores máximos de Pedras Altas, e Pindobaçu a menor variação. Para a bacia do rio Paraguaçu as maiores variações na duração das cheias ocorreram nas medianas em Pedra do Cavalo e nos máximos valores em Bandeira de Melo. É importante destacar que as variações para os valores mínimos e para as medianas foram menores de uma condição para outra tendo mais destaque os valores máximos.

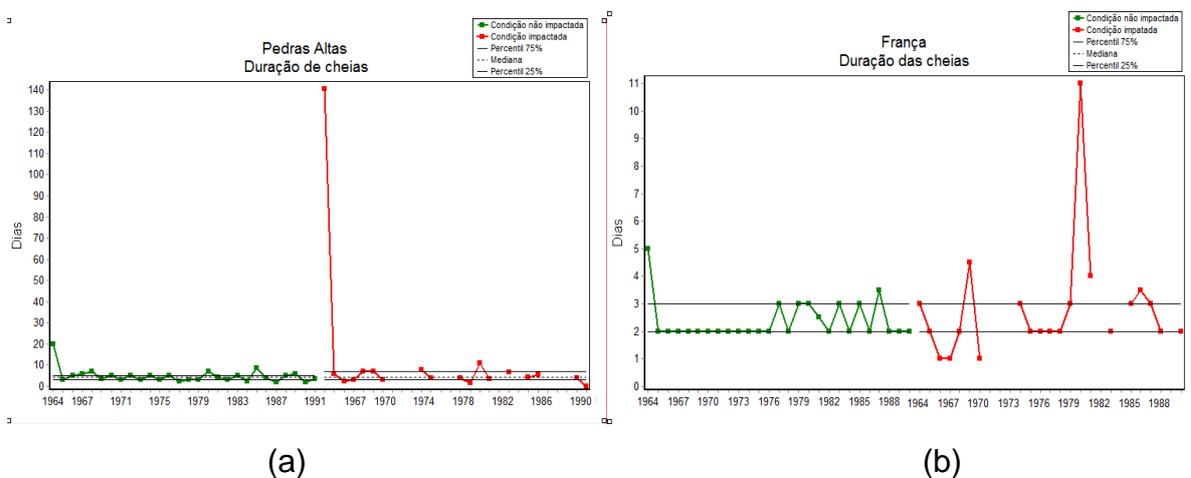
Figura 61 Duração de cheias durante o ano da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada



Fonte: Própria

A Figura 62, por sua vez, demonstra a variação da duração das cheias das seções fluviais de Pedras Altas e França, para permitir a comparação com os gráficos relacionados à quantidade de cheias.

Figura 62 Variação da duração de cheias no tempo: (a) Pedras Altas; (b) França



Fonte: Própria

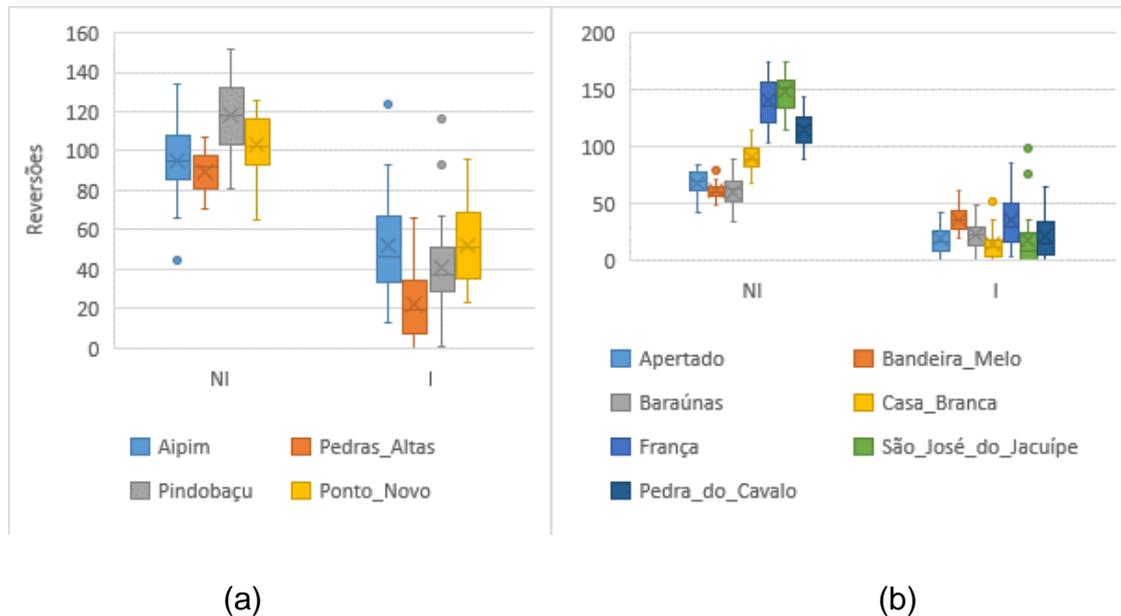
Os resultados para duração de cheias demonstram que para as seções onde a ocorrência de cheias foi maior, a duração das mesmas foi menor. Para Pedras Altas e França verificou-se a ocorrência de uma duração alterada pela operação do reservatório.

A seção de Pedras Altas e Bandeira de Melo apresentaram durações de cheias muito elevadas (140 e 85 dias respectivamente). Esse resultado pode ser reflexo do um pressuposto operacional de assumir o reservatório cheio já no início modelagem do sistema hídrico utilizando o WEAP, da qual foram obtidas as séries de vazões regularizadas.

6.3.2.5. Número de reversões diárias das vazões

A Figura 63 traz os resultados do número de reversões diárias das vazões nas bacias estudadas. É possível identificar em Pindobaçu a maior variação entre condição impactada e a condição não impactada para o Itapicuru e em São José do Jacuípe para a bacia do Paraguaçu. As variações do período não impactado para o período impactado foram maiores para os valores de mediana e valores máximos.

Figura 63 Número de reversões diárias de vazão da condição não impactada (NI) x condição impactada (I) para a bacia do rio Itapicuru (a) e Paraguaçu (b) para condição alterada



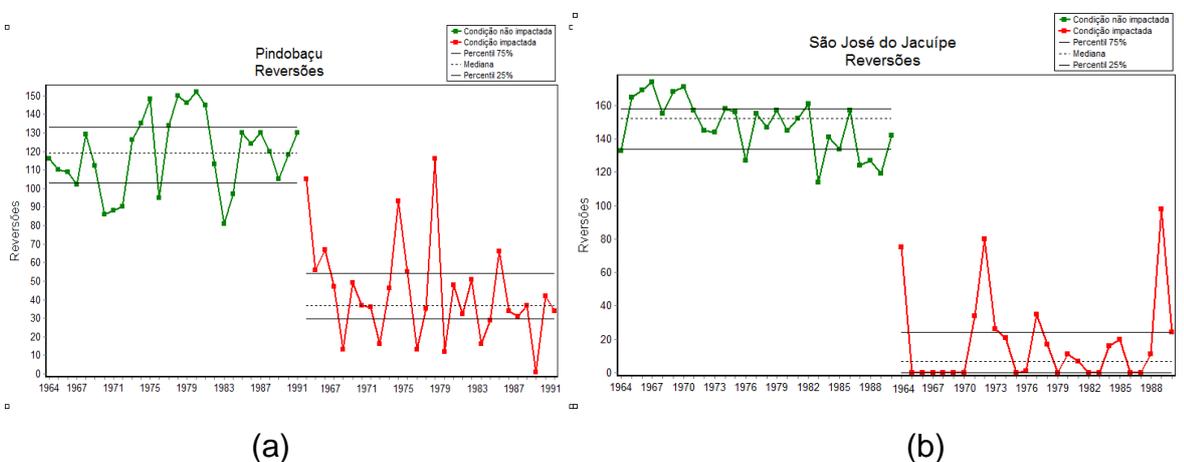
Fonte: Própria

O número de reversões diminuiu em todas as seções, devido a capacidade de regularização das barragens, que evita quantidade de mudanças das vazões baixa para altas e vice versa.

A redução observada significa que com a operação dos reservatórios a frequência das mudanças de uma magnitude de vazão para outras reduziu, tornando o regime mais previsível e menos variável.

A Figura 64 demonstra a variação do número de reversões das seções fluviais de Pindobaçu e São José do Jacuípe.

Figura 64 Número de reversões diárias de vazão: (a) Pindobaçu e (b) São José do Jacuípe



Fonte: Própria

Observa-se, mais uma vez, que a operação dos reservatórios provoca diminuição no número de reversões diárias tanto para Pindobaçu, quando para São José do Jacuípe, sendo que nesta última seção as alterações são mais expressivas inclusive com deslocamento da mediana para valores próximos a zero.

6.3.2.6. Curvas de Permanência

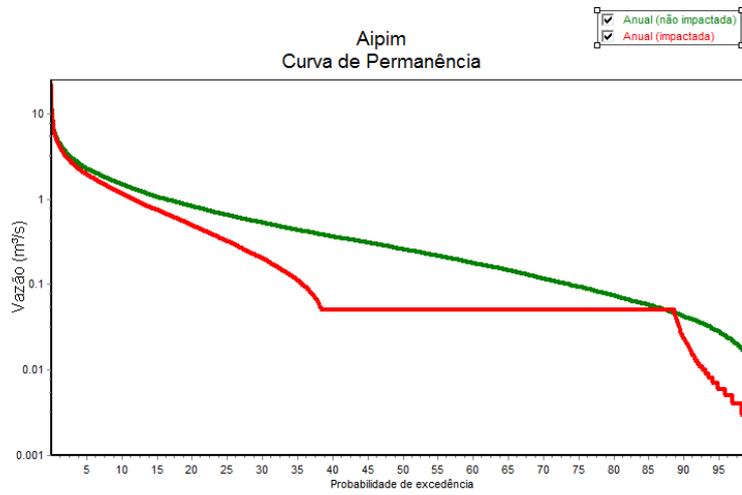
As curvas de permanência das vazões diárias nas seções das barragens das bacias do rio Itapicuru e Paraguaçu são apresentadas nas Figura 65 e Figura 66, respectivamente, com representação das vazões diárias em condição não impactada (verde) e em condição impactada (vermelho)

A curva de permanência consegue dar bastante evidência às alterações ocorridas após a operação do reservatório, confirmando a redução dos picos e das vazões altas pela capacidade de amortecimento das vazões pelo reservatório.

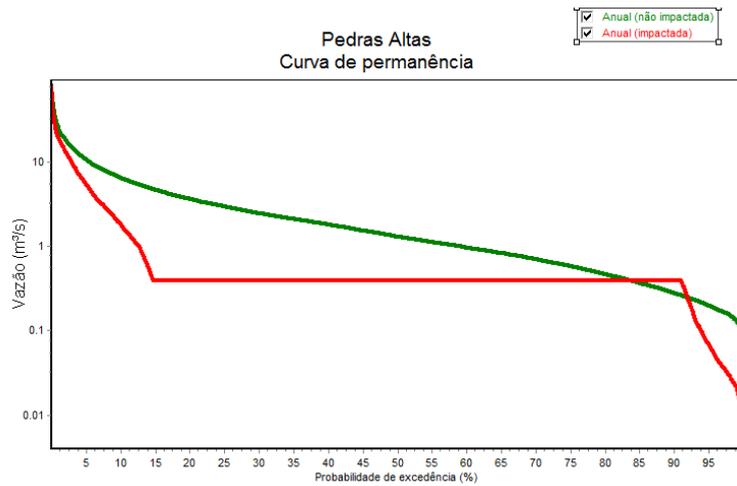
É possível identificar trechos das curvas que representam a condição impactada em que os valores formam uma reta paralela ao eixo x, e esses correspondem aos valores das vazões remanescentes. Tal comportamento indica que na maior parte do tempo os reservatórios são operados com a definição de demanda duvidosa quanto a requisitos ambientais, como destacado Por Yang et al. (2012), uma vez que a operação destina um percentual mínimo da vazão regularizada para a manutenção do ambiente à jusante sem levar em consideração aspectos como sazonalidade e variabilidade.

A operação desses reservatórios então, acaba provocado alterações tanto nas vazões máximas, quanto pra mínimas, e conseqüentemente graves impactos no trecho à jusante no regime hidrológico e no ambiente como apontaram Kandolf (1997), Postel & Richter (2003) e Tundisi (2011).

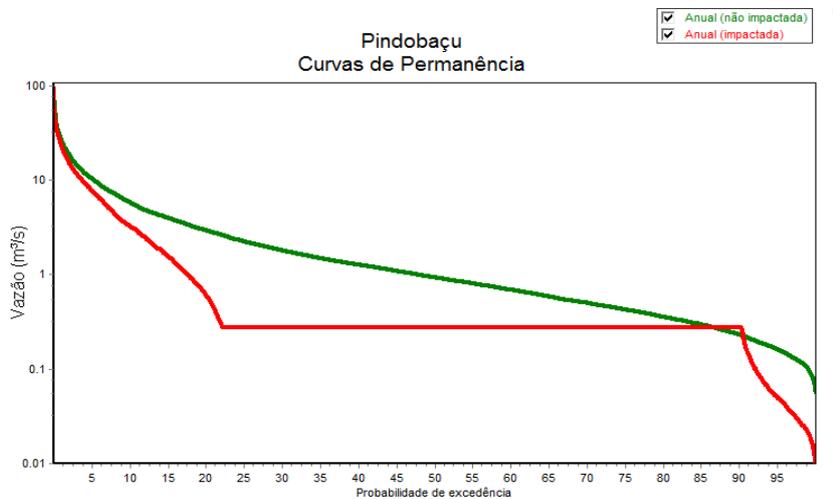
Figura 65 Curvas de Permanência de para as seções fluviais da bacia do rio Itapicurú: (a) Aipim; (b) Pindobaçu; (c) Pedras Altas; (d) Ponto Novo



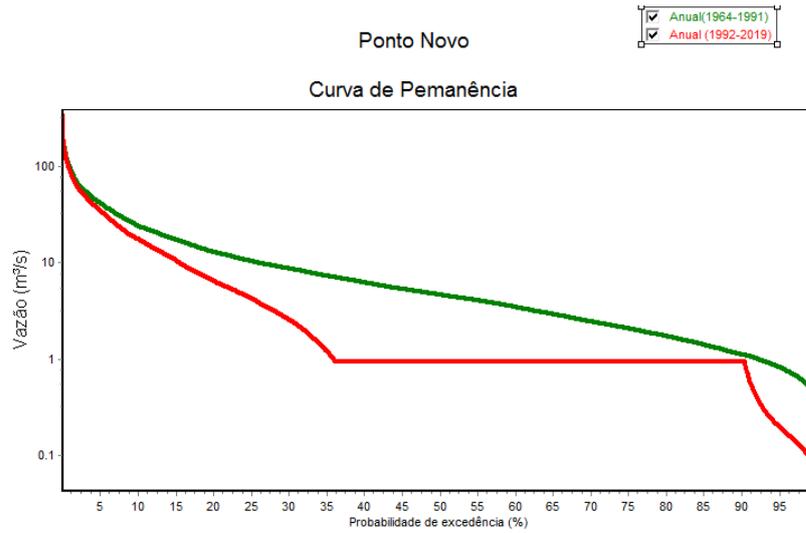
(a)



(b)



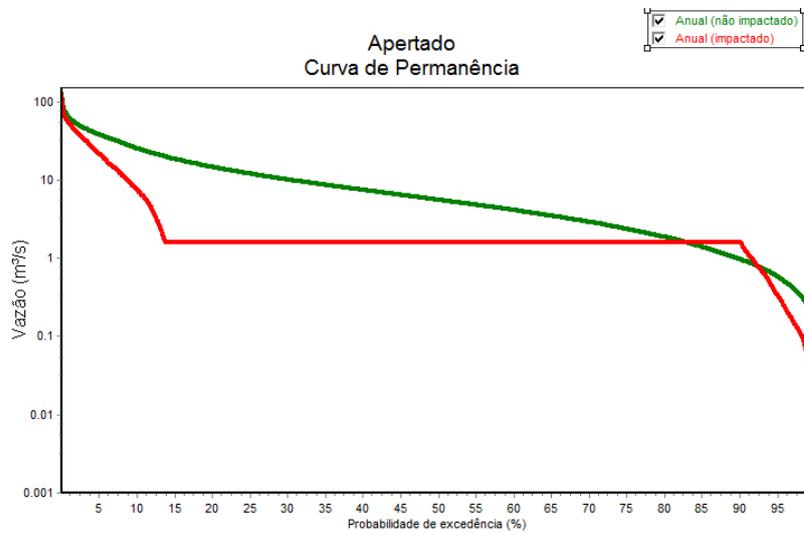
(c)



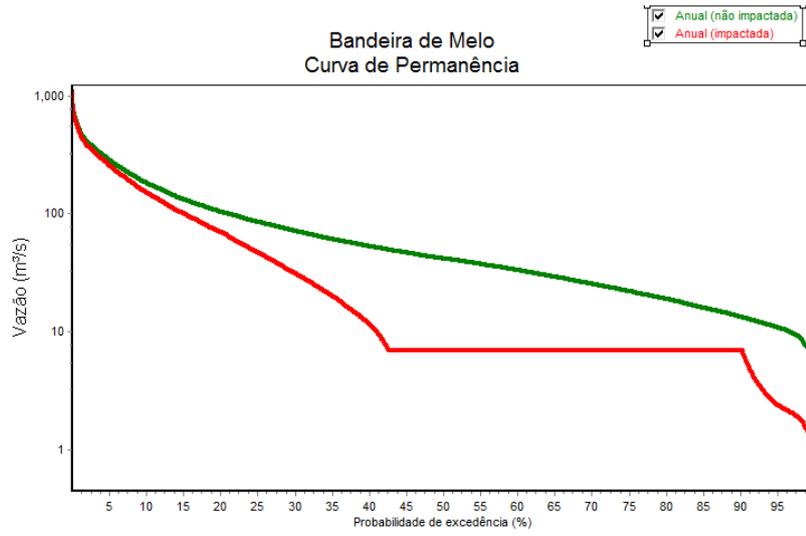
(d)

Fonte: Própria

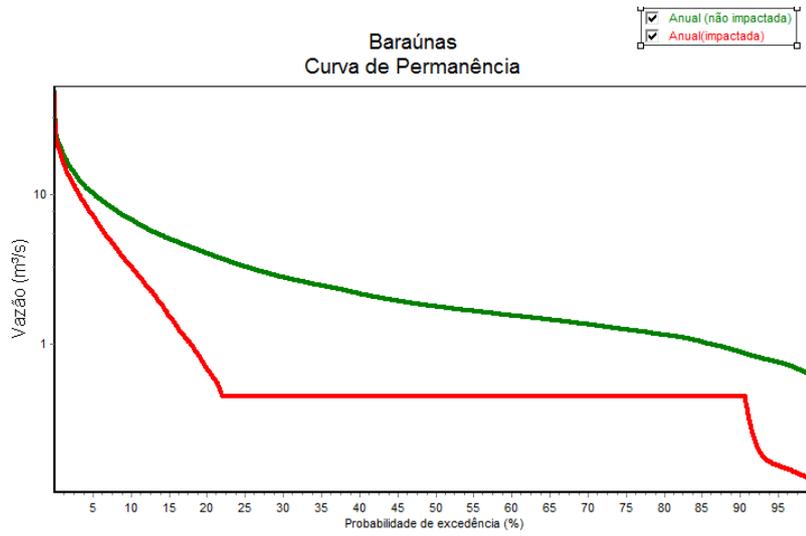
Figura 66 Curvas de Permanência de para as seções fluviais da bacia do rio Paraguaçu: (a) Apertado; (b) Bandeira de Melo; (c) Baraúnas; (d) Casa Branca; (e) França; (f) São José do Jacuípe; (g) Pedra do Cavalo



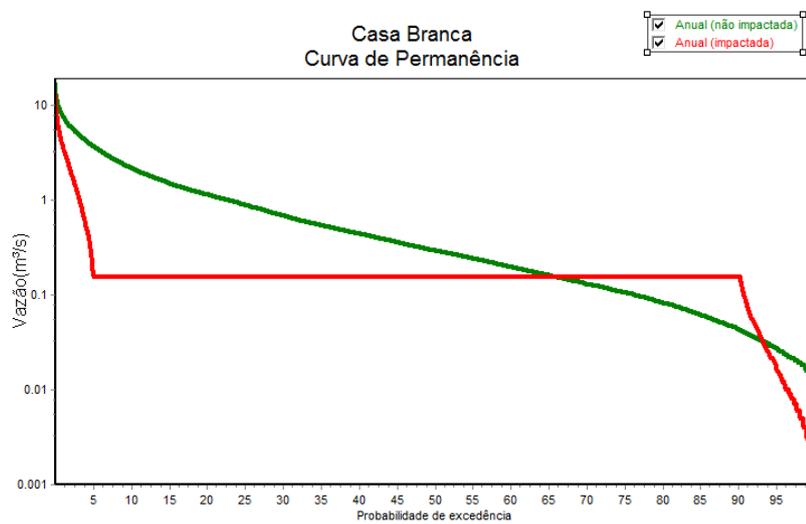
(a)



(b)

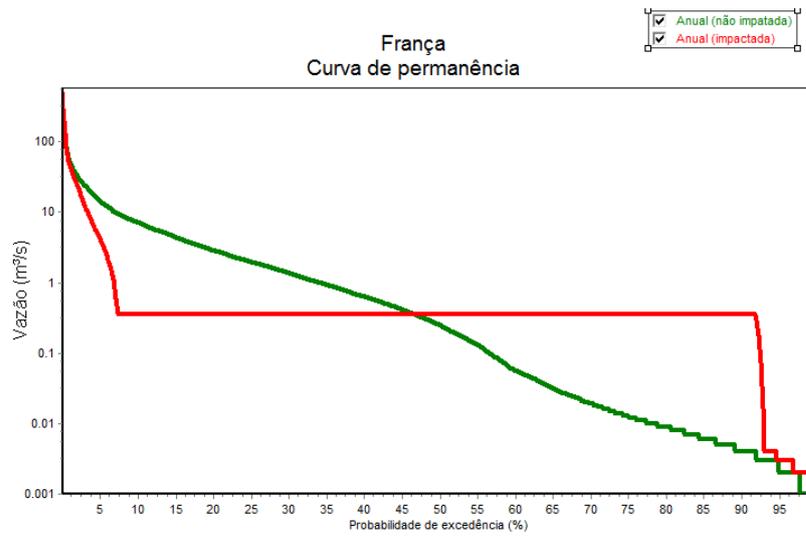


(c)



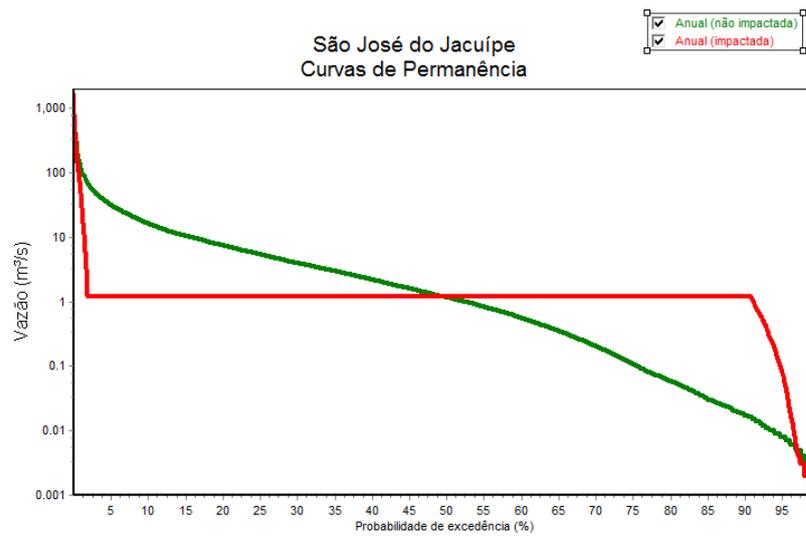
(d)

França
Curva de permanência

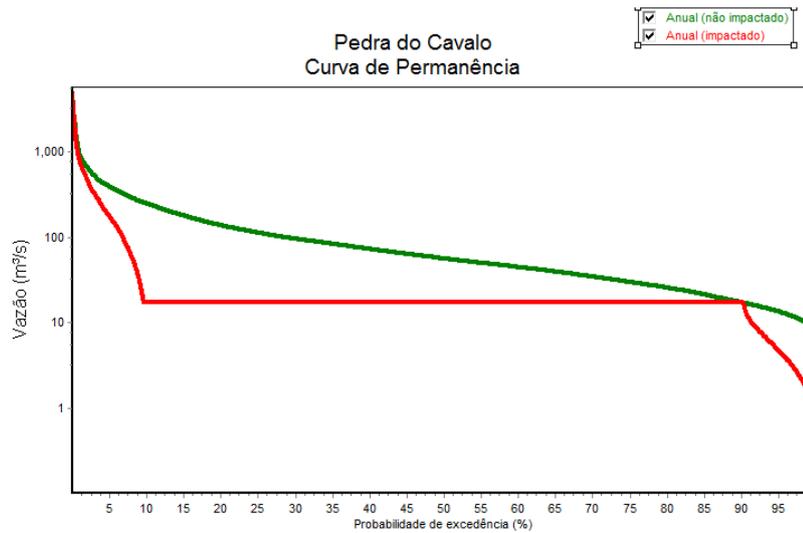


(e)

São José do Jacuípe
Curvas de Permanência



(f)



(g)

Fonte: Própria

Frente ao observado nas curvas de permanência, dentre as seções fluviais da bacia do rio Itapicuru, Pindobaçu e Pedras Altas se destacam com as maiores alterações e Aipim com as menores alterações.

Em relação à bacia do rio Paraguaçu as curvas de permanência evidenciam as maiores alterações ocorridas para São José do Jacuípe, Casa Branca e Baraúnas, e as menores em Apertado, Bandeira de Melo, França e Pedra do Cavalo. França e São José do Jacuípe demonstram um comportamento de aumento das vazões regularizadas, que reflete o aumento das vazões mínimas provocado pelo armazenamento do reservatório.

6.4. Classificação das Alterações Hidrológicas com metodologia DHRAM original

A classificação do impacto provocado por cada barragem sobre o regime hidrológico deriva dos resultados da aplicação do IHA, com utilização de análise paramétrica, sendo utilizados os valores de desvio de variáveis hidrológicas das vazões (entre condição não impactada e impactada), resultando as classificações que constam na Tabela 9, obtidos aplicando a metodologia DHRAM na sua forma original, apresentada por Black *et al.* (2005). A pontuação das barragens por grupo pode ser visualizada com mais detalhes no Quadro 18, Apêndice E.

Tabela 9 Resultado da classificação do grau de impacto das barragens utilizando metodologia de classificação DHRAM original

Barragens		Pontuação	Pontuação Final	Classificação Parcial	Classificação Final
Aipim	Media	4	6	Moderado	Moderado
	C.V.	2			
Pedras Altas	Media	10	18	Alto	Alto
	C.V.	8			
Pindobaçu	Media	8	12	Alto	Alto
	C.V.	4			
Ponto Novo	Media	8	12	Alto	Alto
	C.V.	4			
Apertado	Media	9	15	Alto	Alto
	C.V.	6			
Bandeira de Melo	Media	4	6	Moderado	Moderado
	C.V.	2			
Baraúnas	Media	8	15	Alto	Alto
	C.V.	7			
Casa Branca	Media	11	18	Alto	Alto
	C.V.	7			
França	Media	11	19	Alto	Severo
	C.V.	8			
São José do Jacuípe	Media	14	21	Severo	Severo
	C.V.	7			
Pedra do Cavalo	Media	12	20	Alto	Severo
	C.V.	8			

Fonte: Própria

Bandeira de Melo e Aipim como visto foram as seções nas quais se verificou as menores alterações no regime de vazões. Tais seções foram classificadas com Classe 3 (moderado impacto), entretanto com pontuação bem próxima ao máximo atribuído para a Classe 2 (baixo impacto). Bandeira de Melo por não ser uma

barragem de acumulação não impõe alteração significativa nas frequências das vazões, amortecendo apenas as maiores vazões e regularizando as vazões menores. Também foi possível identificar que as seções de Pindobaçu e Ponto novo também receberam pontuações próximas ao limite do intervalo superior da Classe 2.

São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo são as maiores barragens das onze estudadas, em termos de área de drenagem e capacidade de armazenamento, assim poder-se-ia esperar que essas barragens obtivessem uma classificação correspondente ao impacto relacionado às características físicas e operacionais delas. Na seção de São José do Jacuípe, notou-se que o atendimento às demandas e o armazenamento da água para aumento da disponibilidade provocou sérias modificações nas vazões do trecho à jusante, como se observou no gráfico de dispersão (Figura 27). O mesmo ocorreu para a seção fluvial de Pedra do Cavalo, cuja barragem que a define se destaca das outras pela elevada capacidade de armazenamento (2765 hm³), grande área de drenagem, sendo a única barragem que possui vertedouros com comportas.

Como foi possível observar por meio dos gráficos de dispersão, das séries naturalizadas e regularizadas, apresentados na Figura 27, as maiores alterações ocorreram nas seções de Pedras Altas e Casa Branca. Entretanto, apenas as seções de França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo foram classificadas como condições severamente impactadas devido a identificação de vazões nulas. Já a barragem de Pedras Altas, as alterações em todas as faixas de vazão (Figura 27), e foram enquadradas na faixa de Alto Impacto.

Frente ao que foi observado, é considerável que a metodologia DHRAM conseguiu representar o observado nos gráficos de dispersão e a características conhecidas para parte das seções fluviais. Entretanto, os resultados obtidos principalmente para as seções de barragens como Bandeira de Melo, Aipim e Casa Branca podem apresentar maior coerência (com uma pontuação mais próxima da faixa do baixo impacto para a primeira e do alto impacto para a segunda) com a realidade local caso seja realizado ajuste na metodologia utilizada.

Além disso, os limiares utilizados na metodologia original do DHRAM para a atribuição de pontos de impacto às barragens foram definidos utilizando dados de

bacias da Escócia e da Inglaterra, que apresentam dimensões e características diferentes das bacias do semiárido brasileiro, assim como o clima, variabilidade hidrológica, topografia e condições de uso e ocupação do solo.

Para realizar a atribuição de pontos de impacto com o DHRAM, foi necessário efetuar uma sintetização das médias de medidas de tendência central e medidas de dispersão de cada uma das variáveis dos 5 grupos do IHA considerados. Essa sintetização transformou um conjunto de informações de diferentes significados, em um único valor (chamado de índice). Contudo, existem variáveis que estão agrupadas, mas representam características do regime hidrológico diferentes. Dentre os cinco Grupos do IHA, 3 abrangem variáveis de diferentes naturezas em seu conjunto. O Grupo 2 traz informações de vazões máximas, vazões mínimas, vazões nulas e vazões de base; o Grupo 4 apresenta informações de quantidade e duração de cheias e estiagens; e o Grupo 5, por sua vez, traz taxa de crescimento e de diminuição e número de reversões. Por outro lado, o Grupo 3 reúne variáveis relacionadas ao dia de ocorrência de vazões máximas e mínimas e o Grupo 1 agrega variáveis que se referem a vazões médias mensais.

Assim, considerar valores sumarizados dessas variáveis pode influenciar o resultado da atribuição de pontos para o grupo ao qual o valor se refere, bem como pode refletir também na classificação do impacto da barragem.

Adiciona-se a essas questões o fato de ser atribuído o mesmo peso para todos os 5 grupos, ou seja, peso 1. Entretanto, é possível que algum deles apresente maior relevância que outros a depender do regime hidrológico apresentado pelo trecho influenciado pelas barragens avaliadas, assim como quanto a aspectos e processos ecológicos mantidos pelo regime de vazões.

O Grupo 3, pode por exemplo, que se refere aos dias de ocorrência de vazões extremas, pode não exprimir significado relevante para as seções fluviais de regimes muito variáveis, uma vez que nessas seções não há regularidade no dia de ocorrência de vazões, com variabilidade do dia de ocorrência de vazões de pico ou de máxima estiagem alta. Dessa forma, a identificação de uma alteração alta ou baixa desses parâmetros pode não ter relação com intervenções antrópicas para as referidas seções.

Desse modo, é possível então, afirmar que os limiares da metodologia do DRHAM, assim como a sintetização das médias dos valores das variáveis calculadas pelo IHA, e considerar que as variáveis são igualmente relevantes para qualquer regime hidrológico e particularidades ecológicas, fazem com que tal metodologia não seja plenamente apropriada para a representação das peculiaridades das regiões em estudo.

6.5. Classificação das Alterações hidrológicas aplicando da metodologia DHRAM com ajuste

6.5.1 Teste inicial de ajuste de limiares

A primeira tentativa de ajuste da metodologia do DHRAM realizada no âmbito desse trabalho se deu no sentido apenas de definir novos limiares, utilizados para atribuição de pontos de impacto. Esses novos limiares foram calculados com base nas séries de vazões simuladas para as seções fluviais das barragens selecionadas (sem alteração dos grupos, e considerando as 11 barragens). Assim, as referidas séries foram aplicadas no IHA, com abordagem não paramétrica, seguindo o procedimento descrito no item 5.5.2. Depois de definidos os novos limiares, apresentados na Tabela 10, foram obtidas as classificações das barragens, como pode ser observado no Quadro 12.

Tabela 10 Ajuste inicial de limiares (11 barragens)

Grupo		Limiares Inferiores	Limiares intermediários	Limiares Superiores	Referência Superior	Intervalo
Grupo 1	1a	54.21	94.85	135.50	176.15	40.65
	1b	157.59	163.02	168.46	173.89	5.43
Grupo 2	2a	33.37	832.10	1630.83	2429.57	798.73
	2b	116.56	741.83	1367.10	1992.37	625.27
Grupo 3	3a	119.33	166.38	213.43	260.47	47.05
	3b	80.62	78.31	75.99	73.68	-2.32
Grupo 4	4a	43.91	226.45	408.98	591.52	182.54
	4b	86.44	161.43	236.41	311.40	74.99
Grupo 5	5a	31.18	73.70	116.23	158.76	42.53
	5c	68.65	283.96	499.27	714.58	215.31

Fonte: Própria

Ao comparar os limiares ajustados aos limiares do DHRAM original notou-se que, com exceção dos limiares 5a e 2a inferior, todos os limiares apresentaram valores maiores com o ajuste para à realidade dos rios estudados. Assim, o ajuste fez com

que as faixas de atribuição de impacto fossem ampliadas, aumentando a faixa de pontuação para “nenhum” impacto (pontuação 0) e também elevando o limite superior para atribuição da maior pontuação de impacto (pontuação 3). Desse modo, os limiares ajustados se mostraram menos restritivos, criaram maiores possibilidades de pontuação entre as faixas de 1 e 2 pontos e reduziu os riscos de uma pontuação máxima equivocada que pudesse ocorrer, com possibilidade de refletir a variabilidade hidrológica da região.

Contudo, os limiares ajustados às séries de vazões dos rios avaliados apresentaram algumas discrepâncias como valores negativos de intervalos entre os limiares do Grupo 3, e o limiar superior 2a e 2b (referentes ao Grupo 2 – magnitude e duração das vazões anuais extremas) com valores acima de 900, afastados dos demais.

Quadro 12 Teste de ajuste de limiares do DHRAM

Barragens	Aipim	Pedras Altas	Pindobaçu	Ponto Novo	Apertado	Bandeira de Melo	Baraúnas	Casa Branca	França	São José do Jacuípe	Pedra do Cavalo
Pontuação Final	7	12	13	7	15	8	10	11	21	11	17
Mét. Original com ajuste de limiares	Moderado	Alto	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Severo	Severo	Severo

Fonte: Própria

Observa-se no Quadro 12, que apenas a classificação de Ponto Novo e Baraúnas diferem da classificação utilizando o DHRAM original, uma vez que nessa foram enquadradas com alto grau de impacto, e na classificação com alteração dos limiares apresentaram moderado grau de impacto.

Para Baraúnas, a classificação obtida com o ajuste dos limiares se aproxima mais do que foi indicado nos gráficos de dispersão da Figura 27 e com os resultados do item 6.3.2. Contudo, as análises realizadas, a partir da comparação das séries naturalizadas e regularizadas, evidenciam que as alterações provocadas por Ponto Novo se aproximam muito mais de uma condição de alto impacto. As pontuações obtidas para Pedras Altas, Casa Branca, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo foram inferiores com a aplicação dos limiares ajustados, sendo menos restritivo, entretanto não houve alteração da classificação, assim como em Aipim, Pindobaçu, Bandeira de Melo e França, que obtiveram pontuações inferiores.

As inconsistências apresentadas devem-se, principalmente aos limiares (utilizados para atribuição dos pontos de impacto), os quais embasaram a classificação apresentada, que como destacado anteriormente apresentaram discrepâncias. Além disso, manteve-se a necessidade de ajuste em outros aspectos, principalmente em relação aos agrupamentos das variáveis identificada na aplicação da metodologia original. Assim, decidiu-se proceder o ajuste da metodologia abordando, além da definição dos limiares, a reorganização das variáveis, bem como se adotou a análise não paramétrica, buscando melhoria na representatividade da classificação final das barragens, que não foi alcançada apenas com o ajuste dos limiares. Os resultados desses ajustes são apresentados a seguir.

6.5.2 Reorganização de variáveis e definição de novos limiares

O agrupamento das variáveis foi baseado na semelhança entre elas, indicada pela análise estatística, a um nível de significância de 5%. Quando as variáveis de um dos 5 grupos se mostravam semelhantes passavam a compor um subgrupo e as que se mostravam diferentes eram submetidas a um novo teste. Para comparação de duas variáveis, quando o teste apontava desigualdade entre elas, essas foram separadas e passaram a formar cada uma um novo agrupamento.

As variáveis utilizadas para atribuição de pontos e definição dos limiares da metodologia de classificação de impactos provocados por barragens foram reorganizadas em 12 agrupamentos, baseados nos resultados da análise estatística realizada empregando os testes de Wilcoxon e de Friedman indicados no item 5.5.2.1. Como exemplo dessa aplicação a Figura 67 apresenta os resultados do teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupos 1.

Figura 67 Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 1

NPar Tests					Friedman Test	
Descriptive Statistics					Ranks	
	N	Percentiles				Mean Rank
		25th	50th (Median)	75th		
Qoct	11	22,4500	40,7000	64,1100	Qoct	2,91
Qnov	11	41,8600	59,3000	82,2800	Qnov	5,73
Qdez	11	43,8300	71,5100	85,7000	Qdez	7,64
Qjan	11	46,3400	67,7000	77,3200	Qjan	6,64
Qfeb	11	55,0000	74,1300	77,8463	Qfeb	8,09
Qmar	11	56,3700	78,8200	82,2500	Qmar	9,36
Qapr	11	45,9300	78,7406	85,2700	Qapr	8,91
Qmay	11	43,8000	68,1900	73,7300	Qmay	7,27
Qjun	11	45,0400	69,0426	79,8700	Qjun	7,91
Qjul	11	25,8800	64,4700	75,9300	Qjul	6,36
Qaug	11	-67,5200	62,7700	68,4700	Qaug	4,64
Qsep	11	-115,4200	41,4000	62,5700	Qsep	2,55

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	44,888
df	11
Asymp. Sig.	,000

a. Friedman Test

Friedman Test	
Ranks	Mean Rank
Qnov	3,45
Qdez	5,18
Qjan	4,27
Qfeb	5,64
Qmar	6,64
Qapr	6,18
Qmay	4,73
Qjun	5,18
Qjul	3,73

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	13,430
df	8
Asymp. Sig.	,098

a. Friedman Test

Friedman Test	
Ranks	Mean Rank
Qoct	1,91
Qaug	2,55
Qsep	1,55

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	5,636
df	2
Asymp. Sig.	,060

a. Friedman Test

Fonte: Própria

Para o Grupo 1 inicialmente foi aplicado o teste de Friedman, considerando as 12 variáveis reunidas nele. Nesse teste, as variáveis correspondentes a vazão mensal dos meses de agosto, setembro e outubro se mostraram diferentes das demais e, assim, foi realizado um novo teste de Friedman considerando dois diferentes grupos: 1 com as variáveis referentes às vazões dos meses de novembro a julho e outro com as variáveis de agosto a outubro. No segundo teste realizado as variáveis mostraram semelhança ao nível de 5% de significância dentro dos 2 grupos formados e, assim, foram propostos 2 subgrupos para o Grupo 1. O processo foi semelhante para o Grupo 2 (Figura 68) e dois subgrupos também foram propostos.

Figura 68 Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 2

NPar Tests

Descriptive Statistics				
	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
min_1d	11	-156,3500	-13,4900	55,9200
min_3d	11	-146,2500	-56,1100	57,2100
min_7d	11	-680,9700	-43,1000	52,3700
min_30d	11	-231,4100	-10,9079	28,3500
min_90d	11	32,6700	54,0900	65,1500
max_1d	11	16,0200	36,2400	83,2861
max_3d	11	16,6200	44,6600	87,2971
max_7d	11	16,5900	27,6300	91,0213
max_30d	11	26,3100	49,7200	92,6944
max_90d	11	32,3000	64,0200	89,4100
baseflow	11	-693,4300	-79,9679	8,6800

Friedman Test

Ranks	
	Mean Rank
min_1d	4,68
min_3d	5,05
min_7d	4,73
min_30d	4,64
min_90d	8,27
max_1d	6,45
max_3d	6,64
max_7d	6,64
max_30d	7,45
max_90d	8,73
baseflow	2,73

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	32,588
df	10
Asymp. Sig.	,000

a. Friedman Test

Friedman Test

Ranks	
	Mean Rank
min_90d	3,73
max_1d	2,73
max_3d	2,91
max_7d	3,27
max_30d	3,73
max_90d	4,64

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	7,519
df	5
Asymp. Sig.	,185

a. Friedman Test

Friedman Test

Ranks	
	Mean Rank
min_1d	2,77
min_3d	3,14
min_7d	3,27
min_30d	3,64
baseflow	2,18

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	5,388
df	4
Asymp. Sig.	,250

a. Friedman Test

Fonte: Própria

A aplicação do teste de Wilcoxon para o Grupo 3 (Figura 69) mostrou que as duas variáveis reunidas por ele (dia de ocorrência de vazões máximas e mínimas foram diferentes, sendo sugeridos um subgrupo para cada uma.

Figura 69 Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 3

	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
datemin	11	-2,2305	4,1800	11,2900
datemax	11	-511,1111	-22,3100	10,6800

Wilcoxon Signed Ranks Test

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
datemax - datemin	Negative Ranks	9 ^a	6,44	58,00
	Positive Ranks	2 ^b	4,00	8,00
	Ties	0 ^c		
	Total	11		

a. datemax < datemin

b. datemax > datemin

c. datemax = datemin

	datemax - datemin
Z	-2,223 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.026

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Fonte: Própria

Para o Grupo 4, como observado na Figura 70, inicialmente foi aplicado o Teste de Friedman, considerando as 4 variáveis reunidas nele. Nesse teste, as variáveis correspondentes à duração de estiagens e duração de cheias se mostram diferentes das demais e, assim, foi realizado um teste de Wilcoxon, considerando dois diferentes grupos: 1 com as variáveis referentes à quantidade de cheias e quantidade de estiagens e outro com as variáveis duração de cheias e duração de estiagens. No teste de Wilcoxon as variáveis quantidade de cheias e de estiagens mostraram semelhança ao nível de 5% de significância, e as variáveis duração de cheias e de estiagens se mostraram diferentes. Desse modo, foram propostos 3 subgrupos para o Grupo 4.

Figura 70 Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 4

Descriptive Statistics					Friedman Test	
	N	Percentiles			Ranks	
		25th	50th (Median)	75th		Mean Rank
lowcount	11	33,3300	73,3300	90,9100	lowcount	3,50
lowduration	11	-326,0900	-77,7800	-30,7700	lowduration	1,00
highcount	11	46,6700	80,0000	100,0000	highcount	3,50
highduration	11	-17,6500	-13,3300	,0000	highduration	2,00

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	30,533
df	3
Asymp. Sig.	,000

Descriptive Statistics				
	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
lowcount	11	33,3300	73,3300	90,9100
lowduration	11	-326,0900	-77,7800	-30,7700
highcount	11	46,6700	80,0000	100,0000
highduration	11	-17,6500	-13,3300	,0000

Test Statistics ^a		
	highcount - lowcount	highduration - lowduration
Z	-,840 ^b	-2,934 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	,401	,003

a. Wilcoxon Signed Ranks Test
 b. Based on negative ranks.

Wilcoxon Signed Ranks Test

Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
highcount - lowcount	Negative Ranks	4 ^a	3,00	12,00
	Positive Ranks	4 ^b	6,00	24,00
	Ties	3 ^c		
	Total	11		
highduration - lowduration	Negative Ranks	0 ^d	,00	,00
	Positive Ranks	11 ^e	6,00	66,00
	Ties	0 ^f		
	Total	11		

- a. highcount < lowcount
- b. highcount > lowcount
- c. highcount = lowcount
- d. highduration < lowduration
- e. highduration > lowduration
- f. highduration = lowduration

Fonte: Própria

Para o Grupo 5, como pode ser observado na Figura 71, foi aplicado o teste de Friedman, que indicou diferença entre as variáveis relativas a taxas e frequência de mudança das vazões. Em seguida foi realizado o teste de Wilcoxon e indicou também a diferença entre as variáveis, de modo que nesse grupo foram sugeridos 3 subgrupos, um para cada variável.

Figura 71 Teste estatístico para reagrupamento das variáveis do Grupo 5

Descriptive Statistics				
	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
rise	11	-63,5400	-31,0700	32,1900
fall	11	-211,0900	-114,0600	-77,1600
nreversals	11	50,2400	76,8100	87,1795

Friedman Test	
Ranks	Mean Rank
rise	1,91
fall	1,09
nreversals	3,00

Test Statistics ^a	
N	11
Chi-Square	20,182
df	2
Asymp. Sig.	,000

a. Friedman Test

Wilcoxon Signed Ranks Test				
Ranks				
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
fall - rise	Negative Ranks	10 ^a	6,50	65,00
	Positive Ranks	1 ^b	1,00	1,00
	Ties	0 ^c		
	Total	11		
nreversals - rise	Negative Ranks	0 ^d	,00	,00
	Positive Ranks	11 ^e	6,00	66,00
	Ties	0 ^f		
	Total	11		
nreversals - fall	Negative Ranks	0 ^g	,00	,00
	Positive Ranks	11 ^h	6,00	66,00
	Ties	0 ⁱ		
	Total	11		

Test Statistics ^a			
	fall - rise	nreversals - rise	nreversals - fall
Z	-2,845 ^b	-2,934 ^c	-2,934 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	,004	,003	,003

a. Wilcoxon Signed Ranks Test
b. Based on positive ranks.
c. Based on negative ranks.

a. fall < rise
b. fall > rise
c. fall = rise
d. nreversals < rise
e. nreversals > rise
f. nreversals = rise
g. nreversals < fall
h. nreversals > fall
i. nreversals = fall

Fonte: Própria

Assim, o reagrupamento proposto dentro de cada grupo do IHA, resultou em 12 subgrupos. Os subgrupos propostos e as variáveis que os compõem são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 Reagrupamentos das variáveis do IHA

Grupo IHA	Subgrupo	Variáveis IHA
1	1	Vazões médias mensais de novembro a julho (Qnov, Qdez, Qjan, Qfev, Qmar, Qabri, Qmai, Qjun, Qjul)
	2	Vazões médias mensais de agosto a outubro (Qago, Qset, Qout)
2	1	Vazões mínimas com duração de 1 a 30 dias e índice de fluxo de base (Qmin1, Qmin3, Qmin7, Qmin30 e baseflow)
	2	Vazões máximas com duração de 1 a 90 dias e vazão mínima com duração de 90 dias (Qmin90, Qmáx1, Qmáx3, Qmáx7, Qmáx30, Qmáx90)
3	1	Dia de ocorrência da vazão mínima
	2	Dia de ocorrência da vazão máxima
4	1	Quantidade de estiagens e cheias
	2	Duração de estiagens
	3	Duração de cheias
5	1	Taxa de ascensão
	2	Taxa de redução
	3	Número de reversões

Fonte: Própria

A Tabela 11 traz os limiares definidos conforme metodologia indicada no item 5.2.2.1 e 5.2.2.2 com utilização de análise não paramétrica, levando em consideração o reagrupamento das variáveis do IHA. Além disso, tais limiares foram definidos utilizando os resultados do IHA de apenas 8 barragens, dentre as 11 avaliadas.

Tabela 11 Limiares DHRAM com ajuste

Grupo		Limiares Inferiores	Limiares intermediários	Limiares Superiores	
Grupos IHA	Subgrupos				
Grupo 1	1	1.1a	60.88	75.80	90.71
		1.1b	194.51	196.94	199.38
	2	1.1a	41.57	117.35	193,14
		1.1b	163.08	171.62	180,17
Grupo 2	1	2.1a	31.83	349.05	666.26
		2.1b	71.06	1228.30	2385.53
	2	2.2a	28.92	41.71	54.50
		2.2b	87.98	308.55	529.11
Grupo 3	1	3.1a	9.15	8.33	7.50
		3.1b	63.18	62.97	62.75
	2	3.2a	24.35	90.46	156.57
		3.2b	28.50	31.62	34.74
Grupo 4	1	4.1a	49.21	293.17	537.13
		4.1b	68.62	153.89	239.17
	2	4.2a	27.96	353.49	679.02
		4.2b	92.82	133.17	173.52
	3	4.3a	23.48	30.47	37.46
		4.3b	36.51	40.62	44.73
Grupo 5	1	5.1a	19.03	35.17	51.30
		5.1b	37.90	183.42	328.93
	2	5.2a	30.63	82.10	133.57
		5.2b	44.30	156.86	269.43
	3	5.3a	11.56	31.17	50.77
		5.3b	43.14	148.62	254.09

Fonte: Própria

Como é possível observar na Tabela 11 os valores definidos dos intervalos dos limiares 3.1 e 3.1b resultaram em escala de limiares incoerente em função de seus valores negativos, fazendo com que o limiar inferior seja maior que o limiar superior, o que inviabiliza a aplicação para classificação. O grupo 3 possui sua relevância na avaliação dos impactos provocados nas seções fluviais decorrentes de barragens, entretanto os resultados obtidos nas análises do IHA apresentam grandes variações para as variáveis desse grupo, considerando o caso em estudo. Nessas regiões, as vazões máximas ocorrem predominantemente em dezembro e janeiro, sem grandes variações e assim em função do IHA considerar diretamente os valores dos dias

julianos, ocorrem durações nos resultados para essas variáveis, indicando por vezes a ocorrência de uma grande alteração quando os dias julianos mudaram apenas de 354 para 364, ou de 1 para 31. Esses fatores podem explicar a anomalia dos valores dos intervalos de limiares. Por essa anomalia do Grupo 3, optou-se por não o considerar na etapa de aplicação da metodologia adaptada, e conseqüentemente na classificação do grau de impacto das barragens.

Com a reorganização das variáveis em novos agrupamentos e com retirada do Grupo 3 para a atribuição de pontos de impacto e posterior classificação do impacto, o somatório total de pontos de impacto que podem ser atribuídos a uma barragem passa a ser 60, ou seja, o dobro da pontuação final quando utilizadas as faixas de classificação do DHRAM sem adaptação. Dessa forma, as faixas para classificação também foram multiplicadas por dois. O resultado desse ajuste é apresentado no Quadro 14.

Quadro 14 Faixas de classificação - DHRAM ajustado

Classe	Faixa de pontuação	Descrição
1	0	Nenhuma alteração (condição não impactada)
2	1 a 8	Baixo grau de impacto
3	9 a 20	Moderado grau de impacto
4	21 a 40	Alto grau de impacto
5	41 a 60	Condição severamente impactada

Fonte: Própria

6.6. Aplicação e avaliação da metodologia de classificação DHRAM com ajuste

A classificação do impacto provocado por cada barragem sobre o regime hidrológico, utilizando a metodologia DHRAM com ajuste, é apresentada da Tabela 12. Os resultados de pontuação de impacto por grupo e subgrupo podem ser verificados no Apêndice E, Quadro 19.

A partir da Tabela 12, observa-se que três barragens foram classificadas com moderado grau de impacto (Aipim, Bandeira de Melo e Baraúnas), Pedra do Cavalo com condição severamente impactada (devido à progressão de classe por apresentar variações subdiárias) e as outras sete foram classificadas como de alto grau de impacto ao ecossistema.

Tabela 12 Classificação do grau de impacto hidrológico – metodologia de classificação DHRAM com ajuste

Fator de desvio (%)		Classificação Quantitativa																			Classificação Qualitativa			
		Grupo 1				Grupo 2				Grupo 4					Grupo 5						Pontuação parcial	Pontuação final	Classe adicional	Classificação final
		Sub 1	Sub 2	Soma	PG1	Sub 1	Sub 2	Soma	PG2	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Soma	PG4	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Soma	PG5					
Aipim	Medianas	1	1	2		1	1	2		0	0	0	0		1	2	2	4		8	16	0	Moderado	
	C.D.	0	3	3	5	0	0	0	2	0	3	0	3	3	1	0	2	2	6	8				
Pedras Altas	Medianas	1	1	2		1	2	3		1	1	0	2		2	2	3	7		14	30	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	2	1	0	1	4	2	3	3	8	10	2	2	3	7	14	16				
Pindobaçu	Medianas	1	1	2		1	2	3		1	1	0	1		2	3	3	6		12	22	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	2	1	0	1	4	1	3	3	6	7	1	1	2	3	9	10				
Ponto Novo	Medianas	1	1	2		0	1	1		0	1	0	1		3	3	2	5		9	24	0	Alto	
	C.D.	3	3	6	8	1	0	1	2	0	3	3	6	7	1	0	2	2	7	15				
Apertado	Medianas	2	1	3		1	3	4		1	3	0	3		1	2	3	5		15	24	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	3	1	1	2	6	3	2	0	2	5	3	2	3	5	10	9				
Bandeira de Melo	Medianas	1	1	2		1	0	1		0	1	0	1		1	1	2	4		8	15	0	Moderado	
	C.D.	0	0	0	2	1	0	1	2	0	0	3	3	4	1	0	2	3	7	7				
Baraúnas	Medianas	2	1	3		1	1	2		0	1	0	1		3	3	3	6		12	15	0	Moderado	
	C.D.	0	0	0	3	0	1	1	3	2	0	0	0	1	1	0	2	2	8	3				
Casa Branca	Medianas	1	1	2		3	3	6		1	1	3	4		3	1	3	4		16	31	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	2	1	3	4	10	1	2	3	5	9	3	3	3	6	10	15				
França	Medianas	2	3	5		3	1	4		1	1	0	1		3	3	3	6		16	26	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	5	3	1	4	8	3	0	0	0	1	3	3	3	6	12	10				
São José do Jacuípe	Medianas	0	3	3		3	3	6		1	0	0	1		3	2	3	8		18	31	0	Alto	
	C.D.	0	0	0	3	1	1	2	8	1	1	3	5	6	2	1	3	6	14	13				
Pedra do Cavalo	Medianas	1	0	1		1	3	4		1	3	3	6		0	3	3	6		17	28	1	Severo	
	C.D.	0	0	0	1	1	3	4	8	1	0	2	2	8	3	2	3	5	11	11				

Fonte: Própria

De modo geral, os Grupos 2, 4 e 5, que se referem respectivamente à magnitude e duração das vazões anuais extremas, frequência e duração de estiagens e cheias, e taxas e frequência da mudança de eventos, foram os que apresentaram maiores alterações frente à operação dos reservatórios, recebendo maiores pontuações (o Grupo 5 recebe a maior pontuação em 9 barragens) e influenciando diretamente a classificação na qual as barragens foram enquadradas. Soares *et al.* (2015) e Fiuza *et al.* (2014) em suas avaliações também indicaram variáveis relacionadas a esses grupos como sendo as que foram mais relevantes para seus resultados. Assim, pode-se dizer que as magnitudes, duração, frequência e taxas de reversão foram os aspectos do regime hidrológico mais afetados pela implantação e operação das barragens.

Analisando os subgrupos que apresentaram destaque na atribuição de pontos tem-se:

- No Grupo 2, o subgrupo que reúne as variáveis que se referem às máximas obtiveram as maiores pontuações, e conseqüentemente maiores alterações, principalmente, em Apertado, Baraúnas, Casa Branca e Pedra do Cavalo. Em Bandeira de Melo e França, as maiores alterações foram identificadas para as variáveis referentes às mínimas e, nas demais, a pontuação foi igual.
- No Grupo 4, o subgrupo que indicou as maiores alterações foi o representado pela duração de estiagens, apresentando maior pontuação para Aipim, Pedras Altas, Pindobaçu, Ponto Novo e Apertado. A duração das cheias obteve maior alteração para Bandeira de Melo, Casa Branca, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo. O subgrupo da quantidade de cheias e estiagem recebeu maior pontuação para Baraúnas e França.
- No Grupo 5, o indicador número de reversões recebeu a maior pontuação em 9 barragens, e apenas em Ponto Novo e Casa Branca esse indicador obteve pontuação igual à taxa de ascensão de vazões, e em França todos os subgrupos indicaram a mesma alteração.

O Grupo 1 (magnitude de vazões mensais), aquele que apresentou as menores alterações. Aipim, França, São José e Pedra do Cavalo indicaram maior alteração

das vazões nos meses de agosto, setembro e outubro, e Apertado, Baraúnas e Pedra do Cavalo nos meses de novembro a julho.

Os resultados da classificação também refletiram as alterações observadas na comparação das vazões naturalizadas e regularizadas nos gráficos de dispersão (Figura 27) e pelos resultados do IHA. Todas as barragens apresentaram vazões regularizadas próximas a zero, mas não nulas, e por isso não houve progressão de classe devido ao critério de existência de vazões nulas decorrentes de ações antrópicas.

Para Bandeira Melo a classificação final foi de moderado grau de impacto ao sistema fluvial, e reflete a pouca alteração conferida pela barragem na série de vazões regularizadas. O enquadramento de moderado grau de impacto de Aipim e moderado risco de impacto ao sistema fluvial para Baraúnas, mostra coerência com os resultados da análise das séries de vazões através dos gráficos de dispersão, bem como a avaliação do IHA e ainda com as características da barragem de pequena área de drenagem, pouca variabilidade do regime hidrológico e soleira livre, assim como Bandeira de Melo. Os resultados de Baraúnas e Casa Branca foram aqui referidos como “risco” de impacto, por serem barragens ainda não construídas. A aplicação para essas barragens mostra como a metodologia DHRAM pode ser utilizada para prever os impactos potenciais de barragens ainda na etapa de projetos, sendo possível antecipar a definição de ações ou alterações no projeto para minimização de tais impactos.

Por outro lado, para França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo a classificação expressa a grande alteração provocada pela operação das barragens no regime hidrológico. Na sua avaliação utilizando barragens hipotéticas, realizada por Lima *et al.* (2015) indicou que a capacidade de armazenamento é um fator que influencia diretamente o impacto da alteração hidrológica. Nesse sentido, Pedra do Cavalo, São José do Jacuípe e Apertado são barragens correspondem a essa indicação ao apresentarem grandes pontuações de impacto e, conseqüentemente grandes alterações no regime hidrológico, ao passo que possuem capacidade de armazenamento relevante.

Casa Branca pela análise da série de vazões regularizadas e naturalizadas também mostrou uma alteração no regime hidrológico e a classificação do risco de impacto dessa barragem indicou tal alteração (alto risco de impacto).

Pedras Altas, Pindobaçu e Ponto Novo, foram enquadradas como alto grau de impacto, e assim como as outras barragens, esse resultado reafirma o observado nas análises das alterações do regime hidrológico provocado pelas barragens nas seções fluviais apresentados nos itens 6.2 e 6.3.2.

Foi realizada ainda a comparação entre a vazão média nas seções fluviais e a vazão regularizada pelas barragens que definem cada uma dessas seções, calculada utilizando WEAP. A Tabela 13 traz o resultado dessa comparação.

Tabela 13 Comparação da Vazão regularizada x Vazão média das seções fluviais

Seção Fluvial	Q reg (m³/s)	Q média (m³/s)	Qreg/Qmed
AIPIM	0,25	0,58	0,44
PEDRAS ALTAS	1,97	2,84	0,69
PINDOBAÇU	1,39	2,49	0,56
PONTO NOVO	4,75	10,25	0,46
APERTADO	7,99	10,13	0,79
BANDEIRA DE MELO	34,38	78,20	0,44
BARAÚNAS	2,26	12,78	0,18
CASA BRANCA	0,78	0,83	0,94
FRANÇA	3,36	3,65	0,92
SÃO JOSÉ DO JACUÍPE	5,90	8,80	0,67
PEDRA DO CAVALO	73,50	92,80	0,79

Fonte: Própria

É possível observar na Tabela 13 que na seção fluvial de Casa Branca a razão entre a vazão regularizada e a vazão média se aproxima muito de 1, evidenciando a grande regularização ocorrida, quase atingindo a vazão máxima que pode ser regularizada (vazão média). Em outras seções como França, Pedra do Cavalo, Pedras Altas, São José do Jacuípe e Apertado o resultado da comparação também se aproxima de 1. Esses valores próximos a 1 indicam a grande exploração das vazões do rio nesses trechos, podendo provocar maior influência no comportamento do regime fluvial. Àquelas que apresentarem menor aproximação da vazão regularizada com a vazão média foram Baraúnas, Bandeira de Melo, Aipim e Ponto Novo, e dessa forma menor regularização.

Os resultados da classificação do grau de impacto de Bandeira de Melo, Pedras Altas e Pedra do Cavalo são comparáveis com a avaliação das alterações hidrológicas provocadas por essas barragens nos estudos de Santos *et al.* (2015) e Genz & Lessa (2015), observando que são semelhantes.

O comportamento de moderada alteração no regime hidrológico obtido em Bandeira de Melo no presente estudo, é similar ao resultado de Santos *et al.*, (2015) a partir da aplicação do IHA, que indicaram pouca alteração no regime hidrológico da mesma. Esses autores em sua análise do comportamento dos dados observados das estações fluviométricas localizadas a montante e a jusante da referida barragem evidenciaram que a presença dessa barragem confere ao regime hidrológico do trecho a jusante alterações pouco relevantes, sendo conservada principalmente a sazonalidade. Esse comportamento foi devido ao reservatório não ter função de armazenamento, ter área de drenagem de aproximadamente 16.000 km², ter vertedor de soleira livre e estar quase sempre vertendo, além de estar localizada no trecho médio do rio (maior área de drenagem). O enquadramento de Bandeira de Melo em uma classe que representa um impacto um pouco maior do que foi observado na referida análise realizada com dados observados se deve de fato de que para o presente trabalho os dados de vazões alteradas foram obtidos a partir de uma simulação que considerou a máxima demanda que o reservatório poderia atender, e assim provocou uma alteração mais intensa no trecho à jusante dessa barragem.

A alteração significativa no regime hidrológico à jusante da barragem de Pedras Altas também foi observada no estudo de Santos *et al.*, (2015). De acordo com tais autores, essa barragem possui uma grande capacidade de regularização, provocando aumento das vazões mínimas em grande parte do período estudado.

Em relação à Pedra do Cavalo, o comportamento dos dados observados nas estações fluviométricas a montante e jusante da barragem, analisados em Genz & Lessa (2015) apresentaram também a severa alteração imposta ao regime hidrológico no trecho a jusante dessa barragem com enquadramento na Classe 5. No presente trabalho, a referida barragem foi classificada como severamente impactada ao atender também ao critério de progressão para classe superior por produzir variações subdiárias na condição impactada.

Os resultados de Santos *et al.* (2015) indicam a aplicabilidade da adaptação da metodologia de classificação, já que o estudo trabalhou apenas com o IHA.

Medeiros *et al.* (2015), também indicaram que a construção e operação de Pedra do Cavalo provocaram redução da variabilidade nas magnitudes das vazões, principalmente as diárias que possuem grande importância para manutenção dos ecossistemas. Ocorreu ainda a redução na ocorrência de picos e enchentes e alteração na sazonalidade das vazões, configurando grandes alterações. Genz (2006) destacou que Pedra do Cavalo impacta o regime do rio Paraguaçu à jusante do barramento devido à inexistência de descarga de fundo, o que limita a liberação de vazões baixas, bem como o fechamento das comportas, provocando graves impactos à jusante.

Fontes *et al.* (2005) indica a ineficiência de São José do Jacuípe, influenciada pela geometria do reservatório e taxas de evaporação. Além disso, os autores concluíram que o reservatório está superdimensionado. Esses resultados, podem ser associados ao grau de impacto indicado pela classificação feita no presente estudo, ou seja, as características do reservatório, e sua ineficiência relacionam-se ao alto grau de impacto provocado por ela.

A avaliação ambiental da barragem de Ponto Novo realizado em 1997 pelo Governo da Bahia no Estudo de Impacto Ambiental desse empreendimento, utilizando a metodologia de matrizes de impacto, indicou a alteração do regime de vazões do rio Itapicuru-Açu provocada pela operação do barramento como alta por reduzir as vazões à jusante. A avaliação final, então, foi de médio impacto, semelhante a classificação aqui, entretanto essa avaliação considerou outras dimensões de impacto além dos hidrológicos.

Com intuito de avaliar os ajustes realizados na metodologia DRHAM com vistas à representação do comportamento hidrológico local, procedeu-se também a aplicação dessa metodologia ajustada utilizando dados de vazão observados simultaneamente em estações fluviométricas posicionadas a montante a jusante de Pedras Altas, Bandeira de Melo e Pedra do Cavalo. Os dados de vazão aplicados na referida avaliação apresentaram período diferente daquele utilizado para a classificação das alterações a partir de dados simulados. Para Bandeira de Melo foram utilizados os dados das estações fluviométricas 51240000 e 51280000 para

aplicação do IHA do período de 2007 a 2015, para Pedras Altas utilizaram-se as estações 50420000 e 50430000 no mesmo período e para Pedra do Cavalo foram utilizados dados de montante e jusante cedidos pela operadora da UHE Pedra do Cavalo do período de 2005 a 2014. Os resultados dessa classificação podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 Classificação com metodologia de classificação DHRAM com ajuste utilizando dados observados

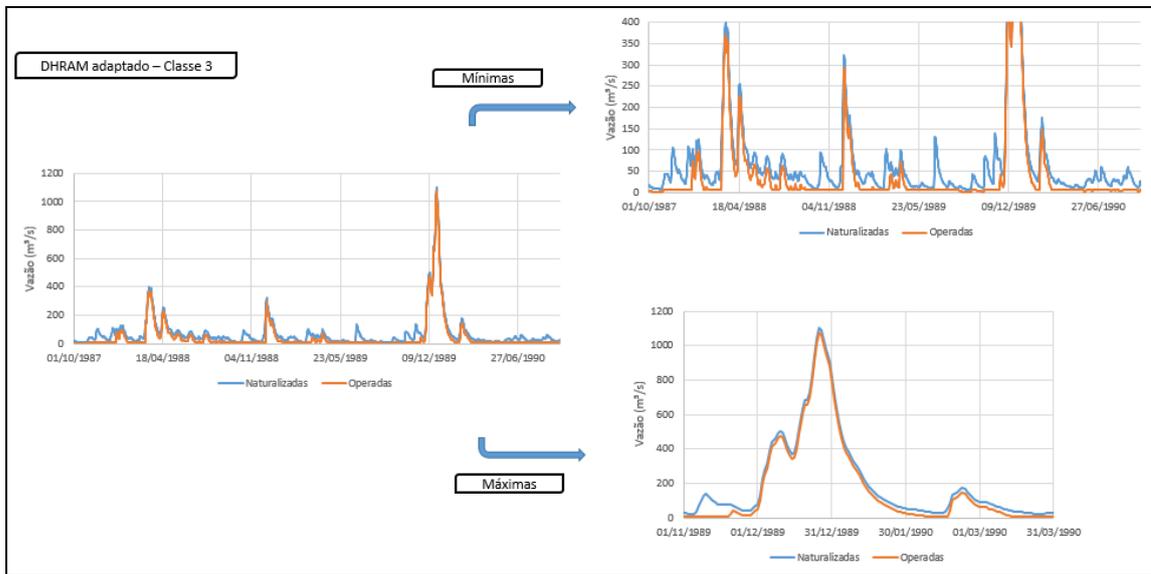
Fator de desvio (%)		Classificação Quantitativa															Classificação Qualitativa			
		Grupo 1			Grupo 2			Grupo 4				Grupo 5					Parcial	Final	Classe adicional	Final
		Sub 1	Sub 2	PG1	Sub 1	Sub 2	PG2	Sub 1	Sub 2	Sub 3	PG4	Sub 1	Sub 2	Sub 3	PG5					
Pedras Altas	Medianas	3	3		3	3		1	2	3		3	0	3		24				
	C.D.	0	0	6	0	0	6	1	0	3	10	1	2	3	12	10	34	0	Alto	
Bandeira de Melo	Medianas	0	0		1	0		0	1	3		2	0	0		7				
	C.D.	0	0	0	0	0	1	1	2	3	10	0	0	0	2	7	13	0	Moderado	
Pedra do Cavalo	Medianas	0	1		0	3		0	3	3		3	1	3		15				
	C.D.	0	3	4	0	1	4	0	1	1	6	0	1	1	9	8	23	1	Severo	

Fonte: Própria

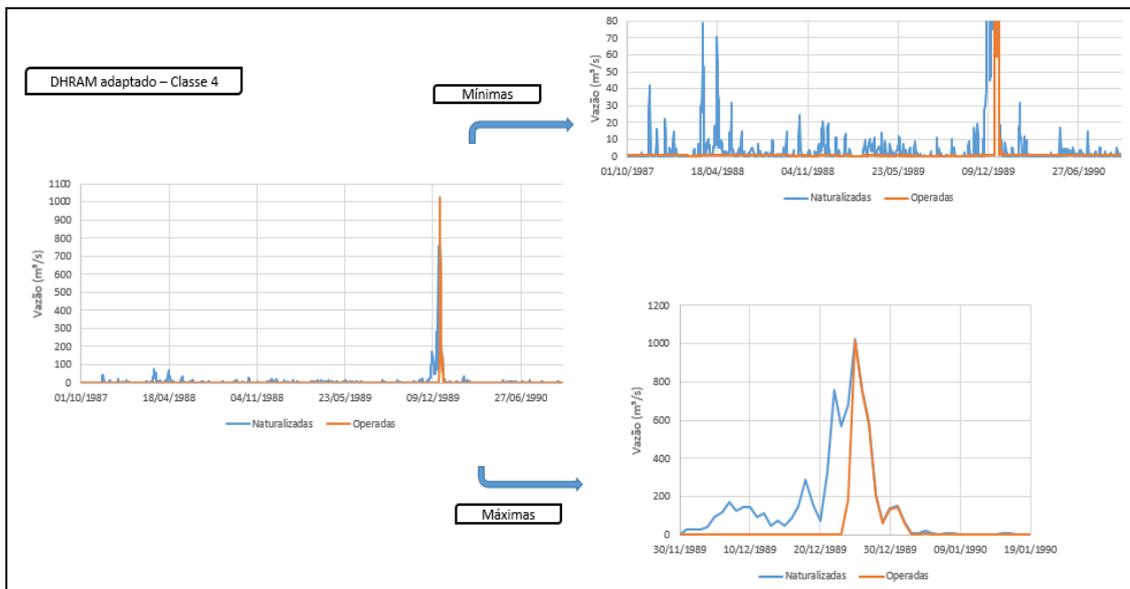
Nota-se que os resultados encontrados para as barragens utilizando dados observados, estão semelhantes aos resultados da aplicação baseada em dados simulados, o que indica uma boa aderência do ajuste da metodologia às características e à realidade das bacias consideradas, e valida a adaptação da metodologia de classificação DHRAM realizada.

A Figura 72 mostra os dados de vazão simulados nas condições impactadas e não impactadas do período de 1987 a 1991, para exemplificar um caso de barragem classificada com moderado grau de impacto Classe 3 (Bandeira de Melo), outra com alto grau de impacto – Classe 4 (São José do Jacuípe) e severamente impactada – Classe 5 (Pedra do Cavalo), respectivamente, para ilustrar os resultados obtidos com a classificação associado ao comportamento das séries. Nessas figuras foram destacadas as máximas e as mínimas para melhor visualização.

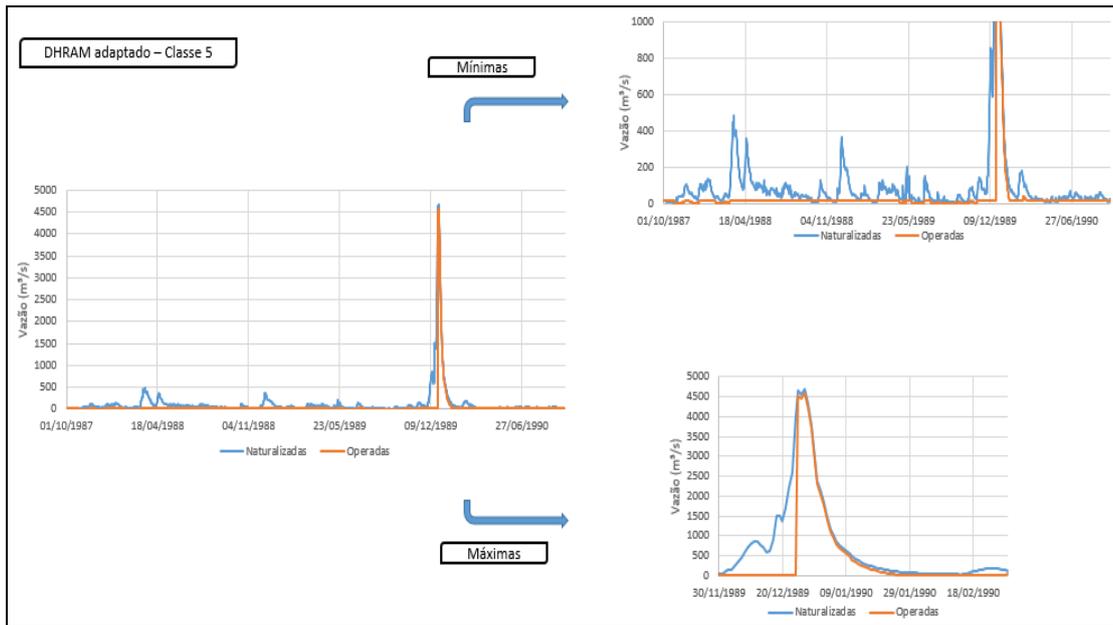
Figura 72 Representação de vazões naturalizadas e regularizadas: (a) Bandeira de Melo – Classe 3; (b) São José do Jacuïpe – Classe 4; (c) Pedrado Cavallo – Classe 5



(a)



(b)



(c)

Fonte: Própria

Na Figura 72a é possível identificar que a operação de Bandeira de Melo pouco interferiu no regime de vazões, com modificações mais marcantes nas mínimas. Por outro lado, para São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo podem-se notar as graves alterações, principalmente nas mínimas, mas também nas máximas, de modo que o detalhe das máximas ilustra a redução das reversões que ocorrerão nessas seções fluviais. O comportamento das curvas nos gráficos de Pedra do Cavalo e São José do Jacuípe são semelhantes, contudo devido a ocorrência de variações subdiárias em Pedra do Cavalo sua classificação sofre uma progressão de alto grau de impacto para condição severamente impactada do sistema fluvial.

Pode-se observar no Quadro 15 que os resultados da aplicação da metodologia original do DRHAM e da metodologia ajustada demonstram algumas diferenças.

Comparando a classificação considerando a metodologia original e a metodologia com ajuste (Quadro 15), nota-se que a classificação realizada utilizando a metodologia com ajuste tendeu a se aproximar das características das barragens. Tais características, já mencionadas anteriormente, não apenas são identificadas pela observação do estado de algumas barragens quanto ao seu armazenamento e vertimento, como também ao considerar os casos em que há registros de vazões a montante e a jusante (que possibilitaram a avaliação do ajuste realizado na

metodologia de classificação), bem como base nas conclusões dos autores citados que corroboraram com a avaliação do ajuste e da aplicabilidade da metodologia devido a representação das peculiaridades da área de estudo.

Quadro 15 Comparação dos resultados da classificação final com metodologia original e a metodologia adaptada

Barragens	Classificação	
	Mét.original (grupos IHA)	Mét.ajustado c/ subgrupos
Aipim	Moderado	Moderado
Pedras Altas	Alto	Alto
Pindobaçu	Alto	Alto
Ponto Novo	Alto	Alto
Apertado	Alto	Alto
Bandeira de Melo	Moderado	Moderado
Baraúnas	Alto	Moderado
Casa Branca	Alto	Alto
França	Severo	Alto
São José do Jacuípe	Severo	Alto
Pedra do Cavalo	Severo	Severo

Fonte: Própria

A metodologia conseguiu principalmente refletir as características das seções fluviais que não foram consideradas na definição dos limiares, reforçando a adequação dessa adaptação ao estudo de caso. Foi importante também que a adaptação da metodologia enquadrou barragens numa amplitude de classificação desde moderado grau de impacto até a condição severamente impactada.

Nesse sentido, o ajuste da metodologia DRHAM foi positiva, mas não resultou em mudanças dos resultados da classificação, que ocorreram em apenas duas barragens em relação aos resultados da metodologia original. Contudo, destaca-se

que ao contemplar além da definição de novos limiares com dados das regiões estudadas, o reagrupamento das variáveis, bem como o ajuste dos critérios de progressão de classe foi também realizado, para ampliar a representatividade dos resultados da aplicação da metodologia nas bacias em estudo, os resultados da aplicação da adaptação se tornam mais representativos e mais seguros, do que aqueles obtidos com a metodologia original.

Frente ao observado dos resultados da aplicação da metodologia de classificação DHRAM com ajuste, identificou-se que a resposta dos impactos hidrológicos provocados pelas barragens pode ser complementada para enriquecer sua contribuição para a gestão e planejamento dos recursos hídricos nas bacias hidrológicas estudadas. Desse modo, observou-se que a explicitação dos pontos de impacto atribuídos e a avaliação das alterações hidrológicas ocorridas em cada subgrupo pode apresentar indicadores para auxiliar na tomada de decisões de gestão e planejamento. Esse auxílio surge no sentido de evidenciar quais aspectos merecem mais atenção e podem ser alterados a partir de mudanças nas regras de operação das barragens, para as que já foram implantadas, e também nas características de projeto como local de implantação, tipo de vertedor, descarga de fundo, para as barragens ainda não construídas, e até mesmo na adoção de medidas alternativas para manter a sazonalidade das vazões à jusante.

Dessa forma sugere-se que, além do ajuste nos aspectos da metodologia DHRAM já apresentados, seja efetuada também uma subclassificação a partir da classificação das alterações hidrológicas identificadas em cada subgrupo. Assim, utilizando as faixas de atribuição de pontos, pelo posicionamento dos valores em relação aos limiares da metodologia DHRAM adaptada, e sabendo-se que o máximo de pontuação em cada subgrupo é 6 (soma da máxima pontuação do indicador referente à mediana e ao coeficiente de dispersão) a subclassificação foi realizada utilizando as faixas de classificação como segue:

- Nenhum impacto: 0 pontos de impacto;
- Baixo impacto: entre 0 e 2 pontos de impacto;
- Moderado impacto: de 2 a 4 pontos de impacto;
- Alto impacto: entre 4 e 6 pontos de impacto;

- Severo impacto: acima de 6 pontos impacto (incluindo o 6).

A subclassificação foi realizada para as onze barragens avaliadas, e dentre os resultados encontrados, obteve-se, por exemplo, para Pedras Altas (que foi classificada com alto grau de impacto) severidade no impacto para o subgrupo 3 do grupo 3; alto impacto para os subgrupos 1 e 2 do grupo 5 e para o subgrupo 2 do grupo 4; moderado impacto para os subgrupos do grupo 1 e para o subgrupo 1 e 3 do grupo 4; e baixo impacto para os subgrupos do grupo 1. Os resultados da subclassificação para as demais barragens são apresentados no Apêndice F.

Com base nessas informações, é possível traçar então estratégias para reduzir a severidade das alterações no número de reversões, taxas de ascensão e redução e duração de estiagens, como por exemplo a inserção de pulsos na operação do reservatório para reduzir a duração das estiagens e aumentar a ocorrência de reversões, bem como taxas de mudança nas vazões. Assim, agregar a classificação ao nível dos subgrupos além de indicar o grau de impacto hidrológico provocado pelas barragens, fornece ainda a informação de qual aspecto do regime hidrológico foi mais impactado pela operação e implantação dessas barragens, podendo ser usado como indicador para tomada de decisão na gestão e planejamento de recursos hídricos.

7 CONCLUSÕES

A investigação das alterações do regime hidrológico decorrentes das barragens Aipim, Pedras Altas, Pindobaçu, Ponto Novo, Apertado, Bandeira de Melo, Baraúnas, Casa Branca, França, São José do Jacuípe e Pedra do Cavalo foi realizada utilizando a metodologia de avaliação de alterações hidrológicas IHA (RICHTER et al., 1996) e a metodologia de classificação do grau de impacto sobre o regime hidrológico em relação ao risco ambiental aos quais se sujeitam os sistemas hídricos o DHRAM (BLACK *et al.*, 2005). Tais metodologias podem ser utilizadas para auxiliar estudos de impacto ambiental e como orientação para eficiente monitoramento ecológico, prevenção e mitigação dos danos a sistemas fluviais.

Ajuste à metodologia DHRAM, considerando informações hidrológicas locais, bem como reagrupamentos das 33 variáveis hidrológicas consideradas nessa metodologia, que quando aplicadas resultaram em classificações de impacto das barragens selecionadas mais representativas para os casos locais.

Os resultados encontrados na avaliação dos regimes hídricos sem impacto de barragens, a partir das séries naturalizadas, denotam para a bacia do Itapicuru a maior variabilidade na seção de Ponto Novo, enquanto que para a bacia do Paraguaçu o destaque foi para Casa Branca, França e São José do Jacuípe. Além disso, os valores dos índices do IHA mostram variabilidade natural e redução para os valores das variáveis que se referem diretamente à vazão (vazões medianas mensais, vazões mínimas de 7 dias e máximas de 1 dia) entre os períodos que compreendem os anos de 1977 a 1991 e 1963 a 1976. Diferenças na quantidade de estiagens, reversões e duração das estiagens e das cheias, também foram identificadas.

Pode-se identificar então, da avaliação do regime hidrológico à luz das vazões naturalizadas, que as barragens que apresentam áreas de drenagem maiores, como Ponto Novo no rio Itapicuru, demonstraram um comportamento mais variável (em relação a vazões mensais, mínimas de 7 dias, máximas diárias; e durações de cheias e estiagens) em comparação às barragens com menores áreas de drenagem. As seções definidas por França e São José do Jacuípe no rio Paraguaçu, apresentaram variabilidade considerável, podendo-se inferir que o comportamento

verificado está mais relacionado às condições climáticas e geológicas da região em que estão localizadas do que propriamente à área de drenagem. Foi possível identificar ainda que as seções definidas por barragens construídas em trechos médios do rio apresentaram comportamentos semelhantes, em relação à variação em um mesmo período e também entre períodos de análise tais como: Apertado e Bandeira de Melo; França e São José do Jacuípe.

Evidenciou-se, assim um padrão de comportamento bastante variável das grandes bacias, menos variável para pequenas áreas de drenagem e a semelhança de comportamento entre barragens localizadas em trecho médio do rio. Tais padrões podem ser utilizados como referência para análises e classificação do grau de alteração provocada ações origem antrópica.

No que se refere à avaliação das alterações hidrológicas considerando a comparação da condição não impactada e da condição impactada das seções fluviais, em relação à bacia do Itapicuru as maiores alterações mensais foram observadas para a seção de Ponto Novo. Para as seções das barragens do rio Paraguaçu, a maior alteração foi identificada para Pedra do Cavalo e as menores alterações são registradas para Baraúnas, Casa Branca e Apertado.

Tendo em vista os resultados obtidos para a classificação das alterações hidrológicas decorrentes da implantação de barragens nas bacias dos rios Itapicuru e Paraguaçu, pode-se dizer que o DHRAM original conseguiu caracterizar as alterações nas seções fluviais nas regiões estudadas, ao representar o que foi observado nos gráficos de dispersão construídos para comparar séries de vazões naturalizadas e regularizadas e também as características conhecidas dessas seções. Contudo, os limiares utilizados originalmente no DRHAM trazerem a tendência das bacias hidrológicas de rios da Escócia e da Irlanda do Norte, assim como considera índices referentes às variáveis dos 5 grupos do IHA que representam características do regime hidrológico diferentes. Dessa forma, procedeu-se a adaptação da metodologia de classificação DHRAM, focada nos aspectos destacados, buscando melhora a representatividade das peculiaridades das regiões em estudo pela classificação hidrológica.

Assim, respondendo à pergunta do presente trabalho, foi realizada a avaliação da metodologia para classificação de alterações hidrológicas, o DHRAM, a partir da

aplicação da metodologia original e da mesma metodologia após ajustes utilizando dados locais por meio da definição de novos limiares utilizados para atribuir os pontos de impacto às barragens, associado à reorganização das variáveis em subgrupos e novos reagrupamentos.

Procedendo-se a classificação das 11 barragens, utilizando a metodologia com ajustes, três barragens foram classificadas como de moderado grau de impacto (Aipim, Bandeira de Melo e Baraúnas), Pedra do Cavalo, como condição severamente impactada e as outras sete foram classificadas como de alto grau de impacto do sistema fluvial. Os Grupos 2 e 4 e 5 foram os que apresentaram maiores alterações frente à operação dos reservatórios, com maiores pontuações, influenciando diretamente a classe na qual as mesmas foram enquadradas. Dessa forma, as magnitudes, duração, frequência e taxas de reversão foram os aspectos do regime hidrológico mais afetados pela implantação e operação das barragens.

Bandeira Melo foi classificada como provocadora de moderado de grau de impacto no regime hidrológico e no ecossistema jusante, respondendo à pouca alteração conferida pela barragem na série de vazões regularizadas e nos resultados obtidos no IHA e na classificação utilizando dados observados. Esse mesmo comportamento se deveu ao fato da função prioritário ser para armazenamento de água, operar a fio d'água e permitir vertimento frequente não provocando assim grandes impactos no trecho à jusante. A classificação de Pedras Altas, Ponto Novo, Pedra do Cavalo, Casa Branca e São José do Jacuípe, por sua vez, expressam a grande alteração provocada pela operação das barragens no regime hidrológico.

Os resultados da classificação, com o método ajustado, de Pedras Altas, Bandeira de Melo e Pedra do Cavalo também foram confrontados com a classificação utilizando resultados do IHA aplicado utilizando vazões observadas em período diferente das vazões simuladas, de modo que os resultados finais foram iguais para todas elas. Assim, mais uma vez foi verificada a representatividade da adaptação da metodologia de classificação em relação à realidade das barragens avaliadas. A metodologia de classificação DHRAM adaptada conseguiu, ainda, representar uma amplitude de classificação desde moderado grau de impacto até condição severamente impactada.

Como a classificação utilizando a metodologia de classificação DHRAM com ajuste conseguiu refletir a característica de moderado, alto e severo impacto, das estruturas selecionadas e, frente a todas as observações realizadas, a partir da aplicação da metodologia com dados observados medidos à montante e à jusante de alguns barramentos e os resultados observados em outros estudos, pôde-se afirmar que o ajuste para a metodologia de classificação DHRAM é aceitável e satisfatória para a representação do comportamento hidrológico da área de estudo.

Contudo, identificou-se que a resposta dos impactos hidrológicos provocados pelas barragens pode ser complementada com uma análise das alterações ocorridas nos aspectos hidrológicos relacionados às variáveis reunidas nos subgrupos enriquecendo a contribuição para a gestão e planejamento dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas estudadas. Sugere-se, então que além da adaptação nos aspectos da metodologia DHRAM seja efetuada também uma subclassificação a partir da classificação das alterações hidrológicas identificadas em cada subgrupo. A subclassificação foi realizada para as onze barragens avaliadas, e observou-se que a partir dos resultados encontrados, é possível traçar estratégias para reduzir o impacto das alterações provocadas pelas barragens no regime hidrológico a partir dos resultados de classificação para cada um dos indicadores hidrológicos. A ampliação da classificação, então, permite a indicação do grau de impacto das barragens, e também fornece a informação de qual aspecto do regime hidrológico foi mais impactado pela operação e implantação das barragens, evidenciando quais aspectos merecem mais atenção e podem ser alterados, a partir de mudanças nas regras de operação das barragens e também nas características de projeto, como local de implantação, tipo de vertedor, descarga de fundo para as barragens ainda não construídas, e, até mesmo, na adoção de medidas alternativas para manter a sazonalidade das vazões à jusante, podendo ser usado como indicador para tomada de decisão na gestão e planejamento de recursos hídricos. Destaca-se ainda a relevância da metodologia de classificação DRHAM para aplicação em casos de barragens ainda não construídas, uma vez que permite a previsão dos impactos que tais barragens poderão provocar nos ecossistemas e assim possibilita a antecipação das definições e aplicação de medidas mitigadoras dos impactos identificados.

Como visto, a aplicação do IHA e por conseguinte o DRHAM, auxiliam na compreensão de quanto os regimes hidrológicos, nos pontos estudados, têm sido

alterados. Estas alterações podem estar modificando os padrões de diversidade de espécies, quantidade de indivíduos de peixes e outros organismos. A gestão dos ecossistemas dependentes do regime hidrológico necessita de um reconhecimento dos padrões do regime hidrológico, para que se possa proceder uma eficiente estratégia de manejo ambiental. É crucial incorporar então aos estudos do regime de vazões do rio e suas alterações, nas estratégias de manejo e reconhecer que alterações foram impostas pelas ações humanas no regime do rio, resultam em mudanças geomórficas e ecológicas nestes sistemas.

Recomenda-se que para próximas aplicações do DHRAM original ou mesmo em aplicações de versões ajustadas da metodologia seja feita a abordagem de reavaliação dos pesos dos grupos de variáveis embasada em respostas ecológicas às alterações das diversas variáveis identificando qual seria mais significativa para o caso em estudo e ainda o conhecimento de outras especialidades a citar a qualidade da água.

Recomenda-se ainda que sejam utilizados dados observados para validação dos pesos, assim como para a definição dos limiares, se estes apresentarem qualidade e quantidade adequadas. Além disso, é importante ainda aprofundar as avaliações a respeito do Grupo 3, com proposição de uma métrica específica para refinar os resultados encontrados para os limiares, assim como resolver a questão dos intervalos negativos possibilitando a sua utilização na classificação das barragens.

O presente estudo considerou o impacto da operação das barragens individualmente na modelagem do sistema hídrico. Nesse sentido, recomenda-se também que em estudos futuros sejam levadas em consideração as condições de operação simultânea das barragens e o impacto cumulativo delas, pois pode ser que o efeito cascata dessas barragens provoque impactos superiores aos aqui apresentados.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru - BA.** 2014.

_____. **Séries Históricas.** In: HidroWeb. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br/> >; Acesso em: 28, jun. 2014.

ANDRADE, P. R. S. Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe, PE. 2006. 248p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia. Programa Institucional de Doutorado Temático. Doutorado em Recursos Naturais. Campina Grande.

ARAÚJO, A. P. A.; ROCHA, P. C. Regime de fluxo e alterações hidrológicas no rio Tibagi-bacia do rio Parapanema / Alto Paraná. **Revista de Geografia.** Recife. v. especial, n. 3, set. 2010.

ARAÚJO, C. E. S.; CHAGAS, R. M.; SCHARDONG, A.; MELO NETO, J. O.; FONTES, M. P.; SILVA PINTO, D. S.; DOS SANTOS, F. M. S.; GARCIA, A. J. V.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Caracterização dos aquíferos da bacia do rio Siriri e estimativa de recarga subterrânea com modelos WEAP e SMAP. IN: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. **Anais...** São Paulo – SP, 2009.

ASSUNÇÃO, F. N. A.; BURSZTYN, M. A. A. Conflitos pelo uso dos recursos hídricos. IN: THEODORO, S. H. **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais.** Garamond/CDS. Rio de Janeiro. 2001.

BAHIA. **Resolução CEPRAM nº 3702 de 24 de novembro de 2006.** Aprova a Norma Técnica NT-005/2006 e seus Anexos, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de barragem, no estado da Bahia. 2006b.

_____. SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Instrução normativa nº 01, de 27 de fevereiro de 2007.** Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências.

_____. SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Monitoramento da Qualidade das Águas dos Reservatórios de Apertado, Bandeira de Melo, França, Pedras Altas, Pindobaçu, Ponto Novo e São José do Jacuípe –PR13 Relatório Final de Monitoramento da Qualidade da água 6 – Reservatório de Apertado. 2008.

_____. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO. Avaliação Ambiental da Barragem de Ponto Novo. Tomo I. 1997.

_____. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO – SRHSH. Governo da Bahia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itapicuru.** Salvador, 1995.

_____. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E HABITAÇÃO - SRHSH. Governo da Bahia. **Plano de Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu.** Salvador, 1993.

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A.; Diretrizes para implantação de barragens e mitigação de impactos ambientais. IN: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**São Paulo – SP. 2006.

BECKER, A., 1992. Criteria for hydrologically sound structuring of large scale land surface process models. In: **Advances in theoretical hydrology**, Kuane, J. P. (editor). Elsevier. pp. 97-111.

BIZZI, S.; PIANOSI, F; SONCINI-SESSA, R. Valuing hydrological alteration in multi-objective water resources management. **Journal of Hydrology**,. v. 472–473, p. 277–286, 2012.

BLACK, A.R.; BRAGG, O.M.; DUCK, R.W.; JONES, A.M.; ROWAN, J.S.; WERRITTY, A. Methods of assessing anthropogenic impacts on the hydrology of rivers and lochs: a user manual introducing the Dundee Hydrological Regime Assessment Method. Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research, **Report SR**, Stirling, Jul 2000. 01/2F.

BLACK, A.R.; ROWAN, J.S.; DUCK, R.W.; BRAGG, O.M.; CLELLAND, B.E. DHRAM: a method for classifying river flow regime alterations for the EC Water Framework Directive. Aquatic Conservation. **Marine and Freshwater Ecosystems**. v.17. 15, p. 427–446. Mar 2005.

BOAS, C. L. V. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao Uso múltiplo de reservatórios: Estudo da barragem do Ribeirão João Leite**. 2006. 145f. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente. Universidade de Brasília. Brasília.

BRANDT, S. A. **Classification of geomorphological effects downstream of dams**. Catena. v 40. p 375-401. 2000.

BRASIL. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília 17 de fevereiro de 1986.

_____. **Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989.

_____. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Regiões Hidrográficas**. 2003.

_____. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios**. Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, Unidade de Gerenciamento do Proágua/Semi-árido. – Brasília: Bárbara Bela Editora Gráfica e Papelaria Ltda., 2005. 112p.

_____. **Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº

9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, 20 de setembro de 2010. Seção I.

_____. **Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012**. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, 4 de setembro de 2012, Seção 1, Nº 172, ISSN 1677-7042.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. **Environmental Management**. v. 30, n 4, p. 492-507, out 2002.

BURKE, M.; JORDE, K.; BUFFINGTON, J. M. Application of a hierarchical framework for assessing environmental impacts of dam operation: Changes in streamflow, bed mobility and recruitment of riparian trees in a western North American river. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. S224-S236, 2009.

CAVALCANTE, A. J. B. D. **Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do rio São Francisco, decorrentes da construção de barragens**. 2011. 162f. Dissertação (Mestrado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Programa de Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. CBDB. **Cadastro de barragens**. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/barragem.htm>. Acesso em 16 de novembro de 2015.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. V.9, n. 26, p. 16-32, jun 2008.

COLLIER, M.; WEBB, R. H.; SCHMIDT, J. C. **DAMS AND RIVERS: A Primer on the Downstream Effects of Dams**. U.S. Geological Survey: Circular 1126, 2000, 2 ed.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. 270f. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

COLLISCHONN, W. TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 6, n. 1, 2001.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a hidrologia**. IPH UFRG. Versão 5, Maio 2008.

COLLISCHONN, W. **Projeto Clima e Recursos Hídricos. Instituto de Pesquisas Hidráulicas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/ClimaRH/glossario/glossario.htm>> Acesso em ago 2014.

COLLISCHONN, W; BUARQUE, D. C. PAIVA, R. C. D. de. FAN, F. M. KAYSER, R. **Manual do Modelo de Grandes Bacias, MGB-IPH, Manual introdutório para aplicação do modelo MGB-IPH**. FINEP. UFRGS. 2010.

COMPANHIA DE ENGENHARIA E RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA – CERB. Barragens – **Construção, Operação e Manutenção**. Disponível em <<http://www.cerb.ba.gov.br/atividades/barragens-constru%C3%A7%C3%A3o->

opera%C3%A7%C3%A3o-e-manuten%C3%A7%C3%A3o> Acesso em 15 out 2014.

CRUZ, I. F. **Efeitos da formação e operação de um reservatório de pequena regularização na alteração da qualidade da água e do regime hidrológico na planície de inundação do pantanal**. 2012. 98f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; VILELLA, F. S. Tendências na Análise de Impactos da Implementação de Barragens: Lições do Estudo de Caso das Barragens de Uso Múltiplo da Bacia do Rio Santa Maria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 15, n. 1, p. 47-66, jan/mar 2010.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. **Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo**. Revista Brasileira de Energia, v. 4, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acesso em 14 abr. 2014.

CRUZ, G. R. da. **Simulação da Sazonalidade natural do rio Itapicuru**. 2013. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cruz das Almas.

CUNHA, S. B. **Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João**. Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995. 378 p.

DE ARAÚJO, J. C. & MEDEIROS, P. H. A. Impact of dense reservoir networks on water resources in semiarid environments. **Australian Journal of Water Resources**, Vol. 17, No. 1. 2013.

DE JORGE, F.N. **Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios**. 1984. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do rio Ivaí-PR**. 2005. 93f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Maringá, Maringá. 2005.

DITTMANN, R.; FROEHLICH, F.; POHL, R; OSTROWSKI, M. Optimum multi-objective reservoir operation with emphasis on flood control and ecology. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 9, p.1973–1980, 2009.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Bertrand Brasil. 3 ed. Rio de Janeiro, 1994.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FALKENMARK, M. ROCKSTROM, J. Balancing water for humans and nature. **The new approach in Ecohydrology**. Earthscan. London, Sterling, VA. 2004.

FIUZA, F.; OLIVEIRA, R. P.; FERREIRA, M. T. Seleção de parâmetros hidrológicos para avaliação da alteração do regime de escoamento em Portugal Continental. **Recursos Hídricos**. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. v 35. n 2. p 5-18. nov 2014.

- FONSECA, F. **Efeitos do turismo na demanda d'água na bacia do rio Gramame. Estudo de Caso.** 2008. 143f. Dissertação (Mestrado). Mestrado de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J. I. R.; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semiárido nordestino do Brasil e a Gestão das Águas. IN: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** João Pessoa-PB, 2005.
- FONTES, A. S.; GENZ, F.; ALMEIDA, R. A. S.; *et al.* Projeto de Pesquisa em Rede. **Avaliação do Impacto Hidrológico de Grandes Barragens do Estado da Bahia - GRANBAR.** - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (Coord.) Agência Financiadora FAPESB. 2014.
- GAAS, S. **River Flow Regime** – Uni 6. UNESCO-IHE. [20-?].
- GAO, Y.; VOGEL, R. M.; CHARLES, N. K.; POFF, N. L.; OLDEN, J. D. Development of representative indicators of hydrologic alteration. **Journal of Hydrology**. v. 374, p. 136-147. 2009.
- GENZ, F. **Avaliação dos efeitos da barragem de Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape.** 2006. 266f. Tese (Doutorado). Curso de Pós- Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- GENZ, F.; LESSA, G. C.; CIRANO, M.; LIMA, G. M. P. As tendências de longo prazo das vazões fluviais no litoral do Estado da Bahia. IN: IX Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa. **Anais...** Recife. 2003. v CD.
- GENZ, F.; LUZ, L. D. 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. **Anais...** São Paulo – SP, 2007.
- GENZ, F.; TANAJURA, C. A. S.; DE ARAÚJO, H. A.. Impacto das Mudanças Climáticas nas Vazões do Rio Pojuca sob o Cenário A2 do IPCC - 2070 a 2100. IN: I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Salvador. 2010.
- GENZ, F. (Coordenador). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia.** Edital Universal MCT/CNPq nº 15/2007. Processo 473871/2007-6. Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia. 2011.
- GENZ, F. SILVA, S. F. TANAJURA, C. A. S. Impacto das Mudanças Climáticas nas Vazões do rio Paraguaçu – Cenário A1B de 2011 a 2040. IN: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais.** João Pessoa – PB. 2012.
- GENZ, F.; LESSA, G. C. Twenty-six years of uneven changes in low flows due to different uses and operation of a large dam in a semiarid river. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** vol 20 n. 2. Porto Alegre abr./jun. 2015 p. 523-532. ISSN 2318-0331.
- GENZ, F.; LUZ, L. D. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. **Hydrological Sciences Journal**, v. 57, n. 5, p. 1020-1034, 2012.
- GIBSON, C. A.; MEYER, J. L.; POFF, N. L.; HAY, L. E.; GEORGAKAKOS, A. Flow regime alterations under changing climate in two river basins: implications for freshwater ecosystems. **River Res. Applic.** v. 21, p. 849–864, 2005.

GIURDICE, S.L; MENDES, J. A. R. Ações antrópicas e seus impactos nos cursos d'água. IN: TELLES, D. D. (Org.). **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. São Paulo: Blucher, 2013. 504p.

GOES FILHO, A. **Gestão de reservatórios com sistema de apoio à decisão espacial: O caso do Açude Castanhão**. 2012. 166f. Tese (Doutorado). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

GRAF, W. L. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. **Geomorphology**, v. 79, p. 336–360, 2006.

HENRY, R. **The connectivity of the Paranapanema River with two lateral lakes in its mouth zone into the Jurumirim Reservoir**. Acta Limnol. Bras., v. 17, n. 1, p. 57-69, 2005.

HERSH, E. S. MAIDMENT. **Assessment of hydrologic alteration software**. Center for Research in Water Resources. The University of Texas on Austin. 2006.

HU, W.; WANG, G.; DENG, D.; LI, S. The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe. River basin, China. **Ecological Engineering**. v. 33, p. 233–241, 2008.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Comitê de Bacia Hidrográfica Itapicuru**. Disponível em < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru/>> Acesso em 20 mai. 2014, 2014a.

_____. **Comitê de Bacia Hidrográfica Paraguaçu**. Disponível em <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-paraguacu/>> Acesso em 20 mai. de 2014, 2014b.

_____. **Barragens/ Reservatórios. Inventário das Barragens do estado da Bahia**. Disponível em < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/barragensreservatorios> > Acesso em 15 abr. 2014, 2014c;

JEONG, J., KANNAN, N., ARNOLD, J.G. Effects of urbanization and climate change on stream health in north-central Texas. **Journal of Environmental Quality**, doi:10.2134/jeq2011.0345. 2012.

JORDE, K.; BURKE, M.; SCHEIDT, N.; WELCKER, C.; KING, S.; BORDEN, C. Reservoir operations, physical processes, and ecosystem losses. In: HABERSACK, H. (Org.);PIEGAY, H.; RINALDI, M. Gravel-Bed Rivers: **Process Understanding to River Restoration**. Elsevier. p. 607–636. 2008.

JUNK, W. J.; BAYLEEY, P. B. SPARKS, R. E. The flood pulse concept in River-Floodplain Systems. In D. P. Dodge [ed.] **Proceedings of the international Large River**. Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquatic. Sci. 106. p. 110—127. 1989.

KEDDY, P.A. Water level fluctuations and wetlands conservation. In: Wetlands of the Great Lakes (eds J. Kusler & R. Smardon) p. 79-91. **Process of Wetland of the Great Lakes Symposium**, Niagara, May 16-19, 1991.

KEDDY, P.A.; FRASER L. H. **Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: the role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization**. Lakes and Reservoirs: Research and Management. v. 5, p. 177-185. 2000.

KONDOLF, G.M. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. **Environ. Mgmt.** v. 21, n. 4, p. 533–551. 1997.

LANNA, A. E. **Regularização de vazões em reservatórios**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

LEHNER, B.; LIERMANN, C. R.; REVENGA, C.; VOROSMARTY, C.; FEKETE, B.; CROUZET, P. D.; ENDEJAN, M.; FRENKEN, K.; MAGOME, J.; NILSSON, C.; ROBERTSON, J. C.; RODEL, R.; NIKOLAI, S.; WISSER, D. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. **Frontiers in Ecology and the Environment**. v. 9, n. 9, p. 494-502. 2011;

LEITE, M. B. **Relação entre conectividade de pulsos hidrológicos e vegetação ribeirinha em lagos situados na planície de inundação do rio Santa Maria**. 2012.175f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria.

LIMA, C.H.P. **Avaliação das alterações hidrológicas a jusante de barragens por meio de análise de sensibilidade de variação de variáveis de projeto**. 2014. 231f. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Salvador.

LIMA, C.H.P.; G, F.; LUZ, L. D.; FONTES, A. S.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. Avaliação da influência da mudança de variáveis de projeto de barragens sobre as alterações hidrológicas e componentes do regime de vazão natural. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. v. 20 n.3 p. 785 – 794. jul./set. 2015

LINK, V. R.; ROSA, S. L. **Plano diretor de uso de reservatórios de aproveitamentos hidráulicos e seus entornos**. São Paulo: OCTA, 2000. Disponível em: <<http://www.octa.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 20, jun 2011.

LUZ, C.N.; MACÊDO, M.A. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Paraguaçu e Afluentes, Bahia, Brasil; **Anais: I Congresso Bahiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**; 2010.

MATHEWS, R.; RICHTER, B. D. Application of the Indicators of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 43, p. 1400–1413, 2007.

MEDEIROS, Y. D. P.; FONTES, A. S.; CASTRO, M. Q. Plano de Operação de Reservatórios para atendimento aos requerimentos da vazão ambiental. IN: XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Anais...Foz do Iguaçu –PR, 2015.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011;

MEDEIROS, Y. D. P. et al. **Relatório do Projeto Gerenciamento de Recursos Hídricos do Semi-árido do Estado da Bahia. Subprojeto Sistema de Apoio a Decisão para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraguaçu. Volume III**. Capítulo 7. Salvador – Bahia.2004.

MELLER, A.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. Assimilação de dado de vazão na previsão de cheias em tempo real com o modelo hidrológico MGB-IPH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17, n. 3, p. 209-224jul/set 2012.

MENDIONDO, M.; TUCCI, C.E.M. Escala Hidrológica II: Diversidade de processos nas bacias de vertentes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, n.1, p. 81-100, 1997.

MENDIONDO, E. M.;TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas III: Hipótese Integradora de Processos na bacia Vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, n. 2, p. 21-44, jul/dez 1997.

MINEA, G; BARBULESCU, A. Statistical assessing of hydrological alteration of Buzau River induced by Siriu Dam (Romania). **Forum Geografic**. v. XIII. n. 1, p. 50-58, . jun 2014.

MONSALVE HERREIRA, D. J. **Integração de modelos de quantidade e qualidade da água para avaliação de cargas contaminantes em afluentes de mananciais de abastecimento**. 2013. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução de Verônica Calado. 2a ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

NILSSON C. REIDY, C. A. DYNESIUS, M. RAEVENGA, C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**. v. 308, p. 405–08. 2005.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. **River Research and Applications**. p. 101–121. Jan, 2003.

PAIVA, R.C.D. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de Grandes Bacias. Estudo de Caso: Bacia do Rio Solimões**. 2009. 168f. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PETTS, G. E. **Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management**. Wiley, Chichester, 326 p. 1984.

PETTS, G. E. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. **Hydrobiologia**. v. 422-423, p.15-27, 2000.

PIMENTEL, V. C. R. Alternativas de solução para os impactos físicos de barragens. 2004. 416f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

POFF, N.L.; ALLAN, J.D.;BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.;RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**. v. 47, n. 11, p. 769–784. 1997.

POFF, N. L.; WARD, J. V Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. **Can J Aquat Sci**. v. 46, p. 1805–1818. 1989;.

POFF, N. L.; HART, D. D. How Dams Vary and Why It Matters for the Emerging Science of Dam Removal. **Bioscience**. v. 52, n 8, p. 659-668, ago 2002.

POSTEL, S.; RICHTER, B. **Rivers for Life: Managing Water for People and Nature**. Washington, D.C.: Island Press, 2003. 253 p;

PRINGLE, C. M.; FREEMAN M. C.; FREEMAN, B. J. Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the New World: tropical–temperate comparisons. **Bioscience**. v. 50. p. 807–23. 2000.

REIS, L. F. R.; BRANDÃO, J. L. B. Impactos Ambientais sobre rios e reservatório. In: CALIJURI, M.V.; CUNHA, D. G. F (Org). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro. Campus/Elsevier, 2013. 852p.

RIBEIRO NETO, A. BARBOSA, I. R. ARAÚJO FILHO, P. F. CIRILO, J. A. Uso do modelo hidrológico de grandes bacias (MGB-IPH) em regiões semi-áridas. In: II Conferência Internacional sobre águas em regiões semiáridas. **Anais...Gravatá- PE**, 2007.

RICHTER, B.D.; BAUMGARTER, J.V; BOWELL, J.; BRAUN, D.P.A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology**. v. 10, n. 4. p. 1163-1174. 1996.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER J. V.; WIGINGTON, R.; BRAUN D. P. How much water does a river need?. *Fresh Biology*, 37, p. 231-249. 1997.

RICHTER, B. D. BAUMGARTNER, J. V. BRAUN, D. P. POWEL, J. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* v. 14, p. 329-340. 1998.

RICHTER, B. **Characterizing Hydrologic Regimes in Ecologically Meaningful Terms. Stream Systems Technology Center**. United States Department of Agriculture - Forest Service. Stream Notes, (<http://www.stream.fs.fed.us/news/>) jan1999.

RICHTER, B.;RICHTER, H. Prescribing flood regimes to sustain riparian ecosystem along meandering rivers. **Conserv. Biol.** 14:1467-78. 2000.

ROCHA, P. C; ARAÚJO, A. P.; BOTA G. B. Variabilidade no regime de fluxo dos rios Aguapeí e Peixe, Oeste Paulista: Alterações e Formas de Impacto. IN: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...Campo Grande – MS**. 2009.

ROCHA, P. C. Indicadores de Alterações Hidrológicas no alto rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1. p. 191-211. abr. 2010.

ROCHA, P.C. TOMMASELLI, J. T. G. Variabilidade Hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, região do Oeste Paulista. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 10, jan/jun 2012.

ROMANO, S. P.; BAER, S. G.; ZACZEK, J.J.; WILLIARD, K. W. J. Site Modelling Methods For Detecting Hydrologic Alteration of Flood Frequency And Flood Duration IN: The Floodplain Below The Carlyle Dam, Lower Kaskaskia River, Illinois, USA. **River Research and Applications**. v. 24, p. 975-984. 2009.

RONDON, M. M.; GENZ, F.; SILVA, S. F.; KIPERSTOK, A. Alterações hidrológicas no alto rio Paraguaçu devido a barragem de Apertado. IN: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...Bento Gonçalves – RS**, 2013.

ROSENBERG, D. M.; MCCULLY, P.; PRINGLE, C. M. Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction. **BioScience**. v.50, n. 9, p.746-751, 2000.

SANTOS, B. V. C. D. dos; RIBEIRO, A. H.; SOUZA, N. C. R. de; FONTES, A. S. **Avaliação da Qualidade dos Dados de Vazão do Rio Paraguaçu-Ba.** In: II JORNADA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Cruz das Almas - BA: UFRB, 2012.

SANTOS, V. C.; CONCEIÇÃO, M. P. S.; FONTES, A. S. Comparação das alterações hidrológicas ocorridas nos rios Paraguaçu e Itapicuru decorrentes das barragens de Bandeira de Melo e Pedras Altas. **Anais...XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Brasília-DF. 2015.

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

SCUDDER, T. **The future of large dams: dealing with social, environmental, institutional and political costs.** London, UK: Earthscan.2006;

SIEGEL, S. & CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento.** Tradução de Sara Ianda Correa Carmona. 2ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006.

SHIAU, J. WU. F. Feasible diversion and instream flow release using Range of Variability Approach. **Journal of Water Resources Planning and Management.** set/out 2004;

SILVA, B. C.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação da Bacia do rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB-IPH. IN. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais...São Luís.** 2004.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. C. Variabilidade da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualitas Revista Eletrônica.** v. 9, n. 3, 2010, ISSN 1677 – 4280.

SILVA, O. A. **Recursos Hídricos, ação do estado e reordenação territorial: o processo de implantação da barragem e do distrito de irrigação de Ponto Novo no estado da Bahia-Brasil.** 2008. 375f. Tese (Doutorado). Universidade de Santiago de Compostela. Departamento de Geografia. Santiago de Compostela.

SILVA, S. F. **Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento de água em Salvador frente ao cenário de mudanças climáticas.** 2012. 150f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. 2012.

SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C.; CRUZ, R.C.; DEWES, R. & ARAÚJO, T.A. Concepção Geral. In: SILVEIRA, G.L. & CRUZ, J.C. (Org.) **Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** Santa Maria: Editora da UFSM/ ABRH, 2005. p. 15-55;

SIQUEIRA JÚNIOR, J. L.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A. **Aplicação de um Modelo Hidrológico de Macro-Escala na Bacia do rio Madeira.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (CNPQ/INPE). 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/>.

SOARES, L.; SANTOS, H.; MARTINEZ-CAPEL, F.; CALLISTO, M.; TUPINAMBÁS, T. *et al.* Metodología para la propuesta de cudales ecológicos em función de restricciones ambientales y de gestión. **Aqua-LAC.** v 7. n 2. p 17-28. Set 2015.

- SOUZA, C. F. **Vazões ambientais em hidrelétricas: Belo Monte e Manso**. 2009. 163f. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- STANFORD, J. A.; WARD, J. V.; LISS, W. J.; FRISSELL, C. A.; WILLIAMS, R. N.; LICHTOWICH, J. A.; COUTANT, C. C. A general protocol for restoration of regulated rivers. **Regul. Rivers: Res. Mgmt**, v. 12, p. 391–413, 1996.
- STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE-SEI. Water Evaluation and Planning-WEAP: User Guide for WEAP21. Boston USA. 2001.
- SYVITSKI, J. P. M.; VÖRÖSMARTY C. J.; KETTNER, A.J.; GREEN, P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. **Science**, v. 308, p. 376–80. 2005.
- THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1** User's Manual, 2009.
- TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: LTC 696p. 2008.
- TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S.; Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2000. p. 253-287.
- TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídrico**. IN: Câmara Técnica sobre recursos hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002a.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre. Ed Universidade/UFRGS, 2002b. 256p.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente/ SQA – Brasília, 2006.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrograma Ambiental**. Blog do Tucci Recursos Hídricos e Meio Ambiente. 2009. Disponível em < <http://rhama.net/wordpress/?p=114>> Acesso em 9 nov 2014.
- TUNDISI, J.G. **Ecologia Teórica**. Ecologia Teórica, PPGQA/FEEVALE, Novo Hamburgo, 6 a 10 jun. 2011. CD-Rom.
- VOROSMARTY, C. J. SHARMA, K. P. FEKETE, B. M. COPELAND, A. H. HOLDEN, J. MARBLE, J. LOUGH L. A. The Storage and Aging of Continental Runoff in Large Reservoir Systems of the World. **Ambio**, v. 26, n. 4, p. 210-219, jun, 1997.
- WALKER, K.F.; SHELDON, F.; PUCKRIDGE, J.T.A perspective on Dryland River ecosystems. **Regulated Rivers-Research & Management**.v. 11, n.1. p. 85-104. 1995.
- WELLER, D. E.; JORDAN, T. E.; CORRELL, D. L. Heuristic models for material discharge from landscapes with riparian buffers. **Ecological Applications**: v. 8, n. 4, p. 1156-1169, 1998;
- WILLIAMS, G.P.; WOLMAN, M.G. **Downstream effects of dams in alluvial rivers**. US Geological Survey, Professional Paper, 1286, 1984.

WORLD COMMISSION ON DAMS. **Dams and Development: A New Framework for Decision-making**. London: Earthscan Publications, 2000.

YANG, N. MEI, Y. ZHOU, C. An optimal reservoir operation model based on ecological requirements and its effect on electricity generation. **Water Resource Manage.** jul 2014;

YANG. P. YIN. X. YANG. Z. TANG. J. **A revised of variability approach considering the periodicity of hydrological indicators**. Hydrological Processes. 2013.

9.2. APÊNDICE B – EVAPORAÇÃO EFETIVA CALCULADA

Tabela 15 Evaporação efetiva calculada para as barragens do rio Paraguauçu

Reservatório	Mês	Normais Climatológicas						Parâmetros calculados							Evaporação		
		Precipitação (mm/mês)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Radiação solar (cal/cm².dia) - Tabelado	Insolação (nº de horas) (/30)	Duração Máxima de Insolação Tabelado	Vel. dos ventos (Km/dia)	ΔY	G	qef/L	es	ea	Ei	E (mm/dia)	E (mm/mês)	Evaporação Efetiva (mm/mês)
Casa Branca	jan	146.4	24.5	73.6	932	6.1	12.65	0.01215	2.84	484.49	7.80	23.05	16.97	1.07	6.05	187.42	41.02
	fev	164.8	24.7	73.0	917	5.5	12.45	0.01278	2.87	454.75	7.32	23.33	17.03	1.10	5.71	159.99	-4.81
	mar	164.9	24.4	77.6	870	6.1	12.2	0.01246	2.82	461.51	7.43	22.92	17.78	0.90	5.72	177.39	12.49
	abr	149.1	23.8	80.5	800	5.3	11.8	0.01196	2.74	399.10	6.43	22.11	17.80	0.75	4.91	147.23	-1.87
	mai	73.0	22.5	81.4	704.5	5.0	11.65	0.01167	2.55	343.98	5.54	20.44	16.64	0.67	4.17	129.19	56.19
	jun	71.8	21.2	82.0	673	4.8	11.45	0.01232	2.38	325.61	5.24	18.88	15.48	0.59	3.87	116.07	44.27
	jul	68.6	20.7	79.9	695.5	5.4	11.55	0.01337	2.32	353.89	5.70	18.31	14.63	0.64	4.18	129.45	60.85
	ago	31.8	21.4	76.2	763.5	5.8	11.75	0.01444	2.41	401.58	6.47	19.11	14.56	0.80	4.80	148.89	117.09
	set	43.9	22.7	72.8	838	5.3	12	0.01500	2.58	416.60	6.71	20.69	15.06	0.98	5.11	153.30	109.40
	out	110.5	23.7	73.6	894	5.0	12.4	0.01358	2.72	423.36	6.82	21.97	16.17	1.02	5.26	162.99	52.49
	nov	197.9	24.0	74.9	820	4.7	12.65	0.01213	2.76	374.63	6.03	22.37	16.76	0.98	4.69	140.73	-57.17
	dez	190.1	23.9	76.2	776	5.2	12.75	0.01120	2.75	369.10	5.94	22.24	16.95	0.93	4.61	142.76	-47.34
Barraúmas	jan	146.4	24.5	73.6	932	6.1	12.65	0.01215	2.84	484.49	7.80	23.05	16.97	1.07	6.05	187.42	41.02
	fev	164.8	24.7	73.0	917	5.5	12.45	0.01278	2.87	454.75	7.32	23.33	17.03	1.10	5.71	159.99	-4.81
	mar	164.9	24.4	77.6	870	6.1	12.2	0.01246	2.82	461.51	7.43	22.92	17.78	0.90	5.72	177.39	12.49
	abr	149.1	23.8	80.5	800	5.3	11.8	0.01196	2.74	399.10	6.43	22.11	17.80	0.75	4.91	147.23	-1.87
	mai	73.0	22.5	81.4	704.5	5.0	11.65	0.01167	2.55	343.98	5.54	20.44	16.64	0.67	4.17	129.19	56.19
	jun	71.8	21.2	82.0	673	4.8	11.45	0.01232	2.38	325.61	5.24	18.88	15.48	0.59	3.87	116.07	44.27
	jul	68.6	20.7	79.9	695.5	5.4	11.55	0.01337	2.32	353.89	5.70	18.31	14.63	0.64	4.18	129.45	60.85
	ago	31.8	21.4	76.2	763.5	5.8	11.75	0.01444	2.41	401.58	6.47	19.11	14.56	0.80	4.80	148.89	117.09
	set	43.9	22.7	72.8	838	5.3	12	0.01500	2.58	416.60	6.71	20.69	15.06	0.98	5.11	153.30	109.40
	out	110.5	23.7	73.6	894	5.0	12.4	0.01358	2.72	423.36	6.82	21.97	16.17	1.02	5.26	162.99	52.49
	nov	197.9	24.0	74.9	820	4.7	12.65	0.01213	2.76	374.63	6.03	22.37	16.76	0.98	4.69	140.73	-57.17
	dez	190.1	23.9	76.2	776	5.2	12.75	0.01120	2.75	369.10	5.94	22.24	16.95	0.93	4.61	142.76	-47.34
Apertado	jan	146.4	24.5	73.6	932	6.1	12.65	0.01215	2.84	484.49	7.80	23.05	16.97	1.07	6.05	187.42	41.02
	fev	164.8	24.7	73.0	917	5.5	12.45	0.01278	2.87	454.75	7.32	23.33	17.03	1.10	5.71	159.99	-4.81
	mar	164.9	24.4	77.6	870	6.1	12.2	0.01246	2.82	461.51	7.43	22.92	17.78	0.90	5.72	177.39	12.49
	abr	149.1	23.8	80.5	800	5.3	11.8	0.01196	2.74	399.10	6.43	22.11	17.80	0.75	4.91	147.23	-1.87
	mai	73.0	22.5	81.4	704.5	5.0	11.65	0.01167	2.55	343.98	5.54	20.44	16.64	0.67	4.17	129.19	56.19
	jun	71.8	21.2	82.0	673	4.8	11.45	0.01232	2.38	325.61	5.24	18.88	15.48	0.59	3.87	116.07	44.27
	jul	68.6	20.7	79.9	695.5	5.4	11.55	0.01337	2.32	353.89	5.70	18.31	14.63	0.64	4.18	129.45	60.85
	ago	31.8	21.4	76.2	763.5	5.8	11.75	0.01444	2.41	401.58	6.47	19.11	14.56	0.80	4.80	148.89	117.09
	set	43.9	22.7	72.8	838	5.3	12	0.01500	2.58	416.60	6.71	20.69	15.06	0.98	5.11	153.30	109.40
	out	110.5	23.7	73.6	894	5.0	12.4	0.01358	2.72	423.36	6.82	21.97	16.17	1.02	5.26	162.99	52.49
	nov	197.9	24.0	74.9	820	4.7	12.65	0.01213	2.76	374.63	6.03	22.37	16.76	0.98	4.69	140.73	-57.17
	dez	190.1	23.9	76.2	776	5.2	12.75	0.01120	2.75	369.10	5.94	22.24	16.95	0.93	4.61	142.76	-47.34
Bandeira de Melo	jan	109.6	25.8	69.8	938	6.6	12.7	0.02237	3.04	507.42	8.17	24.91	17.39	1.32	6.47	200.63	91.03
	fev	103.4	25.8	70.2	920	6.0	12.5	0.02069	3.04	478.78	7.71	24.91	17.48	1.30	6.12	171.38	67.98
	mar	100.2	25.6	69.9	867	6.8	12.2	0.01993	3.00	489.74	7.89	24.61	17.21	1.30	6.24	193.44	93.24
	abr	77.7	25.1	73.5	791	5.9	11.8	0.01809	2.93	419.23	6.75	23.89	17.56	1.11	5.31	159.41	81.71
	mai	38.1	23.7	74.9	696	5.3	11.6	0.01944	2.72	352.99	5.68	21.97	16.46	0.97	4.42	136.89	98.79
	jun	38.3	22.2	76.2	661	4.9	11.4	0.01908	2.51	324.66	5.23	20.07	15.29	0.84	3.98	119.33	81.03
	jul	32.7	21.5	75.2	684	5.1	11.5	0.01979	2.42	340.67	5.49	19.23	14.46	0.83	4.13	127.91	95.21
	ago	22.3	22.1	70.8	755	5.6	11.7	0.02344	2.50	391.54	6.30	19.95	14.12	1.02	4.79	148.64	126.34
	set	18.0	23.4	68.3	838	5.2	12	0.02951	2.68	411.60	6.63	21.58	14.74	1.20	5.15	154.54	136.54
	out	45.0	25.0	66.4	897	5.6	12.4	0.02933	2.91	451.63	7.27	23.75	15.77	1.40	5.77	178.88	133.88
	nov	89.9	25.4	67.7	826	5.2	12.7	0.02602	2.97	394.65	6.35	24.32	16.47	1.38	5.10	153.04	63.14
	dez	109.9	25.5	68.1	832	6.0	12.8	0.02262	2.99	425.00	6.84	24.47	16.66	1.37	5.47	169.57	59.67

Continua

Continuação

Reservatório	Mês	Normais Climatológicas						Parâmetros calculados							Evaporação		
		Precipitação (mm/mês)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Radiação solar (cal/cm ² .dia) - Tabelado	Insolação (nº de horas) (/30)	Duração Máxima de Insolação Tabelado	Vel. dos ventos (Km/dia)	ΔY	G	qef/L	es	ea	Ei	E (mm/dia)	E (mm/mês)	Evaporação Efetiva (mm/mês)
França	jan	115.8	20.8	76.3	911	5.8	12.55	0.03574	2.33	464.49	7.48	18.42	14.05	0.76	5.46	169.39	53.59
	fev	100.7	21.0	75.4	920	4.7	12.35	0.03825	2.36	424.54	6.84	18.65	14.06	0.80	5.04	141.10	40.40
	mar	86.7	20.8	78.2	876	5.6	12.05	0.03995	2.33	447.48	7.21	18.42	14.40	0.70	5.25	162.88	76.18
	abr	70.1	20.4	81.0	807.5	5.0	11.95	0.04011	2.28	387.85	6.24	17.97	14.56	0.60	4.52	135.75	65.65
	mai	34.8	18.9	83.6	732	5.2	11.75	0.04407	2.10	364.45	5.87	16.37	13.69	0.47	4.13	128.01	93.21
	jun	34.2	17.4	85.1	695.5	4.5	11.55	0.04846	1.94	324.18	5.22	14.90	12.68	0.39	3.58	107.26	73.06
	jul	27.0	16.8	84.1	711	4.9	11.65	0.04831	1.87	343.62	5.53	14.35	12.07	0.40	3.75	116.16	89.16
	ago	17.5	17.4	79.4	773	6.0	11.85	0.04658	1.94	413.60	6.66	14.90	11.83	0.54	4.58	141.85	124.35
	set	19.3	18.7	75.4	856	5.8	12	0.04888	2.08	443.54	7.14	16.17	12.19	0.70	5.05	151.51	132.21
	out	36.3	20.2	73.4	897	6.0	12.25	0.04097	2.26	468.14	7.54	17.75	13.03	0.83	5.48	169.83	133.53
	nov	95.0	20.8	73.9	959.5	5.1	12.55	0.03809	2.33	455.08	7.33	18.42	13.61	0.84	5.38	161.44	66.44
	dez	127.4	20.7	75.9	964	5.5	12.65	0.03372	2.32	476.49	7.67	18.31	13.89	0.77	5.59	173.42	46.02
São José do Jacuípe	jan	109.3	25.0	70.0	911	6.8	12.55	0.03114	2.91	503.60	8.11	23.75	16.63	1.25	6.35	197.00	87.70
	fev	97.2	25.1	71.0	920	5.1	12.35	0.03170	2.93	439.95	7.08	23.89	16.96	1.21	5.59	156.50	59.30
	mar	124.1	25.0	72.0	876	6.8	12.05	0.03116	2.91	495.20	7.97	23.75	17.10	1.16	6.23	193.22	69.12
	abr	96.8	24.3	75.0	807.5	5.9	11.95	0.03166	2.81	425.32	6.85	22.78	17.08	1.00	5.31	159.35	62.55
	mai	49.3	22.9	77.0	732	5.3	11.75	0.02907	2.61	368.05	5.93	20.94	16.12	0.84	4.52	140.05	90.75
	jun	54.6	21.5	78.0	695.5	5.0	11.55	0.03249	2.42	340.71	5.49	19.23	15.00	0.74	4.10	122.98	68.38
	jul	50.6	21.0	76.0	711	5.8	11.65	0.03592	2.36	375.14	6.04	18.65	14.17	0.78	4.47	138.72	88.12
	ago	40.5	21.6	72.0	773	6.9	11.85	0.04094	2.43	446.56	7.19	19.35	13.93	0.95	5.37	166.57	126.07
	set	31.3	23.1	68.0	856	6.4	12	0.04175	2.64	470.69	7.58	21.19	14.41	1.19	5.82	174.64	143.34
	out	42.4	24.5	65.0	897	6.8	12.25	0.03826	2.84	505.19	8.13	23.05	14.98	1.41	6.38	197.87	155.47
	nov	89.4	25.1	65.0	959.5	6.0	12.55	0.03582	2.93	497.10	8.00	23.89	15.53	1.46	6.34	190.17	100.77
	dez	112.9	24.8	70.0	964	6.7	12.65	0.03078	2.88	527.67	8.50	23.47	16.43	1.23	6.63	205.38	92.48
Pedra do Cavallo	jan	123.13	25.26	78.59	1006	5.9	14.6	0.02824	2.95	479.16	7.72	24.12	18.95	0.90	5.99	185.73	62.60
	fev	144.18	25.06	80.17	882	5.4	13.55	0.02686	2.92	416.28	6.70	23.83	19.10	0.83	5.20	145.72	1.54
	mar	94.78	24.96	81.11	702	6.1	12.40	0.02748	2.91	369.91	5.96	23.70	19.22	0.78	4.63	143.59	48.81
	abr	107.17	24.56	83.33	519	6.1	11.10	0.02819	2.85	289.55	4.66	23.14	19.28	0.68	3.63	108.77	1.61
	mai	137.42	23.43	86.07	374.5	5.4	10.00	0.03038	2.68	208.05	3.35	21.62	18.61	0.53	2.58	80.09	-57.32
	jun	120.68	21.97	88.15	312.5	4.7	9.40	0.03184	2.48	165.37	2.66	19.79	17.45	0.41	2.02	60.49	-60.20
	jul	87.02	21.41	86.72	351	5.5	9.70	0.03387	2.41	199.35	3.21	19.12	16.58	0.44	2.40	74.36	-12.66
	ago	61.22	21.63	82.68	472	6.4	10.55	0.03367	2.44	280.49	4.52	19.38	16.02	0.59	3.37	104.59	43.37
	set	69.32	22.62	81.93	640	5.1	13.10	0.03481	2.57	298.11	4.80	20.59	16.87	0.65	3.64	109.15	39.83
	out	54.48	23.83	78.34	832	6.5	13.10	0.03340	2.74	438.69	7.06	22.15	17.35	0.84	5.40	167.39	112.91
	nov	63.85	24.64	78.73	971	5.2	14.25	0.02958	2.86	438.70	7.06	23.24	18.30	0.87	5.46	163.71	99.86
	dez	49.43	25.37	76.70	1044	5.9	14.90	0.02945	2.97	489.58	7.88	24.28	18.62	0.99	6.15	190.53	141.10

Fonte: Própria de acordo com INMET (2015);

Tabela 16 Evaporação efetiva calculada para as barragens do rio Itapicurú

Reservatório	Mês	Normais Climatológicas						Parâmetros calculados							Evaporação			
		Precipitação (mm/mês)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Radiação solar (cal/cm².dia) - Tabelaado	Insolação (nº de horas) (/30)	Duração Máxima de Insolação - Tabelaado	Vel. dos ventos (Km/dia)	ΔY	G	qef/L	es	ea	Ei	E (mm/dia)	E (mm/mês)	Evaporação Efetiva (mm/mês)	Evaporação Efetiva (mm/d)
Alpim	jan	109.3	25.0	70.0	911	6.8	12.55	0.0309	2.91	503.60	8.11	23.75	16.63	1.25	6.35	197.00	87.70	2.8291811
	fev	97.2	25.1	71.0	920	5.1	12.35	0.0317	2.93	439.95	7.08	23.89	16.96	1.21	5.59	156.50	59.30	2.1176964
	mar	124.1	25.0	72.0	876	6.8	12.05	0.0311	2.91	495.20	7.97	23.75	17.10	1.16	6.23	193.22	69.12	2.2298197
	abr	96.8	24.3	75.0	807.5	5.9	11.95	0.0311	2.81	425.32	6.85	22.78	17.08	1.00	5.31	159.35	67.86	2.2621277
	mai	49.3	22.9	77.0	732	5.3	11.75	0.03	2.61	368.05	5.93	20.94	16.12	0.84	4.52	140.05	90.75	2.9273593
	jun	54.6	21.5	78.0	695.5	5.0	11.55	0.0341	2.42	340.71	5.49	19.23	15.00	0.74	4.10	122.98	72.48	2.4158955
	jul	50.6	21.0	76.0	711	5.8	11.65	0.0359	2.36	375.14	6.04	18.65	14.17	0.78	4.47	138.72	88.12	2.8425896
	ago	40.5	21.6	72.0	773	6.9	11.85	0.0405	2.43	446.56	7.19	19.35	13.93	0.95	5.37	166.57	126.07	4.0666508
	set	31.3	23.1	68.0	856	6.4	12.00	0.0417	2.64	470.69	7.58	21.19	14.41	1.19	5.82	174.64	149.16	4.9720596
	out	42.4	24.5	65.0	897	6.8	12.25	0.0382	2.84	505.19	8.13	23.05	14.98	1.41	6.38	197.87	155.47	5.0150103
	nov	89.4	25.1	65.0	959.5	6.0	12.55	0.036	2.93	497.10	8.00	23.89	15.53	1.46	6.34	190.17	107.11	3.5702699
	dez	112.9	24.8	70.0	964	6.7	12.65	0.0308	2.88	527.67	8.50	23.47	16.43	1.23	6.63	205.38	92.48	2.983341
Pedras Altas	jan	109.3	25.0	70.0	911	6.8	12.55	0.0309	2.91	503.60	8.11	23.75	16.63	1.25	6.35	197.00	87.70	2.8291811
	fev	97.2	25.1	71.0	920	5.1	12.35	0.0317	2.93	439.95	7.08	23.89	16.96	1.21	5.59	156.50	59.30	2.1176964
	mar	124.1	25.0	72.0	876	6.8	12.05	0.0311	2.91	495.20	7.97	23.75	17.10	1.16	6.23	193.22	69.12	2.2298197
	abr	96.8	24.3	75.0	807.5	5.9	11.95	0.0311	2.81	425.32	6.85	22.78	17.08	1.00	5.31	159.35	67.86	2.2621277
	mai	49.3	22.9	77.0	732	5.3	11.75	0.03	2.61	368.05	5.93	20.94	16.12	0.84	4.52	140.05	90.75	2.9273593
	jun	54.6	21.5	78.0	695.5	5.0	11.55	0.0341	2.42	340.71	5.49	19.23	15.00	0.74	4.10	122.98	72.48	2.4158955
	jul	50.6	21.0	76.0	711	5.8	11.65	0.0359	2.36	375.14	6.04	18.65	14.17	0.78	4.47	138.72	88.12	2.8425896
	ago	40.5	21.6	72.0	773	6.9	11.85	0.0405	2.43	446.56	7.19	19.35	13.93	0.95	5.37	166.57	126.07	4.0666508
	set	31.3	23.1	68.0	856	6.4	12.00	0.0417	2.64	470.69	7.58	21.19	14.41	1.19	5.82	174.64	149.16	4.9720596
	out	42.4	24.5	65.0	897	6.8	12.25	0.0382	2.84	505.19	8.13	23.05	14.98	1.41	6.38	197.87	155.47	5.0150103
	nov	89.4	25.1	65.0	959.5	6.0	12.55	0.036	2.93	497.10	8.00	23.89	15.53	1.46	6.34	190.17	107.11	3.5702699
	dez	112.9	24.8	70.0	964	6.7	12.65	0.0308	2.88	527.67	8.50	23.47	16.43	1.23	6.63	205.38	92.48	2.983341
Pindobaçu	jan	109.3	25.0	70.0	911	6.8	12.55	0.0309	2.91	503.60	8.11	23.75	16.63	1.25	6.35	197.00	87.70	2.8291811
	fev	97.2	25.1	71.0	920	5.1	12.35	0.0317	2.93	439.95	7.08	23.89	16.96	1.21	5.59	156.50	59.30	2.1176964
	mar	124.1	25.0	72.0	876	6.8	12.05	0.0311	2.91	495.20	7.97	23.75	17.10	1.16	6.23	193.22	69.12	2.2298197
	abr	96.8	24.3	75.0	807.5	5.9	11.95	0.0311	2.81	425.32	6.85	22.78	17.08	1.00	5.31	159.35	67.86	2.2621277
	mai	49.3	22.9	77.0	732	5.3	11.75	0.03	2.61	368.05	5.93	20.94	16.12	0.84	4.52	140.05	90.75	2.9273593
	jun	54.6	21.5	78.0	695.5	5.0	11.55	0.0341	2.42	340.71	5.49	19.23	15.00	0.74	4.10	122.98	72.48	2.4158955
	jul	50.6	21.0	76.0	711	5.8	11.65	0.0359	2.36	375.14	6.04	18.65	14.17	0.78	4.47	138.72	88.12	2.8425896
	ago	40.5	21.6	72.0	773	6.9	11.85	0.0405	2.43	446.56	7.19	19.35	13.93	0.95	5.37	166.57	126.07	4.0666508
	set	31.3	23.1	68.0	856	6.4	12.00	0.0417	2.64	470.69	7.58	21.19	14.41	1.19	5.82	174.64	149.16	4.9720596
	out	42.4	24.5	65.0	897	6.8	12.25	0.0382	2.84	505.19	8.13	23.05	14.98	1.41	6.38	197.87	155.47	5.0150103
	nov	89.4	25.1	65.0	959.5	6.0	12.55	0.036	2.93	497.10	8.00	23.89	15.53	1.46	6.34	190.17	107.11	3.5702699
	dez	112.9	24.8	70.0	964	6.7	12.65	0.0308	2.88	527.67	8.50	23.47	16.43	1.23	6.63	205.38	92.48	2.983341
Ponto Novo	jan	109.3	25.0	70.0	911	6.8	12.55	0.0309	2.91	503.60	8.11	23.75	16.63	1.25	6.35	197.00	87.70	2.8291811
	fev	97.2	25.1	71.0	920	5.1	12.35	0.0317	2.93	439.95	7.08	23.89	16.96	1.21	5.59	156.50	59.30	2.1176964
	mar	124.1	25.0	72.0	876	6.8	12.05	0.0311	2.91	495.20	7.97	23.75	17.10	1.16	6.23	193.22	69.12	2.2298197
	abr	96.8	24.3	75.0	807.5	5.9	11.95	0.0311	2.81	425.32	6.85	22.78	17.08	1.00	5.31	159.35	67.86	2.2621277
	mai	49.3	22.9	77.0	732	5.3	11.75	0.03	2.61	368.05	5.93	20.94	16.12	0.84	4.52	140.05	90.75	2.9273593
	jun	54.6	21.5	78.0	695.5	5.0	11.55	0.0341	2.42	340.71	5.49	19.23	15.00	0.74	4.10	122.98	72.48	2.4158955
	jul	50.6	21.0	76.0	711	5.8	11.65	0.0359	2.36	375.14	6.04	18.65	14.17	0.78	4.47	138.72	88.12	2.8425896
	ago	40.5	21.6	72.0	773	6.9	11.85	0.0405	2.43	446.56	7.19	19.35	13.93	0.95	5.37	166.57	126.07	4.0666508
	set	31.3	23.1	68.0	856	6.4	12.00	0.0417	2.64	470.69	7.58	21.19	14.41	1.19	5.82	174.64	149.16	4.9720596
	out	42.4	24.5	65.0	897	6.8	12.25	0.0382	2.84	505.19	8.13	23.05	14.98	1.41	6.38	197.87	155.47	5.0150103
	nov	89.4	25.1	65.0	959.5	6.0	12.55	0.036	2.93	497.10	8.00	23.89	15.53	1.46	6.34	190.17	107.11	3.5702699
	dez	112.9	24.8	70.0	964	6.7	12.65	0.0308	2.88	527.67	8.50	23.47	16.43	1.23	6.63	205.38	92.48	2.983341

Fonte: Própria de acordo com INMET (2015);

9.3. APÊNDICE C – RESULTADOS IHA

Tabela 17 Resultados análise do IHA de Aipim - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

PARÂMETROS		AIPIM										
		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	Valor Abs	C.D.	Valor Abs	
GRUPO 1												
SUBGRUPO 1	Novembro	0.13	0.05	1.06	0.00	0.59	1.00	59.30	59.30	100.00	100.00	
	Dezembro	0.18	0.05	1.49	0.00	0.72	1.00	71.51	71.51	100.00	100.00	
	Janeiro	0.12	0.05	2.68	0.00	0.59	1.00	59.04	59.04	100.00	100.00	
	Fevereiro	0.19	0.05	3.40	8.61	0.74	1.53	73.64	73.64	-153.21	153.21	
	Março	0.35	0.05	1.41	4.34	0.85	2.07	85.43	85.43	-207.08	207.08	
	Abril	0.39	0.05	1.66	9.01	0.87	4.43	86.76	86.76	-443.04	443.04	
	Mai	0.38	0.12	2.34	5.71	0.68	1.44	68.19	68.19	-143.99	143.99	
	Junho	0.42	0.11	2.74	10.22	0.74	2.72	73.90	73.90	-272.58	272.58	
	Julho	0.43	0.22	2.05	3.72	0.49	0.81	49.00	49.00	-81.45	81.45	
		Média (%) - M									69.64	177.93
	Desvio Padrão (DP)									12.39	188.05	
	M + DP									82.03	365.98	
SUBGRUPO 2	Agosto	0.33	0.06	1.56	7.01	0.82	3.49	82.31	82.31	-349.10	349.10	
	Setembro	0.17	0.05	2.25	4.13	0.70	0.83	69.52	69.52	-83.47	83.47	
	Outubro	0.09	0.05	2.96	1.00	0.41	0.66	40.70	40.70	66.17	66.17	
		Média (%) - M									64.17	166.25
		Desvio Padrão (DP)									19.10	116.91
	M + DP									83.28	283.15	
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.03	0.05	1.82	0.94	0.62	0.48	-61.90	61.90	48.19	48.19	
	Vazão mínima de 3 dias	0.03	0.05	1.80	0.94	0.56	0.48	-56.11	56.11	47.81	47.81	
	Vazão mínima de 3 dias	0.04	0.05	1.70	0.94	0.43	0.45	-43.10	43.10	44.86	44.86	
	Vazão mínima de 30 dias	0.05	0.05	1.33	0.89	0.01	0.33	-0.53	0.53	33.18	33.18	
		Índice de vazão de base	0.09	0.08	1.18	1.28	0.07	0.09	6.90	6.90	-8.93	8.93
		Média (%) - M									33.71	36.59
		Desvio Padrão (DP)									28.30	16.63
	M + DP									62.01	53.22	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	0.13	0.05	1.26	0.53	0.62	0.58	61.54	61.54	57.85	57.85	
	Vazão máxima de 1 dia	5.18	4.35	0.90	1.43	0.16	0.59	16.02	16.02	-58.90	58.90	
	Vazão máxima de 3 dias	4.62	3.71	0.86	1.39	0.20	0.61	19.58	19.58	-61.19	61.19	
	Vazão máxima de 7 dias	3.77	3.09	0.88	1.35	0.18	0.53	18.06	18.06	-52.78	52.78	
	Vazão máxima de 30 dias	2.11	1.55	0.91	1.36	0.26	0.49	26.31	26.31	-49.38	49.38	
	Vazão máxima de 90 dias	1.17	0.79	1.00	1.46	0.32	0.47	32.30	32.30	-46.64	46.64	
		Média (%) - M									28.97	54.46
		Desvio Padrão (DP)									17.05	5.77
	M + DP									46.02	60.22	
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	326.00	285.00	0.40	0.22	0.22	0.44	12.58	12.58	43.85	43.85	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	145.00	165.50	0.49	0.48	0.11	0.03	-14.14	14.14	2.77	2.77	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	4.50	3.00	1.50	1.58	0.33	0.06	33.33	33.33	-5.53	5.53	
	Número de pulsos altos	7.50	5.50	0.63	0.86	0.27	0.36	26.67	26.67	-36.37	36.37	
		Média (%) - M									30.00	20.95
		Desvio Padrão (DP)									4.71	21.80
	M + DP									84.68	594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	8.00	8.50	0.91	4.82	0.06	4.32	-6.25	6.25	-432.27	432.27	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	4.50	4.00	0.61	0.75	0.11	0.23	11.11	11.11	-22.73	22.73	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.09	0.12	0.85	1.69	0.30	0.98	-29.94	29.94	-98.42	98.42	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.02	-0.03	-1.41	-1.74	1.14	0.23	-114.06	114.06	-23.06	23.06	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	95.50	48.50	0.24	0.72	0.49	2.04	49.21	49.21	-204.12	204.12	

Fonte: Própria

Tabela 18 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pedras Altas - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

PEDRAS ALTAS											
PARÂMETROS	MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
	Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	Valor Abs	C.D.	Valor Abs	
GRUPO 1											
SUBGRUPO 1	Novembro	0.87	0.39	1.09	0.00	0.55	1.00	54.90	54.90	100.00	100.00
	Dezembro	1.32	0.39	1.85	0.00	0.70	1.00	70.23	70.23	100.00	100.00
	Janeiro	1.20	0.39	1.50	0.00	0.67	1.00	67.32	67.32	100.00	100.00
	Fevereiro	1.52	0.39	1.98	0.00	0.74	1.00	74.13	74.13	100.00	100.00
	Março	1.86	0.39	2.25	1.32	0.79	0.42	78.82	78.82	41.53	41.53
	Abril	2.02	0.39	1.54	0.00	0.80	1.00	80.47	80.47	100.00	100.00
	Maió	1.50	0.39	1.15	0.00	0.74	1.00	73.73	73.73	100.00	100.00
	Junho	1.96	0.39	1.17	0.76	0.80	0.35	79.87	79.87	34.97	34.97
	Julho	1.42	0.39	1.09	0.00	0.72	1.00	72.29	72.29	100.00	100.00
	Média (%) - M								72.42		86.28
Desvio Padrão (DP)								7.94		27.28	
M + DP								80.35		113.56	
SUBGRUPO 2	Agosto	1.06	0.39	1.17	0.00	0.63	1.00	62.77	62.77	100.00	100.00
	Setembro	0.67	0.39	1.40	0.00	0.41	1.00	41.40	41.40	100.00	100.00
	Outubro	0.55	0.39	1.41	0.00	0.28	1.00	28.00	28.00	100.00	100.00
	Média (%) - M								44.06		100.00
	Desvio Padrão (DP)								19.82		28.49
M + DP								63.87		128.49	
GRUPO 2											
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.15	0.39	0.65	0.96	1.56	0.47	-156.35	156.35	-47.44	47.44
	Vazão mínima de 3 dias	0.16	0.39	0.60	0.95	1.46	0.59	-146.25	146.25	-59.48	59.48
	Vazão mínima de 3 dias	0.16	0.39	0.57	0.95	1.40	0.66	-139.50	139.50	-66.45	66.45
	Vazão mínima de 30 dias	0.27	0.39	0.61	0.87	0.48	0.43	-47.60	47.60	-43.03	43.03
	Índice de vazão de base	0.09	0.20	0.81	2.45	1.26	2.01	-126.40	126.40	-200.74	200.74
	Média (%) - M								123.22		83.43
	Desvio Padrão (DP)								43.65		66.24
	M + DP								166.87		149.67
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	0.86	0.39	0.82	0.40	0.54	0.52	54.09	54.09	51.72	51.72
	Vazão máxima de 1 dia	19.87	12.67	1.49	1.93	0.36	0.30	36.24	36.24	-29.93	29.93
	Vazão máxima de 3 dias	17.33	9.39	1.65	2.42	0.46	0.47	45.85	45.85	-46.93	46.93
	Vazão máxima de 7 dias	14.62	6.04	1.62	2.70	0.59	0.67	58.67	58.67	-67.33	67.33
	Vazão máxima de 30 dias	6.35	2.80	1.29	2.24	0.56	0.74	55.92	55.92	-73.55	73.55
	Vazão máxima de 90 dias	4.60	1.59	1.13	2.79	0.65	1.47	65.40	65.40	-147.38	147.38
	Média (%) - M								52.69		69.47
	Desvio Padrão (DP)								10.27		41.18
M + DP								62.97		110.65	
GRUPO 3											
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	301.00	275.00	0.17	0.03	0.14	0.82	8.64	8.64	81.93	81.93
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	41.50	275.00	0.24	0.48	0.72	1.04	-562.65	562.65	-103.74	103.74
GRUPO 4											
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	7.50	2.00	1.17	2.00	0.73	0.71	73.33	73.33	-71.38	71.38
	Número de pulsos altos	11.00	2.00	0.70	2.50	0.82	2.55	81.82	81.82	-254.86	254.86
	Média (%) - M								77.58		163.12
	Desvio Padrão (DP)								6.00		129.74
M + DP								84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	6.50	8.50	0.83	6.87	0.31	7.31	-30.77	30.77	-730.57	730.57
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	4.25	4.25	0.47	0.94	0.00	1.00	0.00	0.00	-100.00	100.00
GRUPO 5											
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.29	0.42	0.63	1.93	0.43	2.09	-42.83	42.83	-208.44	208.44
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.12	-0.27	-0.73	-2.41	1.13	2.28	-113.25	113.25	-228.11	228.11
SUBGRUPO 3	Número de reversões	92.00	19.50	0.17	1.40	0.79	7.43	78.80	78.80	-742.58	742.58

Fonte: Própria

Tabela 19 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pindobaçu - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

PINDOBAÇU												
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	C.D.			
GRUPO 1								Valor Abs		Valor Abs		
SUBGRUPO 1	Novembro	0.48	0.28	1.13	0.00	0.42	1.00	41.86	41.86	100.00	100.00	
	Dezembro	0.68	0.28	2.52	0.00	0.59	1.00	58.97	58.97	100.00	100.00	
	Janeiro	0.86	0.28	0.69	0.00	0.68	1.00	67.70	67.70	100.00	100.00	
	Fevereiro	0.76	0.28	2.54	3.17	0.64	0.25	63.61	63.61	-24.71	24.71	
	Março	1.08	0.28	2.70	1.34	0.74	0.51	74.28	74.28	50.56	50.56	
	Abril	1.89	0.28	1.72	0.88	0.85	0.49	85.27	85.27	48.75	48.75	
	Maior	1.51	0.28	1.83	6.80	0.82	2.72	81.58	81.58	-271.77	271.77	
	Junho	1.66	0.28	1.28	2.45	0.83	0.92	83.31	83.31	-92.08	92.08	
	Julho	1.15	0.28	1.33	3.12	0.76	1.34	75.93	75.93	-134.21	134.21	
		Média (%) - M							70.28		102.45	
	Desvio Padrão (DP)							13.95		129.52		
	M+ DP							84.23		231.97		
SUBGRUPO 2	Agosto	0.88	0.28	1.40	0.85	0.68	0.39	68.47	68.47	39.44	39.44	
	Setembro	0.49	0.28	1.43	0.00	0.44	1.00	43.71	43.71	100.00	100.00	
	Outubro	0.38	0.28	1.76	0.00	0.27	1.00	27.47	27.47	100.00	100.00	
		Média (%) - M							46.55		79.81	
		Desvio Padrão (DP)							20.15		69.23	
	M+ DP							66.69		149.05		
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.14	0.05	0.95	5.13	0.66	4.38	65.63	65.63	-437.54	437.54	
	Vazão mínima de 3 dias	0.15	0.06	0.96	4.22	0.59	3.41	59.29	59.29	-341.30	341.30	
	Vazão mínima de 7 dias	0.15	0.07	0.97	3.42	0.52	2.53	52.37	52.37	-252.90	252.90	
	Vazão mínima de 30 dias	0.21	0.15	1.02	1.60	0.28	0.57	28.35	28.35	-56.65	56.65	
		Índice de vazão de base	0.08	0.10	1.44	1.93	0.33	0.34	-32.56	32.56	-34.07	34.07
		Média (%) - M							47.64		224.49	
		Desvio Padrão (DP)							16.44		176.26	
	M+ DP							64.08		400.75		
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	0.59	0.25	0.84	0.53	0.57	0.37	57.21	57.21	36.60	36.60	
	Vazão máxima de 1 dia	26.44	14.18	1.43	2.92	0.46	1.04	46.37	46.37	-104.06	104.06	
	Vazão máxima de 3 dias	20.04	11.09	1.37	2.69	0.45	0.96	44.66	44.66	-96.35	96.35	
	Vazão máxima de 7 dias	13.39	9.69	1.25	2.00	0.28	0.60	27.63	27.63	-60.19	60.19	
	Vazão máxima de 30 dias	7.09	4.30	1.09	2.05	0.39	0.88	39.33	39.33	-87.75	87.75	
	Vazão máxima de 90 dias	3.66	1.89	1.28	2.67	0.49	1.09	48.51	48.51	-109.23	109.23	
		Média (%) - M							43.95		82.36	
	Desvio Padrão (DP)							9.91		28.29		
	M+ DP							53.86		110.66		
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	310.00	275.00	0.16	0.05	0.19	0.70	11.29	11.29	70.08	70.08	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	103.00	92.00	0.26	0.42	0.06	0.59	10.68	10.68	-58.78	58.78	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	7.50	2.00	0.80	2.50	0.73	2.13	73.33	73.33	-212.50	212.50	
	Número de pulsos altos	9.00	3.50	0.78	1.36	0.61	0.74	61.11	61.11	-74.47	74.47	
		Média (%) - M							67.22		143.48	
		Desvio Padrão (DP)							8.64		97.60	
	M+ DP							84.68		594.29		
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	5.75	24.50	0.87	5.86	3.26	5.74	-326.09	326.09	-574.10	574.10	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	4.00	4.00	0.56	1.75	0.00	2.11	0.00	0.00	-211.11	211.11	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.27	0.40	0.92	2.56	0.51	1.79	-51.05	51.05	-179.15	179.15	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.06	-0.18	-1.28	-2.31	1.96	0.80	-196.39	196.39	-80.30	80.30	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	119.00	37.00	0.25	0.66	0.69	1.61	68.91	68.91	-160.50	160.50	

Fonte: Própria

Tabela 20 Resultados análise não paramétrica do IHA de Ponto Novo - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

PONTO NOVO											
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)			
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	C.D.	Valor Abs	Valor Abs
GRUPO 1											
SUBGRUPO 1	Novembro	2.11	0.95	0.73	0.00	0.55	1.00	55.06	55.06	100.00	100.00
	Dezembro	3.78	0.95	1.80	0.00	0.75	1.00	74.92	74.92	100.00	100.00
	Janeiro	3.23	0.95	1.62	0.23	0.71	0.86	70.63	70.63	86.08	86.08
	Fevereiro	4.28	0.95	2.08	5.86	0.78	1.82	77.81	77.81	-181.72	181.72
	Março	5.35	0.95	1.60	6.41	0.82	3.02	82.25	82.25	-301.63	301.63
	Abril	7.37	0.95	1.22	6.52	0.87	4.36	87.12	87.12	-436.10	436.10
	Maior	6.37	1.25	1.44	5.46	0.80	2.79	80.33	80.33	-278.57	278.57
	Junho	6.84	2.24	1.70	4.11	0.67	1.42	67.28	67.28	-141.65	141.65
	Julho	5.71	0.95	1.83	9.35	0.83	4.11	83.39	83.39	-411.49	411.49
	Média (%) - M								75.42		226.36
	Desvio Padrão (DP)								9.88		215.09
M + DP								85.30		441.45	
SUBGRUPO 2	Agosto	4.67	0.95	1.29	4.31	0.80	2.33	79.68	79.68	-232.95	232.95
	Setembro	2.54	0.95	1.71	1.00	0.63	0.41	62.57	62.57	41.49	41.49
	Outubro	1.65	0.95	2.21	0.00	0.42	1.00	42.30	42.30	100.00	100.00
	Média (%) - M								61.52		124.81
	Desvio Padrão (DP)								19.73		132.43
M + DP								81.25		257.24	
GRUPO 2											
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.71	0.39	0.62	2.17	0.45	2.47	45.13	45.13	-247.34	247.34
	Vazão mínima de 3 dias	0.73	0.49	0.61	1.72	0.33	1.81	33.47	33.47	-180.80	180.80
	Vazão mínima de 3 dias	0.79	0.62	0.56	1.35	0.22	1.39	22.41	22.41	-138.78	138.78
	Vazão mínima de 30 dias	1.11	0.86	0.60	0.89	0.22	0.47	22.36	22.36	-46.67	46.67
	Índice de vazão de base	0.10	0.08	0.95	1.47	0.13	0.55	13.16	13.16	-54.61	54.61
	Média (%) - M								27.30		133.64
	Desvio Padrão (DP)								12.29		85.13
	M + DP								39.60		218.77
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	2.64	0.92	0.87	0.52	0.65	0.40	65.15	65.15	40.26	40.26
	Vazão máxima de 1 dia	91.86	67.97	0.97	1.53	0.26	0.57	26.01	26.01	-57.24	57.24
	Vazão máxima de 3 dias	77.17	54.81	0.96	1.67	0.29	0.74	28.97	28.97	-73.87	73.87
	Vazão máxima de 7 dias	51.46	46.75	1.12	1.53	0.09	0.36	9.15	9.15	-36.33	36.33
	Vazão máxima de 30 dias	27.56	21.12	1.30	1.90	0.23	0.47	23.37	23.37	-46.53	46.53
	Vazão máxima de 90 dias	16.30	11.52	1.15	1.55	0.29	0.35	29.33	29.33	-34.52	34.52
	Média (%) - M								30.33		48.12
	Desvio Padrão (DP)								18.60		15.06
M + DP								48.93		63.19	
GRUPO 3											
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	318.50	275.00	0.36	0.44	0.24	0.23	13.66	13.66	-23.25	23.25
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	65.00	79.50	0.23	0.34	0.08	0.47	-22.31	22.31	-47.39	47.39
GRUPO 4											
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	6.00	4.00	0.83	1.25	0.33	0.50	33.33	33.33	-50.01	50.01
	Número de pulsos altos	7.50	4.00	0.77	1.00	0.47	0.30	46.67	46.67	-30.43	30.43
	Média (%) - M								40.00		40.22
	Desvio Padrão (DP)								9.43		13.84
M + DP								84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	9.00	16.00	0.64	2.17	0.78	2.40	-77.78	77.78	-239.96	239.96
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	4.25	5.00	0.71	1.05	0.18	0.49	-17.65	17.65	-48.75	48.75
GRUPO 5											
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.81	1.33	0.77	1.53	0.64	0.98	-63.54	63.54	-97.52	97.52
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.25	-0.79	-1.06	-1.18	2.11	0.11	-211.09	211.09	-10.64	10.64
SUBGRUPO 3	Número de reversões	103.50	51.50	0.22	0.67	0.50	2.10	50.24	50.24	-210.40	210.40

Fonte: Própria

Tabela 21 Resultados análise não paramétrica do IHA de Apertado - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

PARÂMETROS		APERTADO										
		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana		C.D.		
								Valor Abs		Valor Abs		
GRUPO 1												
SUBGRUPO 1	Novembro	9.01	1.60	1.22	0.00	0.82	1.00	82.28	82.277	100.00	100.00	
	Dezembro	11.17	1.60	1.98	0.00	0.86	1.00	85.70	85.703	100.00	100.00	
	Janeiro	9.32	1.60	1.48	0.00	0.83	1.00	82.86	82.861	100.00	100.00	
	Fevereiro	8.41	1.60	1.96	6.78	0.81	2.45	81.00	81.002	-245.34	245.34	
	Março	8.78	1.60	1.21	1.06	0.82	0.12	81.80	81.803	12.28	12.28	
	Abril	7.67	1.60	1.13	0.00	0.79	1.00	79.17	79.173	100.00	100.00	
	Maior	4.44	1.60	1.49	0.00	0.64	1.00	64.06	64.056	100.00	100.00	
	Junho	4.72	1.60	0.95	0.00	0.66	1.00	66.17	66.165	100.00	100.00	
	Julho	4.50	1.60	0.90	0.00	0.64	1.00	64.47	64.472	100.00	100.00	
		Média (%) - M								76.390		106.40
	Desvio Padrão (DP)								8.806		115.17	
	M + DP								85.196		221.57	
SUBGRUPO 2	Agosto	4.45	1.60	1.29	0.00	0.64	1.00	64.11	64.112	100.00	100.00	
	Setembro	3.00	1.60	1.10	0.00	0.47	1.00	46.70	46.696	100.00	100.00	
	Outubro	1.96	1.60	1.49	0.39	0.18	0.74	18.44	18.437	74.14	74.14	
		Média (%) - M								43.082		91.38
		Desvio Padrão (DP)								20.705		56.15
	M + DP								63.787		147.53	
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.31	0.35	0.82	4.38	0.13	4.35	-13.49	13.494	-435.42	435.42	
	Vazão mínima de 3 dias	0.35	0.39	0.84	3.94	0.10	3.71	-9.80	9.802	-370.53	370.53	
	Vazão mínima de 30 dias	0.39	0.47	0.95	3.20	0.20	2.36	-20.35	20.351	-235.68	235.68	
	Índice de vazão de base	0.80	1.19	0.71	1.16	0.49	0.64	-49.37	49.368	-64.29	64.29	
		Média (%) - M	0.04	0.13	0.70	1.77	2.32	1.51	-232.35	232.347	-151.24	151.24
		Desvio Padrão (DP)								65.072		251.43
		M + DP								94.793		152.76
		M + DP								159.865		404.19
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	3.05	1.46	0.72	0.37	0.52	0.48	52.11	52.113	48.16	48.16	
	Vazão máxima de 1 dia	53.84	23.09	0.64	2.90	0.57	3.53	57.11	57.114	-352.60	352.60	
	Vazão máxima de 3 dias	48.54	21.50	0.71	2.98	0.56	3.20	55.71	55.707	-319.51	319.51	
	Vazão máxima de 7 dias	46.39	18.92	0.69	2.97	0.59	3.30	59.22	59.215	-329.65	329.65	
	Vazão máxima de 30 dias	32.05	13.49	0.81	2.94	0.58	2.62	57.91	57.910	-262.22	262.22	
	Vazão máxima de 90 dias	18.83	6.09	0.84	2.65	0.68	2.14	67.68	67.679	-213.71	213.71	
		Média (%) - M								58.290		254.31
		Desvio Padrão (DP)								5.203		112.96
	M + DP								63.493		367.26	
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	265.00	275.00	0.30	0.02	0.05	0.93	-3.77	3.774	92.59	92.59	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	35.00	334.00	0.27	0.29	0.37	0.06	-854.29	854.286	-6.06	6.06	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	6.00	1.00	0.50	3.00	0.83	5.00	83.33	83.333	-500.00	500.00	
	Número de pulsos altos	5.00	1.00	0.60	3.00	0.80	4.00	80.00	80.000	-400.00	400.00	
		Média (%) - M								81.667		450.00
		Desvio Padrão (DP)								2.357		70.71
	M + DP								84.678		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	8.50	120.00	1.00	2.90	13.12	1.90	-1311.76	1311.765	-189.60	189.60	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	8.50	9.75	1.18	1.15	0.15	0.02	-14.71	14.706	1.87	1.87	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.85	0.58	0.58	3.68	0.32	5.40	32.19	32.190	-539.62	539.62	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.41	-0.79	-0.62	-1.97	0.92	2.18	-91.63	91.630	-218.28	218.28	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	69.00	16.00	0.23	1.06	0.77	3.58	76.81	76.812	-358.39	358.39	

Fonte: Própria

Tabela 22 Resultados análise não paramétrica do IHA de Bandeira de Melo - 1963-1991-comparação da condição não impactada e impactada

BANDEIRA DE MELO											
PARÂMETROS	MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
	Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	C.D.			
GRUPO 1							Valor Abs	Valor Abs			
SUBGRUPO 1	Novembro	55.42	6.88	1.11	3.39	0.88	2.05	87.59	87.59	-205.23	205.23
	Dezembro	94.35	53.00	1.26	2.31	0.44	0.84	43.83	43.83	-83.93	83.93
	Janeiro	59.64	32.00	1.94	3.67	0.46	0.90	46.34	46.34	-89.56	89.56
	Fevereiro	68.60	30.87	1.99	4.62	0.55	1.32	55.00	55.00	-132.29	132.29
	Março	73.76	45.54	1.47	2.64	0.38	0.80	38.26	38.26	-79.54	79.54
	Abril	61.37	33.18	1.25	2.63	0.46	1.11	45.93	45.93	-111.08	111.08
	Maió	41.48	11.15	1.36	4.38	0.73	2.21	73.12	73.12	-221.44	221.44
	Junho	36.08	6.88	0.74	2.00	0.81	1.69	80.95	80.95	-169.11	169.11
	Julho	35.22	6.88	0.48	0.02	0.80	0.97	80.48	80.48	96.61	96.61
	Média (%) - M								61.28		132.09
	Desvio Padrão (DP)								19.11		93.67
M + DP								80.39		225.76	
SUBGRUPO 2	Agosto	30.89	6.88	1.10	0.27	0.78	0.75	77.74	77.74	75.10	75.10
	Setembro	21.62	6.88	0.70	0.00	0.68	1.00	68.20	68.20	100.00	100.00
	Outubro	17.24	6.88	0.85	0.68	0.60	0.20	60.12	60.12	19.63	19.63
	Média (%) - M								68.69		64.91
	Desvio Padrão (DP)								20.35		53.88
M + DP								89.04		118.79	
GRUPO 2											
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	9.49	2.03	0.44	2.67	0.79	5.07	78.66	78.66	-506.83	506.83
	Vazão mínima de 3 dias	9.63	2.04	0.44	2.65	0.79	5.07	78.84	78.84	-507.07	507.07
	Vazão mínima de 3 dias	10.32	2.07	0.35	2.58	0.80	6.42	79.96	79.96	-641.81	641.81
	Vazão mínima de 30 dias	12.52	3.80	0.55	1.27	0.70	1.32	69.62	69.62	-131.71	131.71
	Índice de vazão de base	0.14	0.06	0.39	0.60	0.56	0.53	55.70	55.70	-53.08	53.08
	Média (%) - M								72.56		368.10
	Desvio Padrão (DP)								10.30		259.13
M + DP								82.86		627.23	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	23.67	5.86	0.64	0.50	0.75	0.22	75.26	75.26	21.95	21.95
	Vazão máxima de 1 dia	444.30	416.30	0.84	0.90	0.06	0.07	6.30	6.30	-6.79	6.79
	Vazão máxima de 3 dias	421.80	393.80	0.85	0.91	0.07	0.07	6.64	6.64	-7.18	7.18
	Vazão máxima de 7 dias	385.00	357.00	0.82	0.89	0.07	0.09	7.27	7.27	-8.54	8.54
	Vazão máxima de 30 dias	279.00	251.00	0.74	0.83	0.10	0.13	10.04	10.04	-12.60	12.60
	Vazão máxima de 90 dias	154.70	126.70	0.84	1.07	0.18	0.29	18.10	18.10	-28.62	28.62
	Média (%) - M								20.60		14.28
Desvio Padrão (DP)								27.14		9.02	
M + DP								47.74		23.30	
GRUPO 3											
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	271.00	275.00	0.09	0.08	0.02	0.06	-1.48	1.48	6.06	6.06
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	23.00	27.00	0.27	0.28	0.02	0.01	-17.39	17.39	-1.02	1.02
GRUPO 4											
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	5.00	4.00	0.60	0.75	0.20	0.25	20.00	20.00	-25.00	25.00
	Número de pulsos altos	5.00	4.00	0.60	0.75	0.20	0.25	20.00	20.00	-25.00	25.00
	Média (%) - M								20.00		25.00
	Desvio Padrão (DP)								0.00		0.00
M + DP								84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	9.00	16.50	1.00	1.30	0.83	0.30	-83.33	83.33	-30.30	30.30
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	9.50	10.00	0.68	1.28	0.05	0.86	-5.26	5.26	-86.35	86.35
GRUPO 5											
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	4.90	6.42	0.51	1.35	0.31	1.64	-31.07	31.07	-164.32	164.32
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-2.52	-4.46	-0.60	-0.42	0.77	0.30	-77.16	77.16	30.39	30.39
SUBGRUPO 3	Número de reversões	59.00	35.00	0.14	0.43	0.41	2.16	40.68	40.68	-216.08	216.08

Fonte: Própria

Tabela 23 Resultados análise não paramétrica do IHA de Baraúnas - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

BARAÚNAS												
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana		C.D.		
GRUPO 1								Valor Abs		Valor Abs		
SUBGRUPO 1	Novembro	2.64	0.45	0.98	0.00	0.83	1.00	82.90	82.90	100.00	100.00	
	Dezembro	3.62	0.45	1.27	1.42	0.88	0.12	87.52	87.52	-12.21	12.21	
	Janeiro	2.82	0.45	0.94	1.68	0.84	0.78	83.97	83.97	-77.85	77.85	
	Fevereiro	3.53	0.45	1.14	7.48	0.87	5.56	87.21	87.21	-555.39	555.39	
	Março	3.02	0.45	1.22	2.04	0.85	0.68	85.05	85.05	-67.63	67.63	
	Abril	2.76	0.63	0.58	1.71	0.77	1.94	77.14	77.14	-193.65	193.65	
	Maió	1.57	0.45	0.57	0.00	0.71	1.00	71.27	71.27	100.00	100.00	
	Junho	1.50	0.45	0.50	0.00	0.70	1.00	69.99	69.99	100.00	100.00	
	Julho	1.50	0.45	0.48	0.00	0.70	1.00	69.95	69.95	100.00	100.00	
		Média (%) - M								79.44		145.19
	Desvio Padrão (DP)								7.43		214.54	
	M + DP								86.87		359.73	
SUBGRUPO 2	Agosto	1.60	0.45	1.01	0.00	0.72	1.00	71.75	71.75	100.00	100.00	
	Setembro	1.22	0.45	0.48	0.00	0.63	1.00	63.09	63.09	100.00	100.00	
	Outubro	1.21	0.45	0.44	0.00	0.63	1.00	62.57	62.57	100.00	100.00	
		Média (%) - M								65.80		100.00
		Desvio Padrão (DP)								20.47		141.22
	M + DP								86.28		241.22	
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	1.02	0.45	0.50	0.72	0.56	0.42	55.92	55.92	-41.97	41.97	
	Vazão mínima de 3 dias	1.06	0.45	0.50	0.72	0.57	0.42	57.21	57.21	-41.92	41.92	
	Vazão mínima de 3 dias	1.08	0.45	0.55	0.71	0.58	0.30	58.09	58.09	-30.43	30.43	
	Vazão mínima de 30 dias	1.13	0.45	0.42	0.56	0.60	0.34	60.09	60.09	-33.98	33.98	
	Índice de vazão de base	0.35	0.32	0.38	0.84	0.09	1.25	8.68	8.68	-124.88	124.88	
		Média (%) - M								48.00		54.64
		Desvio Padrão (DP)								22.03		39.59
	M + DP								70.03		94.22	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	1.37	0.45	0.53	0.22	0.67	0.58	67.00	67.00	58.09	58.09	
	Vazão máxima de 1 dia	17.12	15.32	0.83	1.52	0.11	0.82	10.51	10.51	-82.43	82.43	
	Vazão máxima de 3 dias	16.14	14.33	0.80	1.48	0.11	0.86	11.21	11.21	-85.86	85.86	
	Vazão máxima de 7 dias	14.35	11.97	0.84	1.61	0.17	0.91	16.59	16.59	-91.15	91.15	
	Vazão máxima de 30 dias	10.20	5.57	0.76	1.74	0.45	1.28	45.36	45.36	-128.04	128.04	
	Vazão máxima de 90 dias	6.49	2.55	0.91	2.48	0.61	1.74	60.65	60.65	-173.68	173.68	
		Média (%) - M								35.22		103.21
		Desvio Padrão (DP)								25.67		41.22
	M + DP								60.89		144.43	
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	274.00	275.00	0.06	0.00	0.01	1.00	-0.36	0.36	100.00	100.00	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	28.00	50.00	0.24	0.29	0.12	0.19	-78.57	78.57	-19.08	19.08	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	4.00	3.00	1.50	1.67	0.25	0.11	25.00	25.00	-11.13	11.13	
	Número de pulsos altos	7.00	3.00	0.29	1.33	0.57	3.67	57.14	57.14	-366.57	366.57	
		Média (%) - M								41.07		188.85
		Desvio Padrão (DP)								22.73		251.33
	M + DP								84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	8.25	12.00	1.38	1.13	0.45	0.18	-45.45	45.45	18.42	18.42	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	7.50	8.50	0.80	0.71	0.13	0.12	-13.33	13.33	11.76	11.76	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.29	0.68	1.10	1.86	1.34	0.69	-134.05	134.05	-69.00	69.00	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.06	-0.34	-1.13	-1.02	4.35	0.10	-434.60	434.60	9.58	9.58	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	62.00	22.00	0.29	0.73	0.65	1.51	64.52	64.52	-150.53	150.53	

Fonte: Própria

Tabela 24 Resultados análise não paramétrica do IHA de Casa Branca - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

CASA BRANCA												
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana		C.D.		
GRUPO 1								Valor Abs		Valor Abs		
SUBGRUPO 1	Novembro	0.60	0.16	1.72	0.00	0.74	1.00	73.98	73.98	100.00	100.00	
	Dezembro	1.26	0.16	1.49	0.00	0.88	1.00	87.66	87.66	100.00	100.00	
	Janeiro	0.68	0.16	2.15	0.00	0.77	1.00	77.32	77.32	100.00	100.00	
	Fevereiro	0.61	0.16	2.68	0.00	0.74	1.00	74.38	74.38	100.00	100.00	
	Março	0.60	0.16	2.02	0.00	0.74	1.00	74.06	74.06	100.00	100.00	
	Abril	0.57	0.16	1.35	0.00	0.73	1.00	72.77	72.77	100.00	100.00	
	Maior	0.28	0.16	1.49	0.00	0.44	1.00	43.80	43.80	100.00	100.00	
	Junho	0.21	0.16	1.10	0.00	0.27	1.00	27.18	27.18	100.00	100.00	
	Julho	0.19	0.16	0.68	0.00	0.17	1.00	16.61	16.61	100.00	100.00	
		Média (%) - M							60.86		100.00	
	Desvio Padrão (DP)							25.11		0.00		
	M + DP							85.97		100.00		
SUBGRUPO 2	Agosto	0.20	0.16	2.44	0.00	0.22	1.00	22.45	22.45	100.00	100.00	
	Setembro	0.08	0.16	1.03	0.00	1.01	1.00	-101.43	101.43	100.00	100.00	
	Outubro	0.07	0.16	1.50	0.00	1.15	1.00	-115.42	115.42	100.00	100.00	
		Média (%) - M							79.77		100.00	
		Desvio Padrão (DP)							27.83		26.73	
	M + DP							107.59		126.73		
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.02	0.16	0.39	0.98	7.62	1.52	-761.67	761.67	-151.97	151.97	
	Vazão mínima de 3 dias	0.02	0.16	0.37	0.98	7.62	1.64	-761.67	761.67	-164.17	164.17	
	Vazão mínima de 3 dias	0.02	0.16	0.45	0.97	6.81	1.18	-680.97	680.97	-118.16	118.16	
	Vazão mínima de 30 dias	0.05	0.16	0.84	0.75	2.31	0.11	-231.41	231.41	11.39	11.39	
	Índice de vazão de base	0.03	0.23	0.67	3.13	6.94	3.68	-693.43	693.43	-367.53	367.53	
		Média (%) - M							625.83		162.64	
		Desvio Padrão (DP)							223.65		129.38	
	M + DP							849.48		292.02		
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	0.13	0.16	0.77	0.43	0.23	0.44	-23.39	23.39	43.89	43.89	
	Vazão máxima de 1 dia	6.74	0.16	0.76	31.42	0.98	40.17	97.70	97.70	-4017.42	4017.42	
	Vazão máxima de 3 dias	6.36	0.16	0.82	28.50	0.98	33.85	97.56	97.56	-3384.96	3384.96	
	Vazão máxima de 7 dias	5.96	0.16	0.82	24.49	0.97	28.80	97.40	97.40	-2880.04	2880.04	
	Vazão máxima de 30 dias	3.44	0.16	0.74	8.60	0.96	10.57	95.50	95.50	-1057.16	1057.16	
	Vazão máxima de 90 dias	2.03	0.16	0.76	2.87	0.92	2.78	92.37	92.37	-278.18	278.18	
		Média (%) - M							83.99		1943.61	
		Desvio Padrão (DP)							29.76		1698.44	
	M + DP							113.74		3642.05		
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	261.00	275.00	0.10	0.03	0.08	0.73	-5.36	5.36	72.98	72.98	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	360.00	275.00	0.23	0.39	0.46	0.68	23.61	23.61	-68.26	68.26	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	7.00	0.00	0.43	0.00	1.00	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	Número de pulsos altos	6.00	0.00	0.50	0.00	1.00	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
		Média (%) - M							100.00		100.00	
		Desvio Padrão (DP)							0.00		0.00	
	M + DP							84.68		594.29		
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	7.00	20.00	0.79	2.13	1.86	1.71	-185.71	185.71	-170.46	170.46	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	7.50	11.50	0.60	0.91	0.53	0.52	-53.33	53.33	-52.17	52.17	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.09	0.03	0.42	8.19	0.72	18.50	71.61	71.61	-1850.02	1850.02	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.03	-0.01	-0.61	-14.69	0.58	23.13	57.80	57.80	-2313.34	2313.34	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	88.00	11.00	0.18	1.27	0.88	6.00	87.50	87.50	-600.22	600.22	

Fonte: Própria

Tabela 25 Resultados análise não paramétrica do IHA de França - 1963-1991- comparação da condição não impactada e impactada

FRANÇA												
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana		C.D.		
								Valor Abs		Valor Abs		
GRUPO 1												
SUBGRUPO 1	Novembro	0.06	0.36	11.43	0.00	5.34	1.00	-533.63	533.63	100.00	100.00	
	Dezembro	0.34	0.36	5.41	0.00	0.06	1.00	-5.92	5.92	100.00	100.00	
	Janeiro	0.25	0.36	8.49	0.00	0.46	1.00	-45.53	45.53	100.00	100.00	
	Fevereiro	0.54	0.36	4.59	0.00	0.34	1.00	33.52	33.52	100.00	100.00	
	Março	0.74	0.36	2.67	0.00	0.52	1.00	51.75	51.75	100.00	100.00	
	Abril	0.43	0.36	5.27	0.00	0.16	1.00	15.76	15.76	100.00	100.00	
	Mai	0.61	0.36	1.28	0.00	0.41	1.00	41.12	41.12	100.00	100.00	
	Junho	0.49	0.36	1.72	0.00	0.28	1.00	27.53	27.53	100.00	100.00	
	Julho	0.48	0.36	1.28	0.00	0.26	1.00	25.88	25.88	100.00	100.00	
	Média (%) - M									86.74		100.00
Desvio Padrão (DP)									168.20		0.00	
M + DP									254.94		100.00	
SUBGRUPO 2	Agosto	0.02	0.36	7.24	0.00	16.05	1.00	-1604.76	1604.76	100.00	100.00	
	Setembro	0.10	0.36	3.50	0.00	2.65	1.00	-265.31	265.31	100.00	100.00	
	Outubro	0.04	0.36	7.47	0.00	9.09	1.00	-908.45	908.45	100.00	100.00	
	Média (%) - M									926.17		100.00
	Desvio Padrão (DP)									423.08		26.73
M + DP									1349.25		126.73	
GRUPO 2												
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.00	0.00	0.50	195.30	0.09	389.60	8.70	8.70	-38960.00	38960.00	
	Vazão mínima de 3 dias	0.00	0.00	1.00	99.82	0.78	98.82	-78.40	78.40	-9882.00	9882.00	
	Vazão mínima de 3 dias	0.00	0.16	2.36	2.29	76.80	0.03	-7680.00	7680.00	2.97	2.97	
	Vazão mínima de 30 dias	0.07	0.31	2.37	1.02	3.77	0.57	-377.42	377.42	56.86	56.86	
	Índice de vazão de base	0.00	0.07	1.38	2.74	59.98	0.98	-5998.53	5998.53	-98.41	98.41	
	Média (%) - M									2828.61		9800.05
	Desvio Padrão (DP)									3711.75		16847.43
M + DP									6540.36		26647.48	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	0.51	0.34	1.51	0.52	0.32	0.66	32.22	32.22	65.89	65.89	
	Vazão máxima de 1 dia	61.59	48.14	0.66	1.44	0.22	1.17	21.84	21.84	-117.22	117.22	
	Vazão máxima de 3 dias	37.24	31.05	0.87	1.55	0.17	0.79	16.62	16.62	-79.05	79.05	
	Vazão máxima de 7 dias	23.24	17.08	0.76	1.72	0.26	1.26	26.51	26.51	-125.88	125.88	
	Vazão máxima de 30 dias	11.14	5.60	0.91	2.35	0.50	1.57	49.72	49.72	-157.41	157.41	
	Vazão máxima de 90 dias	6.16	2.22	1.02	2.95	0.64	1.89	64.02	64.02	-188.73	188.73	
	Média (%) - M									35.15		122.36
Desvio Padrão (DP)									18.16		46.34	
M + DP									53.32		168.70	
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	287.00	275.00	0.13	0.07	0.07	0.41	4.18	4.18	41.31	41.31	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	21.00	77.00	0.25	0.39	0.31	0.55	-266.67	266.67	-54.95	54.95	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	22.00	2.00	0.45	3.00	0.91	5.60	90.91	90.91	-560.07	560.07	
	Número de pulsos altos	27.00	5.00	0.33	1.60	0.81	3.80	81.48	81.48	-380.05	380.05	
	Média (%) - M									86.20		470.06
	Desvio Padrão (DP)									6.67		127.29
M + DP									84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	3.00	4.00	0.67	0.75	0.33	0.13	-33.33	33.33	-12.49	12.49	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	2.00	2.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	0.56	1.43	0.69	3.29	1.56	3.76	-155.89	155.89	-375.87	375.87	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.38	-1.26	-1.16	-3.83	2.29	2.29	-228.74	228.74	-229.46	229.46	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	136.00	29.00	0.26	1.17	0.79	3.43	78.68	78.68	-342.77	342.77	

Fonte: Própria

Tabela 26 Resultados análise não paramétrica do IHA de São José do Jacuípe - 1963-1991-comparação da condição não impactada e impactada

SÃO JOSÉ DO JACUIPE											
PARÂMETROS	MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
	Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana	Valor Abs	C.D.	Valor Abs	
GRUPO 1											
SUBGRUPO 1	Novembro	0.83	1.18	1.62	0.00	0.42	1.00	-42.29	42.29	100.00	100.00
	Dezembro	1.11	1.18	3.98	0.00	0.07	1.00	-6.88	6.88	100.00	100.00
	Janeiro	1.11	1.18	4.51	0.00	0.06	1.00	-6.11	6.11	100.00	100.00
	Fevereiro	1.18	1.18	5.46	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	Março	2.71	1.18	1.71	0.00	0.56	1.00	56.37	56.37	100.00	100.00
	Abril	1.80	1.18	3.06	0.00	0.34	1.00	34.39	34.39	100.00	100.00
	Mai	1.84	1.18	1.40	0.00	0.36	1.00	35.95	35.95	100.00	100.00
	Junho	2.15	1.18	1.08	0.00	0.45	1.00	45.04	45.04	100.00	100.00
	Julho	1.44	1.18	1.98	0.00	0.18	1.00	17.76	17.76	100.00	100.00
	Média (%) - M								27.20		100.00
	Desvio Padrão (DP)								20.04		0.00
M + DP								47.24		100.00	
SUBGRUPO 2	Agosto	0.12	1.18	5.36	0.00	9.27	1.00	-926.96	926.96	100.00	100.00
	Setembro	0.71	1.18	1.35	0.00	0.67	1.00	-67.52	67.52	100.00	100.00
	Outubro	0.39	1.18	1.97	0.00	2.07	1.00	-206.75	206.75	100.00	100.00
	Média (%) - M								400.41		100.00
	Desvio Padrão (DP)								240.19		26.73
M + DP								640.60		126.73	
GRUPO 2											
SUBGRUPO 1	Vazão mínima de 1 dia	0.00	1.18	1.33	1.00	392.50	0.25	-39266.67	39266.67	25.02	25.02
	Vazão mínima de 3 dias	0.01	1.18	1.13	1.00	235.10	0.12	-23520.00	23520.00	11.80	11.80
	Vazão mínima de 3 dias	0.01	1.18	2.19	1.00	191.20	0.54	-19125.13	19125.13	54.30	54.30
	Vazão mínima de 30 dias	0.30	1.18	1.51	0.81	2.93	0.46	-292.75	292.75	46.02	46.02
	Índice de vazão de base	0.00	0.06	2.69	17.91	53.24	5.66	-5326.07	5326.07	-566.54	566.54
	Média (%) - M								17506.12		140.74
	Desvio Padrão (DP)								15467.41		238.63
M + DP								32973.53		379.36	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	1.75	1.18	0.81	0.40	0.33	0.50	32.67	32.67	50.27	50.27
	Vazão máxima de 1 dia	80.01	1.18	0.78	0.00	0.99	1.00	98.52	98.52	100.00	100.00
	Vazão máxima de 3 dias	59.35	1.18	0.88	0.00	0.98	1.00	98.01	98.01	100.00	100.00
	Vazão máxima de 7 dias	40.47	1.18	0.76	0.00	0.97	1.00	97.08	97.08	100.00	100.00
	Vazão máxima de 30 dias	18.34	1.18	0.99	0.00	0.94	1.00	93.56	93.56	100.00	100.00
	Vazão máxima de 90 dias	11.15	1.18	0.86	0.00	0.89	1.00	89.41	89.41	100.00	100.00
	Média (%) - M								84.88		91.71
Desvio Padrão (DP)								25.80		20.30	
M + DP								110.68		112.01	
GRUPO 3											
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	296.00	275.00	0.12	0.00	0.11	0.98	7.09	7.09	97.67	97.67
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	360.00	275.00	0.23	0.00	0.46	1.00	23.61	23.61	100.00	100.00
GRUPO 4											
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	25.00	0.00	0.24	0.00	1.00	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Número de pulsos altos	24.00	0.00	0.42	0.00	1.00	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Média (%) - M								100.00		100.00
	Desvio Padrão (DP)								0.00		0.00
M + DP								84.68		594.29	
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	2.50	3.00	0.40	0.92	0.20	1.29	-20.00	20.00	-129.18	129.18
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	3.00	3.50	0.33	0.93	0.17	1.79	-16.67	16.67	-178.61	178.61
GRUPO 5											
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	1.13	0.16	0.63	2.48	0.86	2.92	86.06	86.06	-291.80	291.80
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-0.69	-0.08	-0.89	-2.17	0.89	1.44	89.00	89.00	-143.77	143.77
SUBGRUPO 3	Número de reversões	152.00	7.00	0.16	3.43	0.95	20.71	95.39	95.39	-2071.63	2071.63

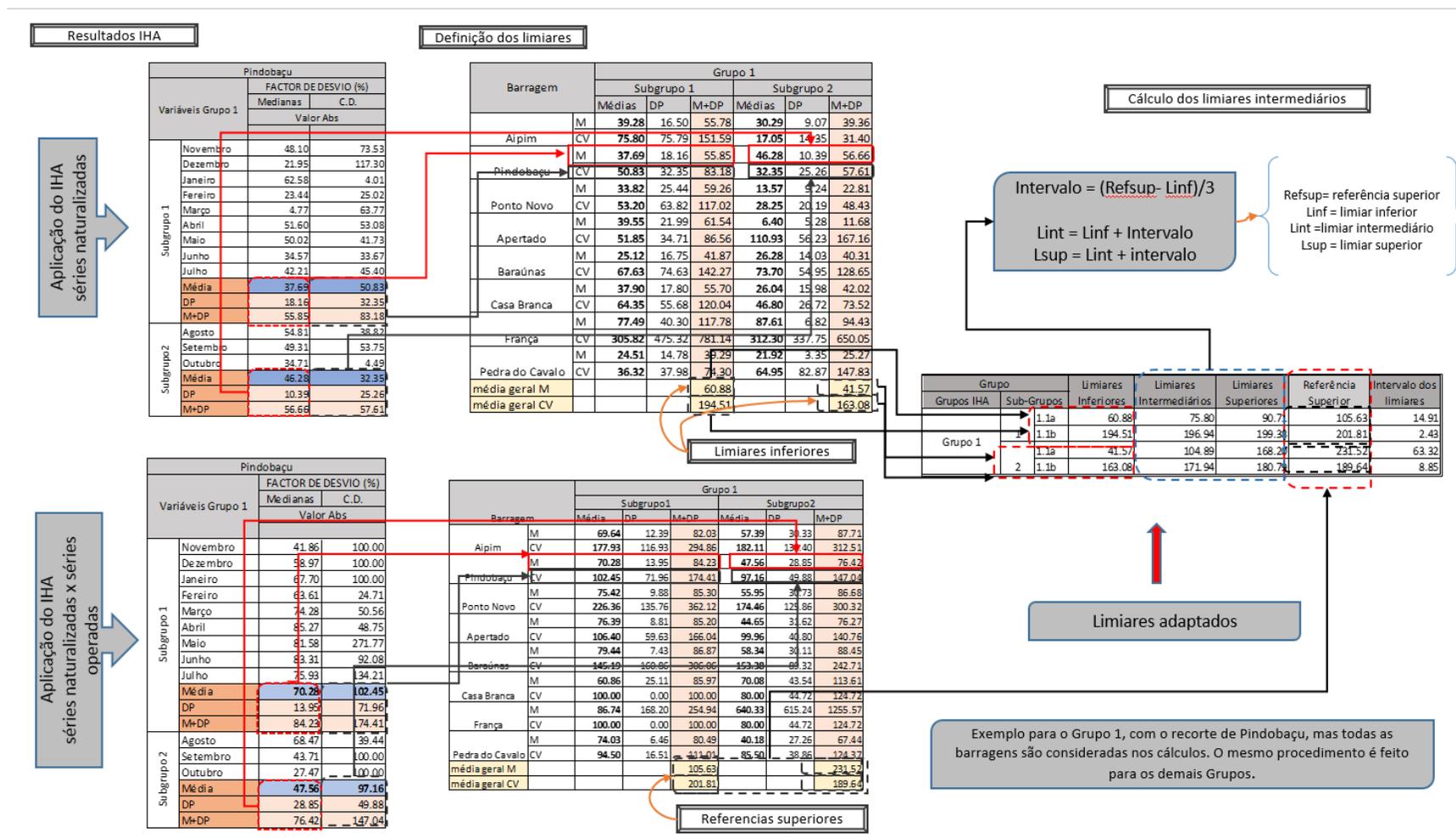
Fonte: Própria

Tabela 27 Resultados análise não paramétrica do IHA de Pedra do Cavalo - 1963-1991-comparação da condição não impactada e impactada

PEDRA DO CAVALO												
PARÂMETROS		MEDIANAS		COEFICIENTE DE DISPERSÃO (C.D.)		FATOR DE DESVIO		FATOR DE DESVIO (%)				
		Não impactado	Impactado	Não impactado	Impactado	Medianas	C.D.	Mediana		C.D.		
GRUPO 1								Valor Abs		Valor Abs		
SUBGRUPO 1	Novembro	62.00	17.59	1.08	0.00	0.72	1.00	71.63	71.63	100.00	100.00	
	Dezembro	99.75	17.59	1.37	0.00	0.82	1.00	82.37	82.37	100.00	100.00	
	Janeiro	75.88	17.59	2.10	0.00	0.77	1.00	76.82	76.82	100.00	100.00	
	Fevereiro	79.40	17.59	2.13	0.00	0.78	1.00	77.85	77.85	100.00	100.00	
	Março	85.54	17.59	1.33	0.66	0.79	0.50	79.44	79.44	50.46	50.46	
	Abril	82.74	17.59	1.55	0.00	0.79	1.00	78.74	78.74	100.00	100.00	
	Maió	52.71	17.59	1.26	0.00	0.67	1.00	66.63	66.63	100.00	100.00	
	Junho	56.82	17.59	0.65	0.00	0.69	1.00	69.04	69.04	100.00	100.00	
	Julho	48.56	17.59	0.96	0.00	0.64	1.00	63.78	63.78	100.00	100.00	
		Média (%) - M								74.03		94.50
	Desvio Padrão (DP)								6.46		16.51	
	M + DP								80.49		111.01	
SUBGRUPO 2	Agosto	33.84	17.59	1.14	0.00	0.48	1.00	48.02	48.02	100.00	100.00	
	Setembro	28.22	17.59	1.09	0.00	0.38	1.00	37.67	37.67	100.00	100.00	
	Outubro	24.52	17.59	0.78	0.00	0.28	1.00	28.26	28.26	100.00	100.00	
		Média (%) - M								37.98		100.00
	Desvio Padrão (DP)								21.22		25.44	
	M + DP								59.20		125.44	
SUBGRUPO 1	GRUPO 2											
	Vazão mínima de 1 dia	10.52	17.59	0.49	0.92	0.67	0.90	-67.21	67.21	-89.63	89.63	
	Vazão mínima de 3 dias	10.62	17.59	0.49	0.91	0.66	0.85	-65.63	65.63	-85.03	85.03	
	Vazão mínima de 3 dias	11.32	17.59	0.54	0.87	0.55	0.61	-55.39	55.39	-60.56	60.56	
	Vazão mínima de 30 dias	15.86	17.59	0.56	0.62	0.11	0.10	-10.91	10.91	-10.25	10.25	
	Índice de vazão de base	0.12	0.22	0.51	2.15	0.80	3.18	-79.97	79.97	-317.59	317.59	
		Média (%) - M								55.82		112.61
		Desvio Padrão (DP)								26.58		118.84
	M + DP								82.40		231.45	
SUBGRUPO 2	Vazão mínima de 90 dias	36.57	17.59	0.60	0.38	0.52	0.36	51.90	51.90	36.02	36.02	
	Vazão máxima de 1 dia	493.90	82.55	1.21	10.13	0.83	7.36	83.29	83.29	-735.81	735.81	
	Vazão máxima de 3 dias	465.80	59.17	1.16	13.20	0.87	10.39	87.30	87.30	-1038.91	1038.91	
	Vazão máxima de 7 dias	427.90	38.42	1.08	15.01	0.91	12.86	91.02	91.02	-1285.96	1285.96	
	Vazão máxima de 30 dias	307.30	22.45	1.06	17.03	0.93	15.05	92.69	92.69	-1505.09	1505.09	
	Vazão máxima de 90 dias	188.90	19.21	0.95	10.16	0.90	9.74	89.83	89.83	-974.22	974.22	
		Média (%) - M								82.67		929.34
		Desvio Padrão (DP)								15.43		511.50
	M + DP								98.10		1440.84	
GRUPO 3												
SUBGRUPO 1	Data da vazão mínima	269.00	275.00	0.09	0.04	0.03	0.56	-2.23	2.23	56.25	56.25	
SUBGRUPO 2	Data da vazão máxima	45.00	275.00	0.31	0.45	0.74	0.46	-511.11	511.11	-45.62	45.62	
GRUPO 4												
SUBGRUPO 1	Número de pulsos baixos	8.00	1.00	0.75	2.00	0.88	1.67	87.50	87.50	-166.67	166.67	
	Número de pulsos altos	7.00	0.00	0.57	0.00	1.00	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
		Média (%) - M								93.75	133.33	
		Desvio Padrão (DP)								8.84	47.14	
	M + DP								84.68	594.29		
SUBGRUPO 2	Duração dos pulsos baixos	5.00	307.50	1.60	2.78	60.50	0.74	-6050.00	6050.00	-73.63	73.63	
SUBGRUPO 3	Duração de pulsos altos	5.50	19.00	1.09	1.55	2.46	0.42	-245.45	245.45	-42.35	42.35	
GRUPO 5												
SUBGRUPO 1	Taxa de ascensão	6.77	6.69	0.60	4.15	0.01	5.86	1.18	1.18	-586.02	586.02	
SUBGRUPO 2	Taxa de recessão	-4.58	-11.27	-0.56	-1.52	1.46	1.71	-146.02	146.02	-171.29	171.29	
SUBGRUPO 3	Número de reversões	117.00	15.00	0.20	1.87	0.87	8.50	87.18	87.18	-849.64	849.64	

Fonte: Própria

9.4. APÊNDICE D – ESQUEMA DA DEFINIÇÃO DE NOVOS LIMIARES



Fonte: Própria

9.5. APÊNDICE E – CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE IMPACTO DAS BARRAGENS – PONTUAÇÃO POR GRUPOS DO IHA

Quadro 18 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM original

Barragens		Grupo 1	Pontos	Grupo 2	Pontos	Grupo 3	Pontos	Grupo 4	Pontos	Grupo 5	Pontos	Pontuação final	Total por barragem	Classificação parcial	Variação Subdiária	Vazão Nula	Classe adicional	Classificação Impacto
		Média Fator de Desvio (%)	de Impacto	Média Fator de Desvio (%)	de Impacto	Média Fator de Desvio (%)	de Impacto	Média Fator de Desvio (%)	de Impacto	Média Fator de Desvio (%)	de Impacto							
Aipim	Mean	34.97	1	27.36	0	3.07	0	134.19	3	32.91	0	4	6	Moderado risco	N	N	0	Moderado risco
	C.V.	36.47	1	23.63	0	14.27	0	29.05	0	70.23	1	2						
Pedras Altas	Mean	71.65	3	71.51	1	54.30	3	478.58	3	43.61	0	10	18	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	42.64	1	47.60	0	59.75	2	88.60	2	224.51	3	8						
Pindobaçu	Mean	45.22	2	35.37	0	30.28	2	312.83	3	51.47	1	8	12	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	45.22	1	40.94	0	18.56	0	59.09	1	103.16	2	4						
Ponto Novo	Mean	39.61	1	30.41	0	40.19	3	128.66	3	50.74	1	8	12	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	43.37	1	20.76	0	32.98	0	72.67	1	83.00	2	4						
Apertado	Mean	59.85	2	75.93	1	31.15	2	404.83	3	56.87	1	9	15	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	69.46	1	72.25	0	32.72	0	101.00	2	218.67	3	6						
Igrejinha de Me	Mean	45.07	2	39.96	0	1.81	0	71.41	2	45.99	0	4	6	Moderado risco	N	N	0	Moderado risco
	C.V.	59.03	1	59.43	0	5.69	0	15.33	0	60.11	1	2						
Baraúnas	Mean	59.79	2	43.84	1	13.34	1	143.36	3	79.06	1	8	15	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	57.23	1	61.51	0	88.98	3	34.70	1	89.33	2	7						
Casa Branca	Mean	55.78	2	224.23	3	38.67	3	87.96	2	62.71	1	11	18	Alto risco	N	N	0	Alto risco
	C.V.	66.86	1	121.92	1	19.53	0	120.16	2	354.20	3	7						
França	Mean	46.90	2	2666.50	3	33.63	2	49.06	1	121.15	3	11	19	Alto risco	N	S	1	Severamente Impactado
	C.V.	48.20	1	35.53	0	78.68	3	105.54	2	105.19	2	8						
SJJ	Mean	58.30	2	4689.09	3	38.52	3	95.20	3	217.96	3	14	21	Severamente Impactado	N	S	1	Severamente Impactado
	C.V.	56.79	1	47.52	0	26.83	0	220.66	3	486.26	3	7						
Pedra do Caval	Mean	58.23	2	47.72	2	51.80	3	1111.32	3	117.14	2	12	20	Alto risco	S	S	1	Severamente Impactado
	C.V.	64.57	1	73.77	0	51.59	2	87.29	2	240.88	3	8						

Fonte: Própria

Quadro 19 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM adaptada

Fator de desvio (%)	Variáveis Grupo 1				PG1	Variáveis Grupo 2				PG2	Variáveis Grupo 4				PG4	Variáveis Grupo 5				PG5	Pontuaçã o parcial	Final	Variação Subdiária	Classe adicional	Classificação									
	Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI		Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI		Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI		Subgrupo 3	PI	Subgrupo 1	PI							Subgrupo 2	PI	Subgrupo 3	PI					
Aipim	Medianas	69.64	1	57.39	1	2		33.71	1	28.97	1	2		30.00	0	6.25	0	11.11	0	0		29.94	1	114.06	2	49.21	2	4		8				Moderado
	C.D.	177.93	0	182.11	3	3	5	36.59	0	54.46	0	0	2	20.95	0	432.27	3	22.73	0	3	3	98.42	1	23.06	0	204.12	2	2	6	8	16	N	0	
Pedras Altas	Medianas	72.42	1	44.091	1	2		123.22	1	52.69	2	3		77.58	1	30.77	1	0.00	0	2		42.83	2	113.25	2	78.80	3	7		14				Alto
	C.D.	86.28	0	88.167	0	0	2	83.43	1	69.47	0	1	4	163.12	2	730.57	3	100.00	3	8	10	208.44	2	228.11	2	742.58	3	7	14	16	30	N	0	
Pindobaçu	Medianas	70.28	1	47.56	1	2		47.64	1	43.95	2	3		67.22	1	326.09	1	0.00	0	1		51.05	2	196.39	3	68.91	3	6		12				Alto
	C.D.	102.45	0	97.16	0	0	2	224.49	1	82.36	0	1	4	143.48	1	574.10	3	211.11	3	6	7	179.15	1	80.30	1	160.50	2	3	9	10	22	N	0	
Ponto Novo	Medianas	75.42	1	55.95	1	2		27.30	0	30.33	1	1		40.00	0	77.78	1	17.65	0	1		63.54	3	211.09	3	50.24	2	5		9				Alto
	C.D.	226.36	3	174.46	3	6	8	133.64	1	48.12	0	1	2	40.22	0	239.96	3	48.75	3	6	7	97.52	1	10.64	0	210.40	2	2	7	15	24	N	0	
Apertado	Medianas	76.39	2	43.08	1	3		65.07	1	58.29	3	4		81.67	1	1311.76	3	14.71	0	3		32.19	1	91.63	2	76.81	3	5		15				Alto
	C.D.	106.40	0	91.38	0	0	3	251.43	1	254.31	1	2	6	450.00	3	189.60	2	1.87	0	2	5	539.62	3	218.28	2	358.39	3	5	10	9	24	N	0	
Bandeira de Melo	Medianas	61.28	1	68.69	1	2		72.56	1	20.60	0	1		20.00	0	83.33	1	5.26	0	1		31.07	1	77.16	1	40.68	2	4		8				Moderado
	C.D.	132.09	0	64.91	0	0	2	368.10	1	14.28	0	1	2	25.00	0	30.30	0	86.35	3	3	4	164.32	1	30.39	0	216.08	2	3	7	7	15	N	0	
Baraúnas	Medianas	79.44	2	65.80	1	3		48.00	1	35.22	1	2		41.07	0	45.45	1	13.33	0	1		134.05	3	434.60	3	64.52	3	6		12				Moderado
	C.D.	145.19	0	100.00	0	0	3	54.64	0	103.21	1	1	3	188.85	2	18.42	0	11.76	0	0	1	69.00	1	9.58	0	150.53	2	2	8	3	15	N	0	
Casa Branca	Medianas	60.86	1	79.77	1	2		625.83	3	83.99	3	6		100.00	1	185.71	1	53.33	3	4		71.61	3	57.80	1	87.50	3	4		16				Alto
	C.D.	100.00	0	100.00	0	0	2	162.64	1	1943.61	3	4	10	100.00	1	170.46	2	52.17	3	5	9	1850.02	3	2313.34	3	600.22	3	6	10	15	31	N	0	
França	Medianas	86.74	2	926.17	3	5		2828.61	3	35.15	1	4		86.20	1	33.33	1	0.00	0	1		155.89	3	228.74	3	78.68	3	6		16				Alto
	C.D.	100.00	0	100.00	0	0	5	9800.05	3	122.36	1	4	8	470.06	3	12.49	0	0.00	0	0	1	375.87	3	229.46	3	342.77	3	6	12	10	26	N	0	
São José do Jacuípe	Medianas	27.20	0	400.41	3	3		17506.12	3	84.88	3	6		100.00	1	20.00	0	16.67	0	1		86.06	3	89.00	2	95.39	3	8		18				Alto
	C.D.	100.00	0	100.00	0	0	3	140.74	1	91.71	1	2	8	100.00	1	129.18	1	178.61	3	5	6	291.80	2	143.77	1	2071.63	3	6	14	13	31	N	0	
Pedra do Cavalo	Medianas	74.03	1	37.98	0	1		55.82	1	82.67	3	4		93.75	1	6050.00	3	245.45	3	6		1.18	0	146.02	3	87.18	3	6		17				Severo
	C.D.	94.50	0	100.00	0	0	1	112.61	1	929.34	3	4	8	133.33	1	73.63	0	42.35	2	2	8	586.02	3	171.29	2	849.64	3	5	11	11	28	S	1	

*PI – Ponto de Impacto

**PG – Pontos de Impacto do Grupo

Fonte: Própria

Quadro 20 Resultados da atribuição de pontos e classificação do grau de impacto das seções fluviais utilizando metodologia de classificação DHRAM adaptada utilizando vazões observadas

Fator de desvio (%)	Variáveis Grupo 1				PG1	Variáveis Grupo 2				PG2	Variáveis Grupo 4						PG4	Variáveis Grupo 5						PG5	Pontuação parcial	Final	Variação Subdiária	Classe adicional	Classificação		
	Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI		Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI		Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI	Subgrupo 3	PI		Subgrupo 1	PI	Subgrupo 2	PI	Subgrupo 3	PI								
Pedras Altas	Medianas	220.18	3	256.37	3	6	2057.66	3	66.75	3	6	84.38	1	408.33	2	100.00	3	6	180.75	3	23.03	0	82.02	3	6	12	24	34	N	0	Alto
	C.D.	63.43	0	16.70	0	0	64.57	0	57.33	0	0	100.00	1	70.09	0	1300.00	3	4	55.19	1	222.79	2	1669.76	3	6	10	10				
Bandeira de Melo	Medianas	14.61	0	15.43	0	0	93.95	1	19.28	0	1	21.11	0	30.00	1	37.50	3	4	47.04	2	14.97	0	8.09	0	2	2	7	13	N	0	Moderado
	C.D.	40.54	0	109.25	0	0	55.63	0	22.53	0	0	139.08	1	146.16	2	107.20	3	6	4.00	0	29.66	0	26.56	0	0	6	6				
Pedra do Cavalo	Medianas	57.51	0	47.60	1	1	11.92	0	55.79	3	3	56.95	1	27.27	0	40.00	3	4	85.62	3	68.23	1	116.05	3	7	9	15	23	S	1	Severo
	C.D.	119.19	0	477.84	3	3	33.96	0	191.45	1	1	35.79	0	22.49	0	44.15	2	2	24.66	0	59.55	1	136.81	1	2	8	8				

*PI – Ponto de Impacto

**PG – Pontos de Impacto do Grupo

Fonte: Própria

9.6. APÊNDICE F – SUBCLASSIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS PROVOCADAS PELAS BARRAGENS AVALIADAS

Quadro 21 Subclassificação das barragens da bacia do rio Itapicuru

Barragens	Subclassificação						Classificação
	Grupos		Classificação Quantitativa			Classificação qualitativa	
			Pontuação				
			Medianas	C.D.	Soma		
Aipim	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Moderado
		Sub 2	1	3	4	Alto	
	Grupo 2	Sub 1	1	0	1	Baixo	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 4	Sub 1	0	0	0	Nenhum	
		Sub 2	0	3	3	Moderado	
		Sub 3	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 5	Sub 1	1	1	2	Moderado	
		Sub 2	2	0	2	Moderado	
Sub 3		2	2	4	Alto		
Pedras Altas	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Alto
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	1	1	2	Moderado	
		Sub 2	2	0	2	Moderado	
	Grupo 4	Sub 1	1	2	3	Moderado	
		Sub 2	1	3	4	Alto	
		Sub 3	0	3	3	Moderado	
	Grupo 5	Sub 1	2	2	4	Alto	
		Sub 2	2	2	4	Alto	
Sub 3		3	3	6	Severo		
Pindobaçu	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Alto
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	1	1	2	Moderado	
		Sub 2	2	0	2	Moderado	
	Grupo 4	Sub 1	1	1	2	Moderado	
		Sub 2	1	3	4	Alto	
		Sub 3	0	3	3	Moderado	
	Grupo 5	Sub 1	2	1	3	Moderado	
		Sub 2	3	1	4	Alto	
Sub 3		3	2	5	Alto		
Ponto Novo	Grupo 1	Sub 1	1	3	4	Alto	Alto
		Sub 2	1	3	4	Alto	
	Grupo 2	Sub 1	0	1	1	Baixo	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 4	Sub 1	0	0	0	Nenhum	
		Sub 2	1	3	4	Alto	
		Sub 3	0	3	3	Moderado	
	Grupo 5	Sub 1	3	1	4	Alto	
		Sub 2	3	0	3	Moderado	
Sub 3		2	2	4	Alto		

Fonte: Própria

Quadro 22 Subclassificação das barragens da bacia do rio Paraguauçu

Barragens	Grupos		Subclassificação			Classificação qualitativa	Classificação
			Classificação Quantitativa				
			Pontuação				
Medianas	C.D.	Soma					
Apertado	Grupo 1	Sub 1	2	0	2	Baixo	Alto
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	3	1	4	Alto	
	Grupo 4	Sub 1	1	3	4	Alto	
		Sub 2	3	2	5	Alto	
		Sub 3	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 5	Sub 1	1	3	4	Alto	
		Sub 2	2	2	4	Alto	
		Sub 3	3	3	6	Severo	
Bandeira de Melo	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Moderado
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 4	Sub 1	0	0	0	Nenhum	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
		Sub 3	0	3	3	Moderado	
	Grupo 5	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
		Sub 3	2	2	4	Alto	
Baraúnas	Grupo 1	Sub 1	2	0	2	Baixo	Moderado
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	1	0	1	Baixo	
		Sub 2	1	1	2	Baixo	
	Grupo 4	Sub 1	0	2	2	Baixo	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
		Sub 3	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 5	Sub 1	3	1	4	Alto	
		Sub 2	3	0	3	Moderado	
		Sub 3	3	2	5	Alto	
Casa Branca	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Alto
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
	Grupo 2	Sub 1	3	1	4	Alto	
		Sub 2	3	3	6	Severo	
	Grupo 4	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	1	2	3	Moderado	
		Sub 3	3	3	6	Severo	
	Grupo 5	Sub 1	3	3	6	Severo	
		Sub 2	1	3	4	Alto	
		Sub 3	3	3	6	Severo	

Continua

Conclusão

Barragens	Subclassificação						Classificação
	Grupos		Classificação Quantitativa			Classificação qualitativa	
			Pontuação				
			Medianas	C.D.	Soma		
França	Grupo 1	Sub 1	2	0	2	Baixo	Alto
		Sub 2	3	0	3	Moderado	
	Grupo 2	Sub 1	3	3	6	Severo	
		Sub 2	1	1	2	Baixo	
	Grupo 4	Sub 1	1	3	4	Alto	
		Sub 2	1	0	1	Baixo	
		Sub 3	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 5	Sub 1	3	3	6	Severo	
		Sub 2	3	3	6	Severo	
		Sub 3	3	3	6	Severo	
São José do Jacuípe	Grupo 1	Sub 1	0	0	0	Nenhum	Alto
		Sub 2	3	0	3	Moderado	
	Grupo 2	Sub 1	3	1	4	Alto	
		Sub 2	3	1	4	Alto	
	Grupo 4	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	0	1	1	Baixo	
		Sub 3	0	3	3	Moderado	
	Grupo 5	Sub 1	3	2	5	Alto	
		Sub 2	2	1	3	Moderado	
		Sub 3	3	3	6	Severo	
Pedra do Cavalo	Grupo 1	Sub 1	1	0	1	Baixo	Severo
		Sub 2	0	0	0	Nenhum	
	Grupo 2	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	3	3	6	Severo	
	Grupo 4	Sub 1	1	1	2	Baixo	
		Sub 2	3	0	3	Moderado	
		Sub 3	3	2	5	Alto	
	Grupo 5	Sub 1	0	3	3	Moderado	
		Sub 2	3	2	5	Alto	
		Sub 3	3	3	6	Severo	

Fonte: Própria

10 ANEXOS

10.1. ANEXO A - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Quadro 23 Estações pluviométricas registradas na bacia do rio Paraguaçu

	ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS REGISTRADAS NO RIO PARAGUAÇU			
	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NOME	MUNICÍPIO	PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS
1	1139022	Gavião	Gavião	1983-2012
2	1140010	França	Piritiba	1965-2012
3	1140031	Barra do Mundo Novo	Mundo Novo	1984-2012
4	1239007	Argoim	Rafael Jambeiro	1959-2012
5	1240012	Itaeté	Itaeté	1933-2012
6	1240016	laçu	laçu	1944-2012
7	1241001	Fazenda Iguaçu	Itaeté	1969-2012
8	1241008	Andaraí	Andaraí	1943-2012
9	1241017	Porto	Lençóis	1941-2012
10	1241026	Utinga	Utinga	1976-2012
11	1241027	Fazenda Ribeiro	Bonito	1976-2012
12	1241028	Estação Experimental	Utinga	1991-2012
13	1241032	Guiné	Mucugê	1984-2012
14	1241033	Usina Mucugê	Mucugê	1985-2012
15	1338009	Coroa	Vera Cruz	1986-2012
16	1339000	Santa Luzia	Wenceslau Guimarães	1953-2012
17	1339012	Ituberá	Ituberá	1964-2012
18	1339020	Aratuípe	Aratuípe	1982-2012
19	1339027	Wenceslau Guimarães	Wenceslau Guimarães	1966-2012
20	1339030	Mutuípe	Mutuípe	1964-2012
21	1339034	Nazaré	Nazaré	1943-2012
22	1339038	Valença	Valença	1944-2012
23	1339041	Santa Inês	Santa Inês	1943-2012
24	1339044	Nilo Peçanha	Nilo Peçanha	1945-2006
25	1539002	São José	São José da Vitória	1969-2012

Fonte: ANA (2014)

Quadro 24 Estações pluviométricas registradas na bacia do rio Itapicuru

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS REGISTRADAS NO RIO ITAPICURU					
	CÓDIGO	NOME	MUNICÍPIO	RESPONSÁVEL	PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS
1	939014	Uauá	Uauá	DNOCS	1911-2000
2	939018	Serra da Cana Brava	Uauá	DNOCS	1962-2000
3	1038004	Cícero Dantas	Cícero Dantas	DNOCS	1911-1991
4	1038006	Heliópolis (Novo Amparo)	Heliopolis	SUDENE	1963-1996
5	1038010	Mirandela	Ribeira do Pombal	DNOCS	1942-1988
6	1038013	Rio dos Anjos	Itapicuru	SUDENE	1963-1991
7	1038015	Tucano	Tucano	DNOCS	1934-1994
8	1038016	Ribeira do Pombal (Pombal)	Ribeira do Pombal	DNOCS	1942-2000
9	1038019	Boa Hora	Ribeira do Pombal	DNOCS	1959-1991
10	1039000	Fazenda Boa Vista	Uauá	SUDENE	1962-1999
11	1039001	Ambrósio	Quijingue	SUDENE	1963-1994
12	1039002	Andorinha II	Senhor do Bonfim	DNOCS	1959-1991
13	1039003	Cansanção	Cansanção	DNOCS	1943-1998
14	1039006	Itiúba	Itiúba	DNOCS	1942-1989
15	1039008	Nordestina	Nordestina	DNOCS	1959-1993
16	1039011	Açude Monteiro	Queimadas	DNOCS	1937-1990
17	1039012	Monte Santo	Monte Santo	DNOCS	1911-1987
18	1039013	Pedra Vermelha	Monte Santo	SUDENE	1969-2000
19	1039015	Queimadas	Queimadas	DNOCS	1911-1995
20	1039017	Santa Rosa	Jaguarari	DNOCS	1942-1990
21	1039018	São Paulo	Uauá	SUDENE	1962-1991
22	1039019	Queimadas	Queimadas	ANA	1937-2000
23	1039020	Queimadas (Colônia Avícola)	Queimadas	SABA	1948-1970
24	1040003	Campo Formoso	Campo Formoso	SUDENE	1958-2001
25	1040004	Jaguarari	Jaguarari	DNOCS	1934-1991
26	1040006	Mirangaba (Riachuelo)	Mirangaba	DNOCS	1959-2000
27	1040009	Oco D'Água	Campo Formoso	SUDENE	1962-1998
28	1040010	Pindobaçu	Pindobaçu	DNOCS	1933-1988
29	1040012	Ponto Novo	Caldeirão Grande	SUDENE	1964-1989
30	1040013	Açude Quince	Senhor do Bonfim	DNOCS	1959-1991
31	1040014	Açude Sohem	Senhor do Bonfim	DNOCS	1952-1991

Continua

Conclusão

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS REGISTRADAS NO RIO ITAPICURU					
	CÓDIGO	NOME	MUNICÍPIO	RESPONSÁVEL	PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS
32	1040019	Saude	Saúde	DNOCS	1934-2000
33	1040020	Senhor do Bomfim	Senhor do Bonfim	SUDENE	1911-1987
34	1137027	Itanhy	Jandaira	ANA	1965-2006
35	1137028	Esplanada	Esplanada	DNOCS	1913-1991
36	1137029	Conde	Conde	DNOCS	1943-1986
37	1137033	Rio Real	Rio Real	DNOCS	1913-1995
38	1137039	Altamira (IAA)	Conde	IAA	1952-1995
39	1137041	Itapicuru	Itapicuru	ANA	1939-1990
40	1138001	Nova Soure	Nova Soure	DNOCS	1937-1990
41	1138002	Inhambupe	Inhambupe	ANA	1948-2006
42	1138003	Inhambupe	Inhambupe	DNOCS	1939-1988
43	1138006	Itapicuru	Itapicuru	DNOCS	1942-1991
44	1138010	Biritinga	Biritinga	DNOCS	1959-1991
45	1138014	Cipó	Cipo	ANA	1944-2006
46	1138015	Araci	Araci	DNOCS	1911-1991
47	1138016	Satiro Dias	Satiro Dias	DNOCS	1959-1994
48	1138017	Ribeira do Amparo	Ribeira do Amparo	SUDENE	1959-1999
49	1138027	Crisópolis	Crisópolis	INEMA	1963-1989
50	1139000	Salgadalia	Conceição do Coite	DNOCS	1935-1991
51	1139003	SantaLuz(Santa Luzia)	SantaLuz	DNOCS	1958-1990
52	1139009	Açude Pço Grande	Araci	DNOCS	1958-1991
53	1140000	Miguel Calmon(Djalma Dutra)	Miguel Calmon	ANA	1966-2006
54	1140006	Miguel Calmon(Djalma Dutra)	Miguel Calmon	DNOCS	1925-1991
55	1140011	Gonçalo	Jacobina	SUDENE	1962-2000
56	1140014	Jacobina	Jacobina	DNOCS	1911-1987
57	1140016	Jacobina	Jacobina	ANA	1942-1999
58	1140020	Caém	Caém	DNOCS	1959-2000
59	1140022	Açude Rio do Peixe	Jacobina	DNOCS	1928-1989
60	1140023	Açude Serrote	Serrolândia	DNOCS	1951-1994
61	1140034	Miguel Calmon	Miguel Calmon	SUDENE	1962-1991
62	1237000	Corte Grande	Esplanada	ANA	1965-200
63	1237002	Palame	Esplanada	SUDENE	1963-1991

Fonte: ANA (2014)

10.2. ANEXO B - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Quadro 25 Estações Fluviométricas registradas da bacia do rio Paraguaçu

	ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS REGISTRADAS NO RIO PARAGUAÇU						
	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NOME	MUNICÍPIO	RIO	ALTITUDE (m)	ÁREA DE DRENAGEM (Km ²)	PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS
1	51108000	Usina Mucugê	Mucugê	Paraguaçu	870	1780	jan/1999-dez/1999
2	51120000	Andaraí	Andaraí	Paraguaçu	328	2350	abr/1940-jul/2014
3	51135000	Cochó dos Malheiros	Seabra	Cochó	700	2940	mai/1969-jul/2014
4	51140000	Porto	Lençóis	Santo Antônio	388	6180	jan/1966-jul/2014
5	51190000	Fértem	Andaraí	Santo Antônio	320	9670	set/1947-jul/2014
6	51230000	Fazenda Iaçú	Itaeté	Rio Una	300	2130	jan/1940-jul/2014
7	51240000	Itaeté	Itaeté	Paraguaçu	286	12500	jan/1935-jul/2014
8	51280000	Iaçú	Iaçú	Paraguaçu	222	22800	jan/1930-jul/2014
9	51310000	Macajuba	Macajuba	Capivari	380	2950	mai/1969-jan/1977
10	51330000	Fazenda Santa Fé	Rafael Jambeiro	Paraguaçu	173	32000	mar/1966-jul/2014
11	51345000	Fazenda Jurema	Rafael Jambeiro	Rio do Peixe	170	4700	jun/1984-jul/2014
12	51350000	Argoim	Rafael Jambeiro	Paraguaçu	140	37900	jan/1950-jul/2014
13	51410000	França	Piritiba	Jacuípe	504	2070	mar/1965-dez/2003
14	51430000	Gavião II	Gavião	Jacuípe	288	5040	jan/1973-jul/2014
15	51440000	Riachão do Jacuípe	Riachão do Jacuípe	Jacuípe	206	7130	mai/1965-jun/2014
16	51460000	Ponte Rio Branco	Feira de Santana	Jacuípe	119	11600	nov/1929-jul/2014
17	51490000	Pedra do Cavalo	Governador Mangabeira	Paraguaçu	50	54000	jan/1964-dez/1978
18	51490080	UHE Pedra do Cavalo	Feira de Santana	Paraguaçu	35	53620	dez/2005-jul/2013

Fonte: ANA (2014)

Quadro 26 Estações Fluviométricas registradas da bacia do rio Itapicuru

	ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS REGISTRADAS NO RIO ITAPICURU						
	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NOME	MUNICÍPIO	RIO	ALTITUDE (m)	ÁREA DE DRENAGEM (Km ²)	PERÍODO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS
1	50330000	Pindobaçu	Pindobaçu	Itapicuru-Açu	413	657	jan/1989-dez/2002
2	50360000	Campo Formoso	Campo Formoso	Aimpim	545	388	nov/1945-nov/1971
3	50380000	Ponto Novo	Caldeirão Grande	Itapicuru-Açu	380	2850	nov/1955-jan/1971
4	50340000	Saúde	Saúde	Paiaia	475	85	fev/1968-dez/2013
5	50420000	Jacobina	Jacobina	Itapicuru-Mirim	434	1290	jul/1968-mai/2014
6	50430000	Pedras Altas	Capim Grosso	Itapicuru-Mirim	370	2200	jun/1968-mai/2014
7	50465000	Queimadas	Queimadas	Itapicuru	265	11800	mar/1934-mai/2014
8	50494000	Ambrósio	Cansanção	Itapicuru	352	18300	jan/1985-mai/2014
9	50520000	Ponte Euclides da Cunha	Tucano	Itapicuru	140	26100	jan/1966-mai/2014
10	50540000	Cipó	Cipó	Itapicuru	131	28000	jan/1935-mai/2014
11	50591000	Fazenda Trianon	Acajutiba	Itapicuru		35000	out/1934-jun/1990
12	50590000	Itapicuru	Itapicuru	Itapicuru	56	34100	ago/1989-jan/2007
13	50595000	Usina Altamira	Conde	Itapicuru	17	35200	mar/1964-mai/2014

Fonte: ANA (2014)