INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN

ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS PARA DESASSOREAMENTO E REGULARIZAÇÃO DOS LEITOS E MARGENS DOS RIOS JUCU, FORMATE E MARINHO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA

PRODUTO 3. RELATÓRIO DO DIAGNÓSTICO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS JUCU, FORMATE E MARINHO

Acquatool Consultoria

Dezembro 2008

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens dos Rios Jucu, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Contrato nº14/2008

Processo nº38526182

Tomada de Preços nº001/2008

Produto 3

Relatório do Diagnóstico das Bacias Hidrográficas dos rios Jucu, Formate e Marinho

Vitória, Dezembro de 2008

APRESENTAÇÃO

A Empresa Acquatool Consultoria S/S Ltda., no marco da ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS PARA DESASSOREAMENTO E REGULARIZAÇÃO DOS LEITOS E MARGENS DOS RIOS JUCU, FORMATE E MARINHO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, apresenta neste relatório o terceiro produto contratado, contendo o diagnóstico das bacias hidrográficas dos rios Jucu, Formate e Marinho. Este relatório organiza-se em três capítulos.

No primeiro capítulo, denominado “Introdução e Diagnóstico da situação Atual”, é desenvolvido um Diagnóstico da Situação atual em matéria de infra-estrutura de macro-drenagem da região em estudo. Neste capítulo foi desenvolvido o produto solicitado contratualmente e o mesmo serviu de base para a extensão da área de estudo, conforme apresentado nos capítulos seguintes que tratam especificamente dos aspectos hidrológicos das diferentes bacias a ser estudadas.

No **Capítulo I** é apresentada uma descrição geral das bacias dos rios Jucu, Formate e Marinho, independente das áreas serem ou não contempladas no contexto do contrato. A adoção deste critério foi amplamente justificada no capítulo introdutório.

No **Capítulo II** é apresentada uma Caracterização Hidro-climática regional, e local com ênfase para aspectos de chuvas intensas e vazões máximas para diferentes probabilidades de ocorrência, as quais, conjuntamente definem as condições críticas a que deve ser submetidas as intervenções futuramente propostas.

No **Capítulo III** é apresentado um estudo desenvolvido como solução para o controle cheias regionais na bacia do Rio Jucu, trata-se um reservatório de usos múltiplos com capacidade de aumentar a oferta hídrica da bacia, conter e atenuar sensivelmente os picos de cheias regionais e gerar energia elétrica mediante a instalação de Pequena Central Hidrelétrica. O estudo apresenta diferentes alternativas de capacidades e custos associados ao reservatório a nível de viabilidade técnico econômica.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO ..... **ii**
LISTA TABELAS ..... **v**
LISTA FIGURAS ..... **vii**
INTRODUÇÃO E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL **1**
As Cheias Regionais 1
As Cheias Locais 3
1. DESCRIÇÃO DAS BACIAS OBJETO DE ESTUDO **8**
1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jucu 8
1.1.1. Bacia do Alto e Médio Rio Jucu *15*
1.1.2. Bacia do Rio Jacarandá *16*
1.1.3. Bacia do Ribeirão Santo Agostinho *18*
1.1.4. Bacia Incremental Inferior do Rio Jucu *20*
1.2. Bacia do Rio Formate 22
1.3. Bacia do Rio Marinho 31
1.3.1. Margem Esquerda do Rio Marinho ao Norte do Córrego Campo Grande *32*
1.3.2. Margem Esquerda do Rio Marinho Margem ao Sul do Córrego Campo Grande *38*
1.3.3. Margem Direita do Rio Marinho *40*
1.3.4. Bacia do Córrego Campo Grande *42*
2. CARACTERIZAÇÃO HIDRO-CLIMÁTICA **46**
2.1. Aspectos Climáticos 46
2.1.1. O Clima no Sudeste Brasileiro *46*
2.1.2. O Clima no Estado do Espírito Santo *47*
2.1.3. O Clima na Área de Estudo *49*
2.2. Caracterização Pluviométrica 52
2.2.1. Acervo de Dados Pluviométricos e Pluviográficos *52*
2.2.2. Pluviometria Média e Máxima na Área de Estudo *54*
2.2.3. Chuvas Intensas na Região de Estudo *58*
2.3. Caracterização Fluviométrica 68
2.3.1. Acervo de Dados Fluviométricos *68*
2.3.2. Tratamento Estatístico das Séries de Fluviometria *71*
2.3.3. Valores Extremos de Vazões Escoadas na Bacia do Rio Jucu e suas Recorrências *79*
3. UMA SOLUÇÃO PARA O CONTROLE CHEIAS REGIONAIS NA BACIA DO RIO JUCU. **85**
3.1. Possíveis usos e localização de um Reservatório na bacia do rio Jucu 85
3.2. A capacidade de regularização de vazões 88
3.2.1. A Equação do Balanço Hídrico *88*
3.2.2. Modelo de Simulação Adotado: O Programa Acqua *90*
3.2.3. Parâmetros e Dados Necessários para a Simulação da Operação Integrada *93*
3.2.4. Capacidades de Acumulação versus Vazões Regularizadas *99*

3.3. O controle de cheias 100
3.3.1. Modelo Adotado 100
3.3.2. A Regra de Efluência e o Amortecimento da Onda de Cheia 101
3.3.3. Dimensionamento Considerando a Cheia Centenária ocorrendo Isoladamente 103
3.3.4. Dimensionamento Considerando a Cheia Centenária ocorrendo durante um Período Úmido 107
3.3.5. Dimensionamento Considerando a Série Histórica Completa 109
3.3.6. Dimensionamento Considerando a Série Histórica Completa, com a Incorporação da Cheia Centenária 111
3.4. O uso conjunto do reservatório, a abordagem para o dimensionamento 117
3.5. A Geração de Energia 119
3.6. Os Custos Associados 121
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 124

LISTA TABELAS

Tabela 1.1.1. Municípios com áreas contempladas na bacia do Rio Jucu 9
Tabela 1.1.2. Áreas das Sub-Bacias da Bacia do Rio Jucu 10
Tabela 1.1.3. Parâmetros físicos da bacia do Rio Jucu 13
Tabela 1.1.4. Características do relevo na Médio-Alta Bacia do Rio Jucu 16
Tabela 1.1.5. Características do relevo na Bacia do Rio Jacarandá 17
Tabela 1.1.6. Características do relevo na Bacia do Ribeirão Santo Agostinho 19
Tabela 1.1.7. Características do relevo da Bacia Incremental do Rio Jucu 21
Tabela 1.2.1. Parâmetros físicos da bacia do Rio Formate 27
Tabela 1.3.1. Parâmetros físicos da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande 33
Tabela 1.3.2. Parâmetros físicos da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande 38
Tabela 1.3.3. Parâmetros físicos da bacia da Margem Direita do Rio Marinho 40
Tabela 1.3.4. Parâmetros físicos da bacia do Rio Campo Grande 42
Tabela 2.1.1. Normais Climatológicas (1961-1990) da Pressão Atmosférica na Estação Vitória.. 50
Tabela 2.1.2. Normais Climatológicas (1961-1990) da Temperatura Média, Máxima e Mínima na Estação Vitória 51
Tabela 2.1.3. Normais Climatológicas (1961-1990) da Evaporação Total na Estação Vitória 51
Tabela 2.1.4. Normais Climatológicas (1961-1990) da Umidade Relativa na Estação Vitória 51
Tabela 2.1.5. Normais Climatológicas (1961-1990) da Cobertura das Nuvens na Estação Vitória 52
Tabela 2.2.1. Relação dos postos pluviométricos na Bacia do Rio Jucu. 53
Tabela 2.2.2. Postos utilizados para a caracterização do regime pluvial da bacia do Rio Jucu. ... 54
Tabela 2.2.3 Estatísticas médias mensais e anuais das precipitações, em mm, observadas em Vitória 56
Tabela 2.2.4. Tormentas, em mm, calculadas para o posto de Vitória, segundo metodologia de Otto Pfafstetter 59
Tabela 2.2.5. Valores de tormentas diárias associadas às recorrências de 50 e 100 anos para os postos pluviométricos analisados 62
Tabela 2.2.6 Resumo comparativo dos resultados das aplicações metodológicas Otto Pfafstetter, Taborga Torrico e Equação intensidade-duração-freqüência 66
Tabela 2.3.1. Relação das estações fluviométricas 69
Tabela 2.3.2. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Córrego do Galo – 57170000 73
Tabela 2.3.3. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Marechal Floriano – 57190000 74
Tabela 2.3.4. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba – 57230000 75
Tabela 2.3.5. Série anual de vazões máximas observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba 80
Tabela 2.3.6. Ajuste das distribuições de probabilidade à série anual de vazões máximas observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba 80

Tabela 3.1. Evaporação Média no município de Linhares..... 93
Tabela 3.2. Série contínua de vazões médias mensais na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba..... 97
Tabela 3.3. Série de vazões médias mensais afluentes a barragem Pedra Mulata..... 98
Tabela 3.4. Dimensionamento da barragem Pedra Mulata..... 118
Tabela 3.5. Freqüência das cotas atingidas pela barragem Pedra Mulata..... 120
Tabela 3.6. Custos de construção da barragem Pedra Mulata..... 122

LISTA FIGURAS

Figura 1.1.1. Discretização adotada na Bacia do Rio Jucu (Mapa) 11
Figura 1.1.2. Discretização adotada na Bacia do Rio Jucu na área de estudo 12
Figura 1.1.3. Perfil Longitudinal do Alto e Médio Jucu até o exutório na Pedra Mulata 14
Figura 1.1.4. Perfil Longitudinal do Rio Jucu a partir do exutório do alto e médio Jucu até sua foz na Barra do Jucu 14
Figura 1.1.5. Curva Hipsométrica da Bacia do Alto e Médio Rio Jucu 15
Figura 1.1.6. Histograma de declividades da Médio-Alta Bacia do Rio Jucu 16
Figura 1.1.7. Curva hipsométrica da Bacia do Rio Jacarandá 17
Figura 1.1.8. Histograma de declividades da Bacia do Rio Jacarandá 18
Figura 1.1.9. Curva hipsometrica da Bacia do Ribeirão Santo Agostinho 18
Figura 1.1.10. Curva hipsometrica da Bacia do Ribeirão Santo Agostinho 19
Figura 1.1.11. Curva hipsométrica da bacia incremental inferior do Rio Jucu 20
Figura 1.1.12. Curva hipsométrica das demais sub-bacias da Bacia do Rio Jucu 21
Figura 1.2.1. Curva hipsométrica da alta bacia do Rio Formate. 23
Figura 1.2.2. Perfil Longitudinal do Rio Formate na sua alta bacia. 23
Figura 1.2.3. Histograma de declividades da alta bacia do Rio Formate. 24
Figura 1.2.4. Curva hipsométrica da Bacia do Rio Formate na sua baixa bacia 25
Figura 1.2.5. Perfil Longitudinal do Rio Formate na sua baixa bacia. 25
Figura 1.2.6. Histograma de declividades da baixa bacia do Rio Formate. 26
Figura 1.2.7. Discretização adotada na Bacia do Rio Formate 28
Figura 1.3.1. Perfil Longitudinal do Rio Marinho 32
Figura 1.3.2. Discretização adotada para a Bacia do Rio Marinho (Mapa) 34
Figura 1.3.3. Histograma das declividades da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande 35
Figura 1.3.4. Curva hipsométrica da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande. 35
Figura 1.3.5. Histograma das declividades da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande 39
Figura 1.3.6. Curva hipsométrica da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande 39
Figura 1.3.7. Histograma de declividades da bacia Margem Direita do Rio Marinho 41
Figura 1.3.8. Curva hipsométrica da bacia Margem Direita do Rio Marinho 41
Figura 1.3.9. Histograma de declividades da bacia do Córrego Campo Grande 43
Figura 1.3.10. Curva hipsométrica da bacia do Córrego Campo Grande 44
Figura 1.3.11. Perfil longitudinal do Córrego Campo Grande 44
Figura 2.2.1. Pluviômetro tipo Ville de Paris 55
Figura 2.2.2 Pluviograma médio mensal das precipitações na bacia do rio Jucu 55
Figura 2.2.3. Mapa de Isoietas da bacia do rio Jucu 57
Figura 2.2.4. Gráficos intensidade – duração – freqüência para o posto de Vitória, segundo metodologia de Otto Pfafstetter 59

Figura 2.2.5 Família de curvas de intensidade – duração – freqüência obtidas através da equação de chuva para diferentes tempos de recorrência para o posto Aracê. 64

Figura 2.2.6 Família de curvas de intensidade – duração – freqüência obtidas através da equação de chuva para diferentes tempos de recorrência para o posto Vitória. 64

Figura 2.2.7. Alturas pluviométrica para a baixa bacia do Rio Jucu obtidos pelos três métodos, considerando uma duração de chuva (t) de 24h e TR entre 5 e 100 anos. 67

Figura 2.2.8. Curvas intensidade – duração – freqüência para a baixa bacia do Rio Jucu obtidas pelos três métodos então estudados, considerando TR = 100 anos e durações de chuva entre 5 min e 24 h. 67

Figura 2.3.1. Mapa de localização das estações fluviométricas 70

Figura 2.3.2. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Córrego do Galo 76

Figura 2.3.3. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Marechal Floriano 77

Figura 2.3.4. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba 77

Figura 2.3.5. Mínimas vazões médias de 7 dias consecutivos para as séries históricas das estações fluviométricas Córrego do Galo, Marechal Floriano e Fazenda Jucuruaba 78

Figura 2.3.6. Hidrograma representativo ao estudo de cheias do rio Jucu na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba 81

Figura 2.3.7. Hidrograma da cheia com recorrência de 100 anos, estimado para a seção de monitoramento Fazenda Jucuruaba 83

Figura 3.1. Localização da barragem Pedra Mulata 87

Figura 3.2. Curva Cota x Área x Volume do reservatório da barragem Pedra Mulata 94

Figura 3.3. Curva dupla massa acumulada das vazões específicas observadas nas estações fluviométricas Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba 96

Figura 3.4. Curvas das vazões regularizadas pelo reservatório da barragem Pedra Mulata 99

Figura 3.5. Exemplo de curva chave das efluências da barragem Pedra Mulata 102

Figura 3.6. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 160 hm³ de capacidade máxima de acumulação 105

Figura 3.7. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 170 hm³ de capacidade máxima de acumulação 105

Figura 3.8. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 180 hm³ de capacidade máxima de acumulação 106

Figura 3.9. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação 106

Figura 3.10. Amortecimento da cheia centenária ocorrendo em um período úmido, para a barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação 108

Figura 3.11. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação 110

Figura 3.12. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 160 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada 113

Figura 3.13. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 170 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada 114

Figura 3.14. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 180 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada 115

Figura 3.15. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada 116
Figura 3.16. Equação Paramétrica para Estimativa de Custos de Barragens de Terra 121
Figura 3.17. Equação Paramétrica para Estimativa de Custos de Barragens de CCR/Alvenaria de Pedra 122

INTRODUÇÃO E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

A ocorrência de inundações em áreas urbanas e rurais nas regiões do Baixo Jucu, Formate e Marinho é fato recorrente que já foi praticamente incorporado ao cotidiano das populações locais.

A ocupação antropica de extensas áreas cujo escoamento natural era difuso e, muitas vezes, cambiante em função das condições morfológicas e climáticas, acarretou como conseqüência o permanente convívio com enchentes com elevada capacidade de destruição de bens e riscos à vida humana.

Esta situação se estender a praticamente toda a área urbana do município de Vila Velha que, com exceção de reduzidas áreas elevadas (ocupações mais antigas) se desenvolve ao longo de baixios localizados nas bacias dos rios Marinho, Aribiri e numa extensa área da Baixa Bacia do Rio Jucu, particularmente as bacias dos tributários Guranhuns, Camboapina, Congo e outros cursos menores. Áreas contíguas aos leitos dos rios Formate e Marinho, nos municípios e Viana e Cariacica apresentam problemas semelhantes.

Neste contexto é importante fazer uma classificação em relação à natureza das enchentes que ocorrem na região.

De um modo geral podemos diferenciar o que denominaremos “cheias regionais” e o que passarão a ser chamadas de “cheias locais”.

As Cheias Regionais

As denominadas “cheias regionais” ocorrem em porções maiores do território, no nosso caso são produto das águas precipitadas e escoadas ao longo de mais 1600 km^2 pertencentes à Alta e Média Bacia do Rio Jucu e mais de 45 km^2 da Alta e Média Bacia do Rio Formate.

As principais características destas cheias são sua permanência, que supera em todos os casos às 24h e, no caso do Rio Jucu, pode alcançar durações de dezenas de dias.

Trata-se de cheias ocorridas em áreas com predominância de ocupação rural, fortes declividades e grande sensibilidade em relação às precipitações antecedentes; isto é, montantes de chuva idênticos podem gerar escoamentos bem

diferenciados dependendo do fato de terem ocorrido no passado recente eventos chuvosos que tenham saturado a camada superior dos solos que na região, de um modo geral, são ricos em argilas, material com elevada capacidade de retenção de águas e que após sua saturação não permitem a drenagem sub-superficial dos mesmos, inibindo a percolação profunda.

A magnitude e as características deste tipo de cheias fazem com que as abordagens tradicionais de intervenção na drenagem urbana contribuam muito pouco para mitigar os problemas decorrentes das mesmas. Práticas de canalização e dragagem voltadas a mitigar este tipo de cheias adquirem proporções e custos que resultam proibitivos e as dimensões adequadas das calhas em áreas urbanas exigem muitas vezes importantes desapropriações e severas mudanças na infra-estrutura viária existente.

Estas cheias regionais afetam de modo direto e indireto a área definida como área e intervenção dos estudos. As áreas identificadas como sujeitas à influência direta de cheias regionais foram as seguintes:

i) Trecho inferior do Rio Formate com aproximadamente 12 km de extensão é sujeito às cheias provenientes da alta bacia do rio Formate que agravam sensivelmente os problemas locais do trecho urbanizado deste rio;

ii) Trecho inferior do leito principal do Rio Jucu, com aproximadamente 20 km de extensão, é uma área pouco ocupada e foi objeto de várias intervenções para reduzir os efeitos das cheias, com destaque para o Dique Guaranhuns e as diferentes etapas e canalização do leito principal do rio Jucu que começaram a mais de 40 anos;

iii) Bacia do Canal de Camboapina; esta bacia é uma das maiores bacias hidrográficas afluentes ao Baixo Jucu, com o agravante de dispor de extensas áreas urbanas não protegidas por diques, sofre fortemente os efeitos das cheias regionais do Rio Jucu;

iv) Bacia do Canal do Congo e do Aero Clube, com características similares a Camboapina, trata-se de bacias que afluem ao Baixo Jucu e em conseqüência sofrem os efeitos dos níveis das águas no Jucu, condicionando fortemente seu

escoamento, estas bacias apresentam certa proteção às cheias regionais nas áreas que se localizam a montante da Rodovia do Sol.

A principal abordagem para este tipo de problema consiste em intervir fora da área onde as cheias se tornam prejudiciais, particularmente mediante dois tipos de intervenções:

a) Construção de reservatórios cujo objetivo é o de atenuar os picos de cheia contendo momentaneamente os volumes escoados;

b) Prover traçados alternativos para os cursos d'água, particularmente desviando os trechos que atravessam áreas urbanas.

Soluções para as cheias regionais do Rio Jucu e do Rio Formate foram identificadas e projetadas pela contratada. A proposta de implantação do Reservatório Roda D'água na Bacia do Rio Formate foi apresentada em relatório anterior e a proposta de implantação de um reservatório na bacia do Rio Jucu é descrita neste relatório.

Pelas características peculiares do Rio Marinho não foram identificadas intervenções deste tipo em seu território.

As Cheias Locais

As denominadas "cheias locais" ocorrem em porções menores do território e no nosso caso são decorrentes das águas precipitadas e escoadas ao longo dos 400 km^2 pertencentes à Baixa Bacia do Rio Jucu, aos 27 km^2 da Bacia do Rio Marinho e aos 55 km^2 da Baixa Bacia do Rio Formate.

As principais características destas cheias são seu caráter súbito de ocorrência, que na maioria dos casos não supera às 24hs e, no caso das bacias contribuintes ao Baixo Jucu como Camboapina e Congo, pode alcançar durações de alguns dias.

Trata-se de cheias ocorridas em áreas com predominância de ocupação urbana, cujas bacias podem apresentar nascentes com fortes declividades, mas que, de um modo geral, são dominadas por terrenos baixos, com pouca declividade e onde o escoamento é pouco hierarquizado.

O fator mais relevante é a crescente impermeabilização do solo decorrente da urbanização e a crescente ocupação de áreas de amortecimento junto às calhas dos rios com aterros e edificações. Isto faz com que exista pouca ou nenhuma variação dos picos de vazão em relação às precipitações antecedentes; isto é, montantes de chuva geram escoamentos com picos bem pronunciados para a maioria dos eventos, mesmos que os volumes escoados não sejam de porte considerável.

As características deste tipo de cheias fazem com que as abordagens tradicionais de intervenção na drenagem urbana sejam indicadas para mitigar os problemas decorrentes das mesmas. Práticas de canalização e dragagem e mecanismos de atenuação de picos voltados a mitigar este tipo de cheias são indicados e benéficos, na medida em que se possam isolar os efeitos das cheias locais em relação aos fenômenos de caráter regional, de proporções maiores e de muito mais difícil abordagem.

Estas cheias locais afetam de modo direto a área definida como área e intervenção dos estudos. As áreas identificadas como sujeitas à influência de cheias locais foram as seguintes:

i) Trecho inferior do Rio Formate com aproximadamente 12 km de extensão, este trecho recebe, alem das águas provenientes das cheias geradas na alta bacia do rio Formate, cheias locais produzidas pelas águas escoadas na bacia incremental, fortemente amplificadas pela intensa ocupação urbana da calha do rio e pela ocorrência de pontos de controle que elevam os níveis das águas como as barragens de nível situadas junto à desativada fábrica da Braspérola e a situada no baixo curso do Formate (coordenadas UTM 24k 354.414E, 7.744.285N) que agravam sensivelmente os problemas locais do trecho urbanizado deste rio;

ii) Bacia do Rio Marinho em toda sua extensão, particularmente as bacias de Jardim de Alá e Campo Grande em Cariacica que conjugam zonas de baixa capacidade de escoamento com baixas declividades e feito de maré com zonas de alta declividade e intensa ocupação urbana capazes de produzir cheias com urtos tempo de pico e elevadas vazões de pico;

iii) Bacias dos canais de Guaranhuns, Camboapina, Congo, Aero Clube e da Vala Marinho/Aribiri, estas bacias apresentam sérias dificuldades de escoamento

quando ocorrem cheias no Baixo Jucu, de um modo geral os níveis destas bacias são inferiores ou próximos aos atingidos no Rio Jucu durante as cheias regionais, sendo necessário o fechamento de comportas e a retirada das vazões mediante o bombeamento;

A abordagem para este tipo de problema se define “caso a caso”, as intervenções devem ser coordenadas de modo que as águas retiradas de uma determinada região não venham a piorar as condições em áreas vizinhas, particularmente mediante dois tipos de intervenções:

a) Canalização e Dragagem de cursos d’água cujo objetivo é o de aumentar a capacidade de escoamento dos mesmos, neste sentido oram identificados como sujeitos a canalização e dragagem dos seguintes trechos dos cursos d’água:

a.1) Trecho Urbano do Rio Formate, perfazendo aproximadamente 12 km onde se prevê alargamento e aprofundamento da calha mediante dragagem e execução de obras complementares como proteção e margens, caminhos marginais e reformas em pontes existentes e construção e novas pontes;

a.2) Trecho Canal Marinho, perfazendo aproximadamente 4,5 km onde se prevê aprofundamento da calha mediante dragagem e execução de obras complementares como proteção e margens, caminhos marginais e reformas em pontes existentes e construção e novas pontes;

a.3) Trecho Rio Marinho (Leito Abandonado), perfazendo aproximadamente 2,5 km onde se prevê desobstrução e limpeza e aprofundamento da calha mediante dragagem e execução de obras complementares como proteção e margens, caminhos marginais e reformas em pontes existentes e construção e novas pontes;

a.4) Trecho Rio Marinho (montante de Campo Grande), perfazendo aproximadamente 3,8 km onde se prevê desobstrução e limpeza e aprofundamento da calha mediante dragagem e execução de obras complementares como proteção e margens, caminhos marginais e reformas em pontes existentes e construção e novas pontes;

b) Implantação de diques que evitem o deslocamento das massas de água para determinadas áreas onde possam prejudicar a situação das mesmas. Esta ação se denomina “polderização”, termo proveniente da palavra “pôlder” que denota

uma porção de terrenos baixos e planos que constituem uma entidade hidrológica artificial, incluída entre aterros conhecidos como diques, utilizados para a agricultura ou habitação. As áreas sujeitas a polderização são as seguintes:

b.1) Baixa Bacia do Canal Jardim América no município de Cariacica;

b.2) Bacia contribuinte à Vala Marinho no município de Vila Velha;

b.3) Bacia contribuinte à Vala Cobilândia no município de Vila Velha;

b.4) Bacia contribuinte ao Canal Guaranhuns, no município de Vila Velha;

b.5) Bacia contribuinte ao Canal Araçás, tributário do canal Guarnhuns, no município de Vila Velha;

b.6) Porção urbana da bacia contribuinte ao Canal de Camboapina, no município de Vila Velha;

b.7) Porção urbana da bacia contribuinte ao Rio Congo, no município de Vila Velha;

c) Implantação de Estações de Bombeamento que permitam retirar os excedentes de água das áreas polderizadas independendo das condições de nível externas. O esgotamento das águas pluviais dos pôlderes deve ser feito por meio de canais com comportas e/ou de bombas, a fim de impedir a subida excessiva da água no interior da área ensecada pelos diques. Foram previstas Estações de Bombeamento em todos os Poderes previstos no item anterior;

Nos principais tributários da Margem esquerda do Rio Marinho, o Córrego Campo Grande e o Dreno do Bairro Jardim de Alá foram previstas melhorias Na drenagem tendentes a diminuir os picos de vazões mediante a construção de pequenos reservatórios de controle do tipo usado em áreas urbanas de alta densidade de ocupação, estes reservatórios se denominam piscinões, nome atribuído aos mesmos pela Prefeitura da cidade de São Paulo, instituição pioneira no Brasil neste tipo de obras.

A seguir são discutidos os aspectos básicos para o dimensionamento e projeto das obras prevista como, também a discussão sobre o dimensionamento da principal obra a ser proposta, a Barragem denominada Pedra Mulata. No relatórios RP 4 e RP 5 será concluída a apresentação do projeto das obras previstas.

1. DESCRIÇÃO DAS BACIAS OBJETO DE ESTUDO

1. DESCRIÇÃO DAS BACIAS OBJETO DE ESTUDO

1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jucu

A Bacia do rio Jucu é totalmente localizada em território capixaba, tendo como principais afluentes os denominados Jucu - Braço Norte e Jucu - Braço Sul. As cabeceiras do rio Jucu encontram-se na região montanhosa do estado, junto ao Parque Estadual de Pedra Azul, com o seu deságüe se dando junto ao Oceano Atlântico, na localidade Barra do Jucu, município de Vila Velha.

O Braço Norte do rio Jucu corta o município de Domingos Martins, enquanto que o Braço Sul corta o município de Marechal Floriano confluindo na divisa entre Viana e Domingos Martins.

Além dos Braços Norte e Sul, podem-se citar como importantes afluentes do rio Jucu os córregos Barcelos, Ponte, Melgaço, D'antas, Jacarandá, Ribeirão Tijuco Preto, Biriricas, Santo Agostinho e Congo.

A palavra Jucu é de origem tupi-guarani e significa árvore de canela. Como já foi amplamente comentado no relatório anterior, trata-se de um rio com grande importância histórica, que serviu às primeiras incursões no sertão capixaba, permitindo o desbravamento do interior dos municípios de Vila Velha, Cariacica e Viana.

Ao longo de sua história, o rio Jucu tem sido objeto de intervenções antrópicas, principalmente na região de sua baixa bacia, tendo passado por obras de retificações e drenagem, além de obras de transposições, destacando-se neste ínterim o desvio do Rio Formate, outrora afluente do Rio Jucu, e que passou a desaguar no Rio Marinho.

Os principais problemas encontrados na Bacia do Rio Jucu são: assoreamento, despejos de esgotos não tratados, desmatamento, queimadas, erosão e ocupação irregular das margens do rio. Quanto às atividades econômicas, as mais importantes da bacia do Rio Jucu são a agropecuária, os hortifrutigranjeiros, o turismo e, em menor grau, a geração de energia elétrica e as atividades industriais.

A Tabela 1.1.1 apresenta os municípios com áreas contemplada na bacia, bem como as dimensões e o percentual destas em relação à área da bacia do Rio

Jucu. Pode-se observar que cerca de 60% de sua área se encontra no município de Domingo Martins.

A extensão total dos cursos d'água da bacia do Rio Jucu (segundo cartografia IBGE-1/50.000) soma aproximadamente 5.130 km, que drenam uma área superior a 2.000 km², correspondendo a uma densidade de drenagem de 2,54 km/km², considerada densa.

Tabela 1.1.1. Municípios com áreas contempladas na bacia do Rio Jucu

Município	Área na Bacia do Rio Jucu (m)	% da Área da Bacia do Rio Jucu
Cariacica	6.700.000	0,33%
Vila Velha	103.332.000	5,13%
Guarapari	127.465.500	6,33%
Viana	263.343.000	13,07%
Marechal Floriano	292.611.200	14,53%
Domingos Martins	1.220.928.400	60,61%
Total	**2.014.380.100**	**100,00%**

Com o objetivo de melhor representar e compreender o funcionamento dos processos que controlam o movimento da água na região em estudo optou-se por discretizar a bacia do Rio Jucu em 8 sub-bacias, a saber:

- Bacia do Alto e Médio Jucu, compreendendo desde as nascentes até um local denominado Pedro Mulata no município de Viana, pouco distante a jusante da confluência dos Braços Norte e Sul. Esta porção da bacia não faz parte de forma direta da área de estudo e seu interesse neste relatório decorre do fato de ser a formadora das cheias que ocorrem na baixa bacia, objeto específico dos estudos;

- Sub-bacia incremental entre Pedra Mulata e a BR-101, compreendendo uma área com características similares a Bacia do Baixo Jucu, mas não contemplada como área de intervenção neste trabalho;

- Bacias do Ribeirão Santo Agostinho e Rio Jacarandá, principais tributários diretos à zona de intervenção;

Bacia do Baixo Jucu, que corresponde à principal área de intervenção, é formada por amplas várzeas com escoamento muito pouco eficiente;

- Bacia do Canal Camboapina, Canal Guaranhuns e Rio Congo, tributários de baixas declividades e de importante ocupação urbana, representam uma importante parcela da zona sujeita intervenções.

A discretização proposta foi realizada tendo como base o modelo digital do terreno (MDT) consolidado a partir de dados provenientes das Cartas planialtimétricas dos municípios de Viana, Vila Velha e Cariacica, levantamentos topográficos próprios e dados altimétricos provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). A Figura 1.1.1 apresenta, em escala 1:75.000, as subdivisões adotadas para a bacia do Rio Jucu, indicando-se na Tabela 1.1.2 as respectivas áreas. Já a Figura 1.1.2, apresentada em escala 1:25.000, ilustra a discretização da Bacia do Rio Jucu adotada na área de estudo.

Tabela 1.1.2. Áreas das Sub-Bacias da Bacia do Rio Jucu

Sub-Bacias	Área (km²)	% da Área
Bacia do Córrego Guaranhuns	14,12	0,70%
Bacia do Córrego Camboapina	19,79	0,98%
Bacia do Ribeirão Santo Agostinho	75,62	3,75%
Bacia do Rio Jacarandá	183,80	9,12%
Bacia do Baixo Jucu	69,06	3,43%
Sub-Bacia Intermediária entre a futura Barragem Pedra Mulata e a BR-101	10,72	0,53%
Bacia do Alto e Médio Jucu (bacia contribuinte à Barragem Pedra Mulata)	1.611,26	79,99%
Bacia do Rio Congo	30,03	1,49%
Total	2.014,40	100,00%

Rio da Penha
São Luís da Boa Sorte
FAZENDA GUANDU
VENDA NOVA
Nossa Senhora do Carmo
ARACÊ
Perobas
Ponto Alto
Paraju
Alto e Médio Jucu
DOMINGOS MARTINS
MARECHAL FLORIANO
Urânia
Araguaia
ALFREDO CHAVES
MATILDE
IBITIRUÍ
SAGRADA FAMÍLIA
São Miguel
ANCHIETA
Loteamento Santa Mônica
Una
ISABEL
SANTA LEOPOLDINA
VIANA
BARRAGEM PEDRA MULATA
Sub-Bacia Pedra Mulata/BR-101
ARAÇATIBA
Rio Calçado
GUARAPARI
São Félix
Todos os Santos
Bacia do Rio Jacaranda
Ponta da Fruta
OCEANO ATLÂNTICO
SERRA
CARIACICA
Flechal
VITÓRIA
Bacia Marinho Margem Esquerda Norte
Bacia do Rio Formate
ITAQUARI
ARGOLAS
Bacia do Córrego Campo Grande
Bacia Marinho Margem Direita
VILA VELHA
Bacia do Ribeirão Stº Agostinho
AREINHA
Bacia Marinho Margem Esquerda Sul
Bacia do Canal Guaranhuns
Bacia do Baixo Jucu
Bacia do Canal Camboapina
Bacia do Rio Congo
LEGENDA
Localidades
Barragem Pedra Mulata
Sub-Bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu
Demais Bacias Contempladas
Rios
INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES
Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucu, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória
Conteúdo: Discretização adotada na Bacia do Rio Jucu
Figura: 1.1.1.
Escala: 1/75.000
Data: Dezembro/2008

VITÓRIA
CARIACICA
Marinho Margem Esquerda Norte
Campo Grande Bacia do Córrego Campo Brasília
Bacia do Rio Formate
Bacia Marinho Margem Direita
Bacia Marinho Margem Esquerda Sul
Bacia do Canal Guaranhuns
Bacia do Ribeirão St. Agostinho
DOMINGOS MARTINS
Alto e Médio Jucu
VIANA
Sub-Bacia Pedra Mulata/BR-101
Bacia do Baixo Jucu
Bacia do Canal Camboapina
BARRAGEM PEDRA MULATA
OCEANO ATLÂNTICO
VILA VELHA
Bacia do Rio Congo
Bacia do Rio Jacarandá
GUARAPARI
LEGENDA
Localidades
Barragem Pedra Mulata
Sub-Bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu
Demais Bacias Contempladas
Rios
INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES
Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos
e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória
Conteúdo: Discretização adotada na Bacia do Rio Jucu na área de estudo
Figura: 1.1.2.
Escala: 1/25.000
Data: Dezembro/2008

A Tabela 1.1.3 apresenta os parâmetros físicos da bacia do Rio Jucu, onde se observa que o coeficiente de compacidade (CC) é igual a 2,36, o fator de forma (FF) é igual a 0,07, o tempo de concentração (Tc), estimado pela metodologia de Kirpich, é de 24h22min e a declividade média é de 13,25%.

Tabela 1.1.3. Parâmetros físicos da bacia do Rio Jucu

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	375.955
Área Total (m²)	2.014.391.421
Comprimento do Rio Principal (m)	168.865
Cota Montante Rio Principal (m)	1050,00
Cota Jusante Rio Principal (m)	-2,00
Coeficiente Compacidade	2,362
Fator De Forma	0,071
Declividade Média (%)	13,25
Tempo Concentração - Tc, Kirpich	24h:22min

Com extensão aproximada de 150 km, o rio principal da bacia (Jucu – Braço Norte), nasce a uma cota de 1.050 metros acima do nível do mar a sudoeste de Domingo Martins, próximo ao Parque Estadual de Pedra Azul, na fronteira deste município com Vargem Alta.

Ao longo de seus primeiros 120 km, o perfil longitudinal do rio principal apresenta desníveis em forma de degrau, atingindo a elevação de 10 metros no local denominado Pedra Mulata, local considerado exutório do Alto e Médio Jucu, conforme Figura 1.1.3. A partir deste ponto, o Rio Jucu escoa por regiões características de várzeas (Vide Figura 1.1.4), percorrendo relevos suaves até atingir sua foz, na Barra do Jucu.

A seguir, serão descritas as principais características das sub-bacias identificadas. Com o objetivo de facilitar a compreensão das características de cada sub-bacia, optou-se por agrupar a sub-bacia incremental Pedra Mulata / BR-101, a Bacia do Baixo Jucu, a Bacia do Canal Camboapina, a Bacia do Canal Guaranhuns e a Bacia do Rio Congo em um conjunto de bacias mencionada neste relatório como Bacia Incremental inferior do Rio Jucu.

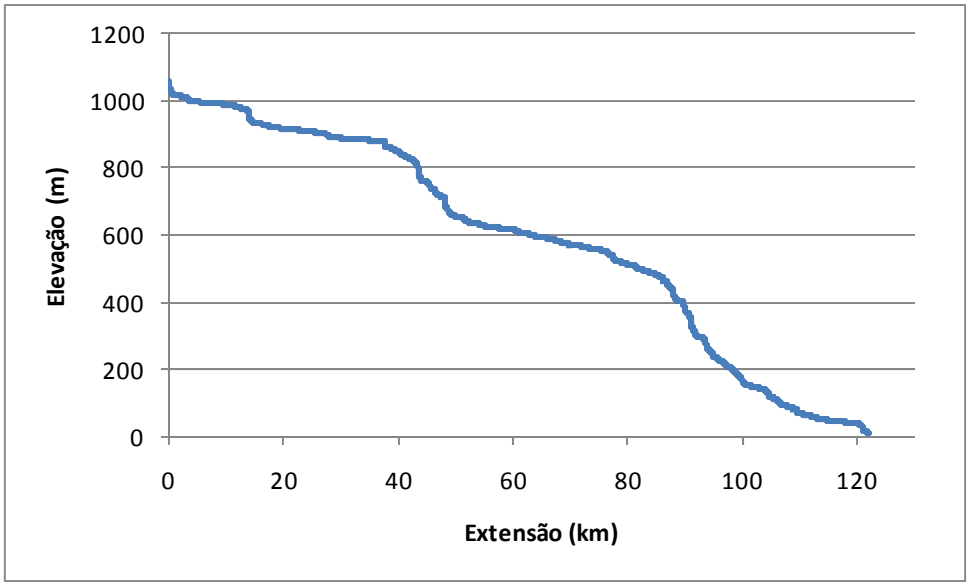


Figura 1.1.3. Perfil Longitudinal do Alto e Médio Jucu até o exutório na Pedra Mulata

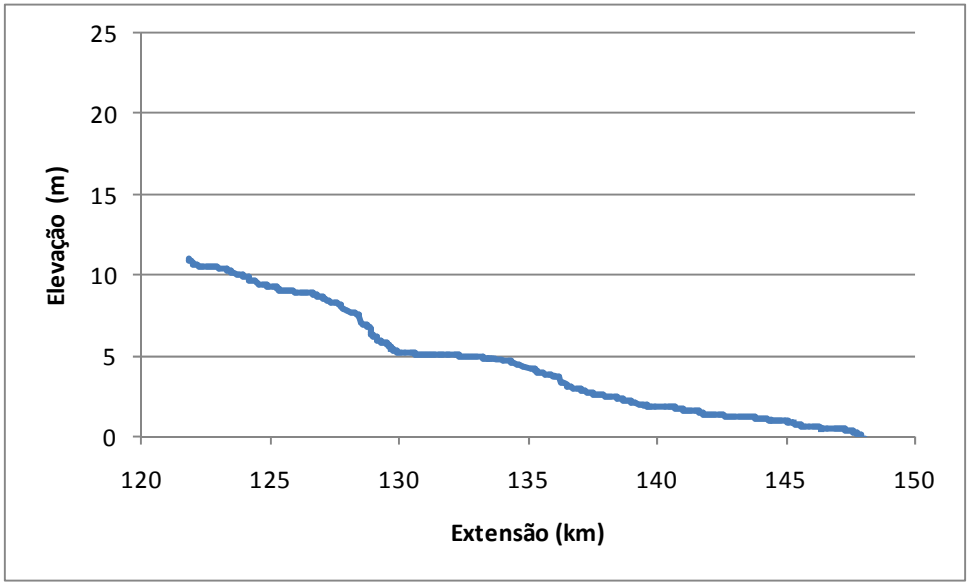


Figura 1.1.4. Perfil Longitudinal do Rio Jucu a partir do exutório do alto e médio Jucu até sua foz na Barra do Jucu

1.1.1. Bacia do Alto e Médio Rio Jucu

Esta região representa cerca de 80% da Bacia do Rio Jucu, apresentando comprimento de drenagem total da ordem de 4.250 km, área de cerca de 1.600 km² e densidade de drenagem em torno de 2,60 km/km².

No que concerne à hipsometria desta sub-bacia, é possível observar a partir da Figura 1.1.5 que a Médio-Alta Bacia possui amplitude altimétrica em torno de 1.860 metros, sendo a cota 1.870 metros o ponto de maior altitude, e a cota 10 metros o ponto mais baixo. Ainda, aproximadamente 85% da área da Médio-Alta Bacia encontram-se entre as cotas 600 e 1.200 metros.

Já as áreas acima de 1.200 metros representam apenas cerca de 2% da área total da bacia e são predominantes nas proximidades do Parque Estadual de Pedra Azul, enquanto que as áreas abaixo de 600 metros compreendem aproximadamente 13% da bacia, concentrando-se próximo à seu exutório.

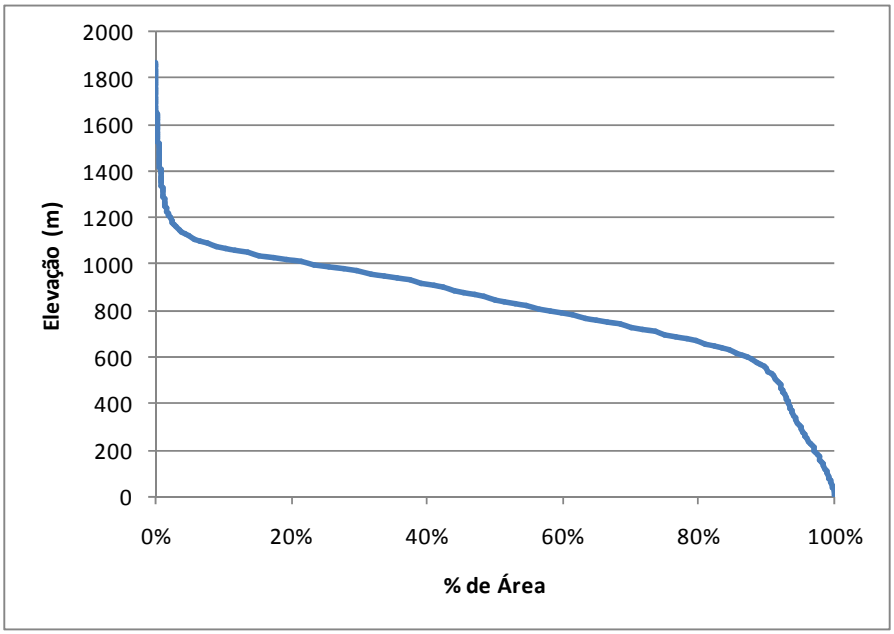


Figura 1.1.5. Curva Hipsométrica da Bacia do Alto e Médio Rio Jucu

Na Médio-Alta Bacia há um predomínio dos relevos suavemente ondulados a ondulados (cerca de 30%) e dos relevos ondulados a fortemente ondulados (cerca de 40%), ambos ocorrendo de maneira uniforme em toda a bacia, conforme Tabela 1.1.4 e Figura 1.1.6.

Aproximadamente 250 km² da bacia possuem relevo fortemente ondulado a montanhoso, também ocorrendo uniformemente em toda a bacia, enquanto que

relevos montanhosos, que abrangem o Parque Estadual de Pedra Azul, ocupam menos de 0,1% da bacia. Baixas declividades nas planícies ao longo dos cursos d'água e na área de jusante da bacia (área de várzea).

Tabela 1.1.4. Características do relevo na Médio-Alta Bacia do Rio Jucu

Classe de Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	% da Área
0-3	Várzea	87,28	5,42
3-6	Plano a Suave Ondulado	163,55	10,15
6-12	Suavemente Ondulado a Ondulado	490,64	30,45
12-20	Ondulado a Fortemente Ondulado	621,74	38,59
20-40	Fortemente Ondulado a Montanhoso	247,04	15,33
>40	Montanhoso	1,00	0,06

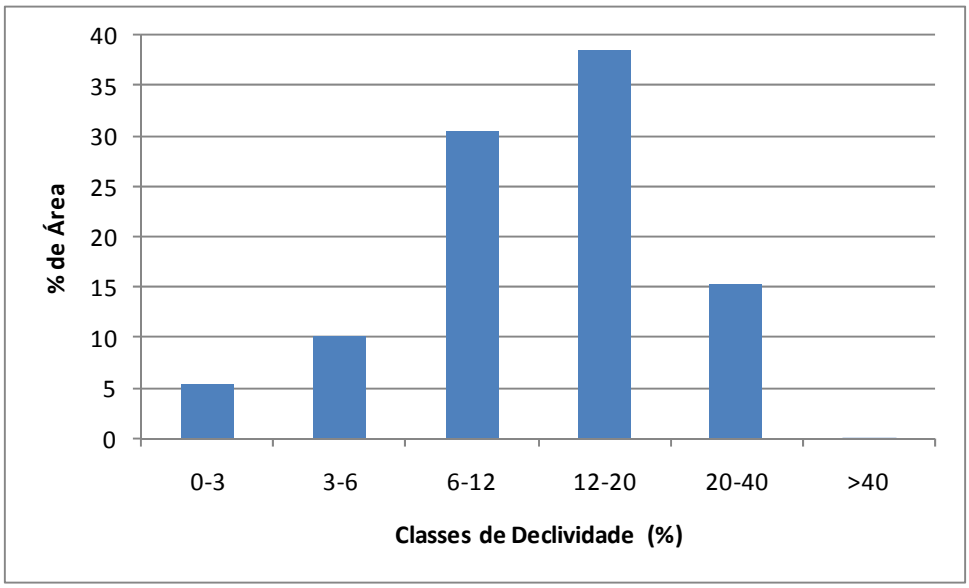


Figura 1.1.6. Histograma de declividades da Médio-Alta Bacia do Rio Jucu

1.1.2. Bacia do Rio Jacarandá

Esta bacia abrange uma área de 183,8 km², representando cerca de 9% da área da Bacia do Rio Jucu. Os cursos d'água dentro desta bacia somam uma extensão de cerca de 470 km e a densidade de drenagem da bacia é igual a 2,57 km/km².

Cerca de 70% da área da bacia do Rio Jacarandá se encontra em território guarapariense, enquanto 30% se encontram no município de Viana. A amplitude altimétrica da bacia é de 885 metros, apresentando cota máxima de 890 metros e mínima de 5 metros, de acordo com a Figura 1.1.7, a partir da qual é possível se observar que aproximadamente 70% das áreas da bacia possuem elevações inferiores a 350 metros.

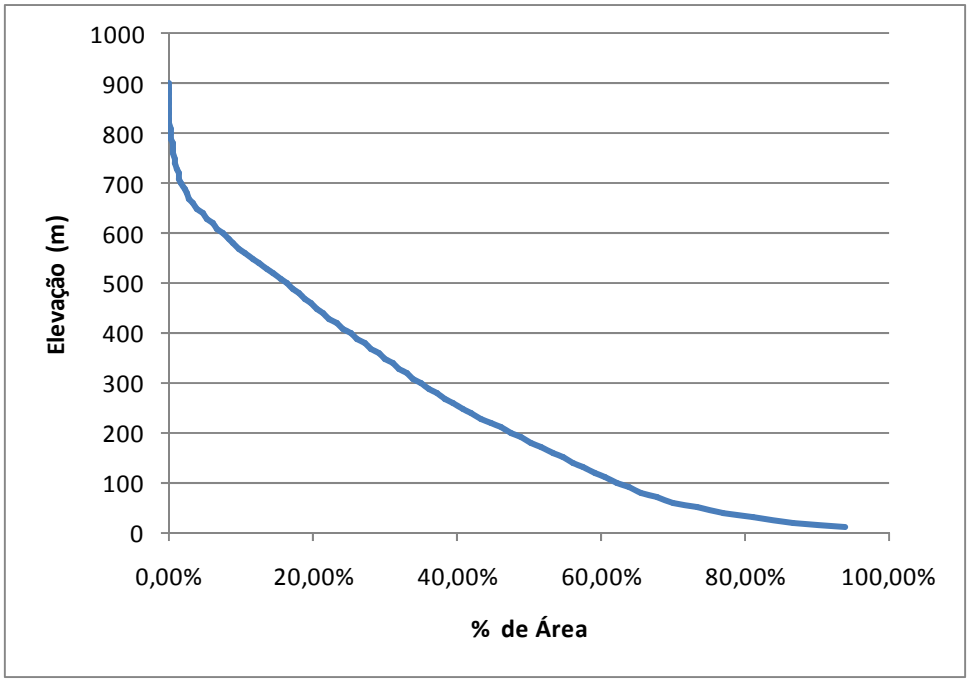


Figura 1.1.7. Curva hipsométrica da Bacia do Rio Jacarandá

Nas regiões próximas ao exutório da bacia, baixas declividades (entre 0% e 3%) promovem a formação de várzeas. Ainda, mais de 50% da bacia apresenta relevo variando entre ondulado e montanhoso, distribuídos uniformemente em toda a bacia, como se pode observar a partir da Tabela 1.1.5 e Figura 1.1.8.

Tabela 1.1.5. Características do relevo na Bacia do Rio Jacarandá

Classe de Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	% da Área
0-3	Várzea	23,49	12,78
3-6	Plano a Suave Ondulado	18,30	9,96
6-12	Suavemente Ondulado a Ondulado	40,94	22,28
12-20	Ondulado a Fortemente Ondulado	53,28	28,99
20-40	Fortemente Ondulado a Montanhoso	47,24	25,70
>40	Montanhoso	0,54	0,29

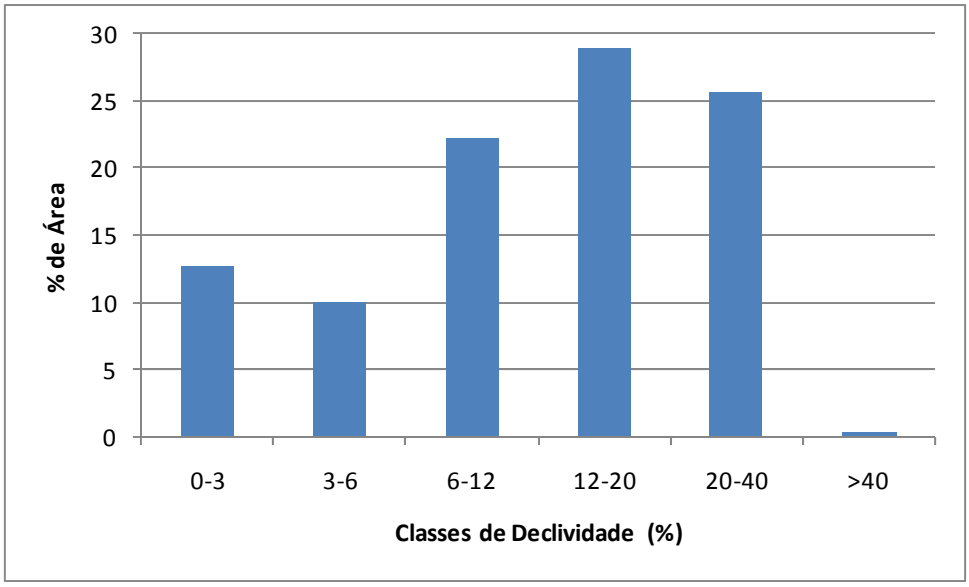


Figura 1.1.8. Histograma de declividades da Bacia do Rio Jacarandá

1.1.3. Bacia do Ribeirão Santo Agostinho

Drenando uma área de aproximada de 76km², o que representa em torno de 3,75% da Bacia do Rio Jucu, a Bacia do Ribeirão Santo Agostinho compreende uma rede de drenagem de quase 155 km, possuindo uma densidade de drenagem de 2,02 km/km².

Quanto à hipsometria, aproximadamente 65% da área da bacia possuem elevação inferior a 200 metros. A cota mais elevada chega a 780 metros, enquanto que o ponto mais baixo possui cota em torno de 5 metros, conforme Figura 1.1.9.

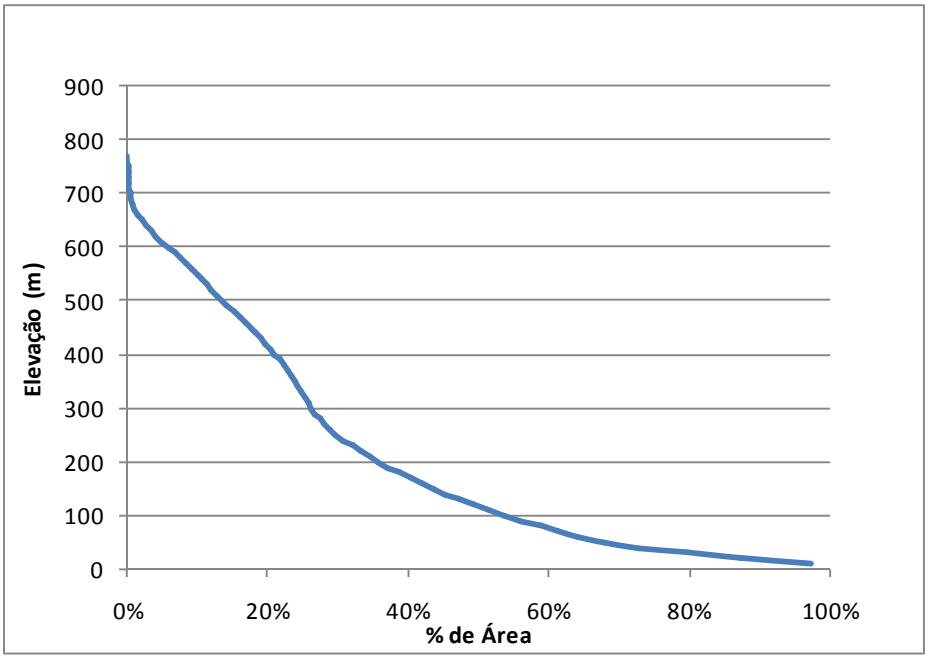


Figura 1.1.9. Curva hipsometrica da Bacia do Ribeirão Santo Agostinho

Na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Agostinho, há o predomínio de relevos que variam entre o ondulado e o montanhoso (vide tabela 1.1.6 e Figura 1.1.10), compreendendo mais de 50% da área total da bacia e ocorrendo com maior freqüência nas regiões próximas à jusante da bacia.

Devido à presença de relevos planos e típicos de várzea, há a formação de áreas de inundação próximas ao exutório da bacia. Não obstante, uma considerável área (cerca de 20%), formada por relevos suavemente ondulados a ondulados, apresenta-se como regiões de transição entre os terrenos planos e os mais acidentados.

Tabela 1.1.6. Características do relevo na Bacia do Ribeirão Santo Agostinho

Classe de Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	% da Área
0-3	Várzea	8,54	11,30
3-6	Plano a Suave Ondulado	8,59	11,36
6-12	Suavemente Ondulado a Ondulado	19,32	25,55
12-20	Ondulado a Fortemente Ondulado	22,91	30,30
20-40	Fortemente Ondulado a Montanhoso	16,04	21,21
>40	Montanhoso	0,21	0,28

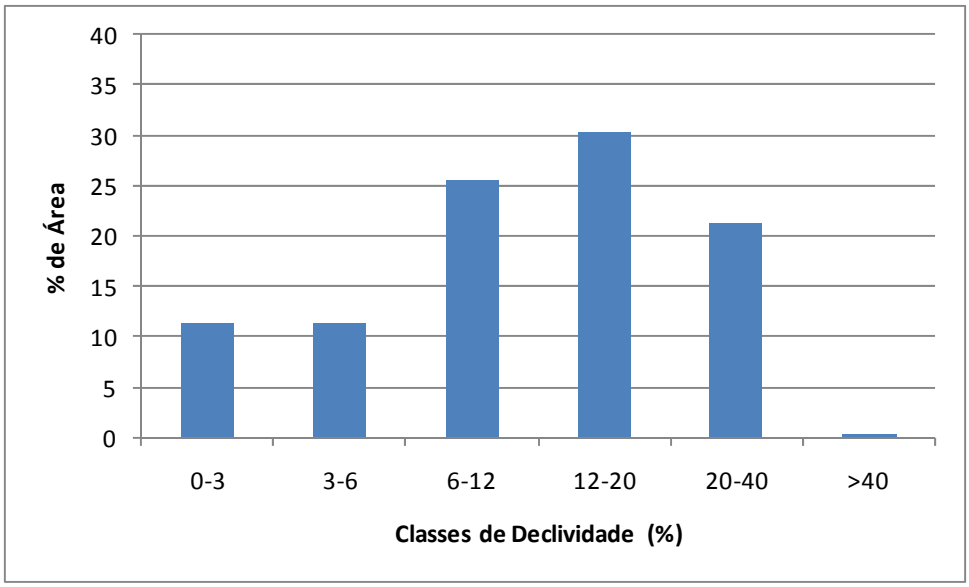


Figura 1.1.10. Curva hipsometrica da Bacia do Ribeirão Santo Agostinho

1.1.4. Bacia Incremental Inferior do Rio Jucu

Como mencionado anteriormente, a Bacia Incremental Inferior do Rio Jucu é constituída pela sub-bacia compreendida entre Pedra Mulata e a BR-101, a Bacia do Baixo Jucu, a Bacia do Canal Camboapina, a Bacia do Canal Guaranhuns e a Bacia do Rio Congo. Estas áreas apresentam fortes semelhanças, o que permite uma melhor abordagem de suas características se as considerarmos como uma única área.

No que concerne à hipsometria, as sub-bacias contempladas neste item apresentam amplitude altimétrica de 265 metros, tendo elevações máximas e mínimas da ordem de 265 metros e -2 metros respectivamente, conforme Figura 1.1.11.

As maiores altitudes ocorrem na sub-bacia Pedra Mulata / BR-101, onde a elevação máxima atinge a 265 metros.

As áreas da Bacia Incremental Inferior do Rio Jucu são caracterizadas por um relevo de contornos suaves e baixas elevações, o que propicia a ocorrência de amplas áreas alagadas.

A área associada às planícies de inundação (áreas com elevação entre 5 m e -2 metros e declividades menores a 3%) atinge cerca de 88 km²(60 % da região) com importantes parcelas em áreas urbanas.

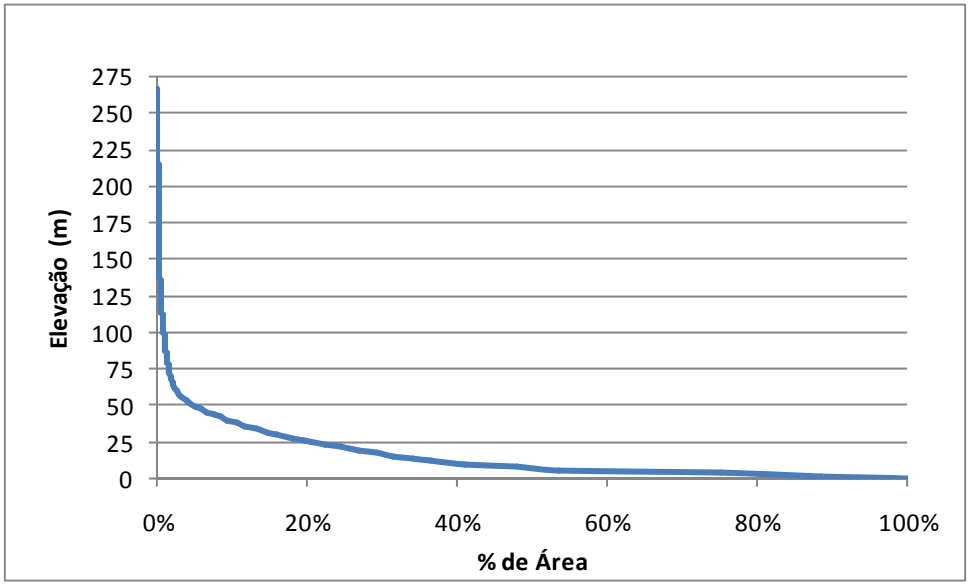


Figura 1.1.11. Curva hipsométrica da bacia incremental inferior do Rio Jucu

A Tabela 1.1.7 e a Figura 1.1.12 apresentam as classes de declividades para as sub-bacias contempladas neste item.

Tabela 1.1.7. Características do relevo da Bacia Incremental do Rio Jucu

Classe de Declividade (%)	Relevo	Área	Canal Guaranhuns	Rio Congo	Rio Camboapina	Bacia do Baixo Jucu	Sub-bacia Pedra Mulata/BR-101	Totais
0-3	Várzea	% de Área	94,57	51,68	72,81	57,30	50,81	61,44
		Area (km²)	13,35	15,52	14,41	39,57	5,45	88,30
3-6	Plano a Suave Ondulado	% de Área	2,98	12,17	6,84	10,29	14,60	9,81
		Area (km²)	0,42	3,65	1,35	7,11	1,57	14,10
6-12	Suavemente Ondulado a Ondulado	% de Área	1,78	19,12	8,56	17,42	21,08	15,29
		Area (km²)	0,25	5,74	1,69	12,03	2,26	21,98
12-20	Ondulado a Fortemente Ondulado	% de Área	0,52	14,75	8,21	10,93	11,16	10,35
		Area (km²)	0,07	4,43	1,62	7,55	1,20	14,88
20-40	Fortemente Ondulado a Montanhoso	% de Área	0,14	2,28	3,57	4,04	2,34	3,10
		Area (km²)	0,02	0,68	0,71	2,79	0,25	4,45
>40	Montanhoso	% de Área	-	-	0,00	0,02	-	0,01
		Area (km²)	-	-	0,00	0,01	-	0,01

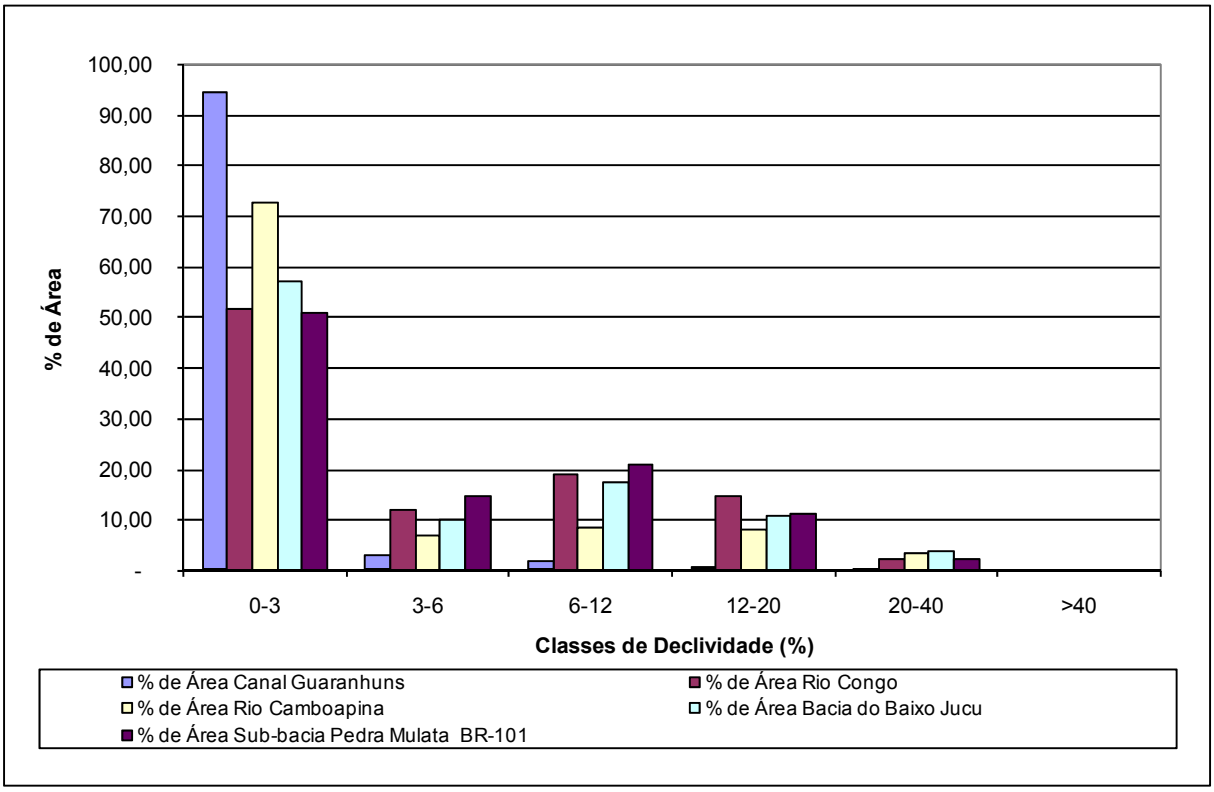


Figura 1.1.12. Curva hipsométrica das demais sub-bacias da Bacia do Rio Jucu

1.2. Bacia do Rio Formate

Na vizinhança da região de Caçaroca (Cariacica) o Rio Formate se unia naturalmente ao rio Jucu. Porém, os jesuítas construíram um canal artificial no século XIX para transporte fluvial de mercadorias até a Baía de Vitória, ligando o Rio Jucu ao Rio Marinho e forçando este tributário a desaguar no Rio Marinho, o qual, a rigor, era um modesto braço de manguezal que conectava alguns córregos à Baia de Vitória.

No século XX outras intervenções reforçaram a afluência do Rio Formate ao Rio Marinho.

Desta forma, o Rio Formate, tratado aqui de forma separada se comporta a maioria do tempo como tributário do Rio Marinho, mas em condições excepcionais de cheias drena indistintamente para o Rio Jucu ou Marinho dependendo das condições hidrodinâmicas imperantes na área da Caçaroca, sobre tudo nos trecho de denominados Braço Morto do Jucu e Canal dos Jesuítas.

A área drenada é de aproximadamente 101 km², apresentando suas cabeceiras no limite oeste de Cariacica com o município vizinho de Viana. Este rio representa o limite territorial entre os dois municípios citados.

A nascente do Rio Formate localiza-se nas proximidades da Reserva Florestal de Duas Bocas, donde escoa em sentido predominantemente Norte-Sul percorrendo uma extensão de mais de 6,2 km até as proximidades da localidade homônima, no sopé oeste da Serra Pé de Urubu. A partir daí, passa a escoar por outros 12,0 km, aproximadamente, em sentido predominantemente Oeste-Leste até a área urbana de Cariacica, nas proximidades do Morro do Pico. A partir deste ponto, o Rio Formate passa a escoar pela zona urbana da cidade em sentido predominante Noroeste-Sudeste até desaguar no Rio Marinho, perfazendo uma extensão total de escoamento, desde sua nascente, de cerca de 30 km.

A rede de drenagem que escoa pela bacia do Rio Formate apresenta uma extensão total de cerca de 200 km. A bacia do Rio Formate apresenta coeficiente de compacidade (CC) igual a 2,1 e fator de forma (FF) igual a 0,09 e tempo de concentração (Tc) estimado pela metodologia de Kirpich é de 7 horas, aproximadamente, sendo que o regime de escoamento pode ser caracterizado por fortes enxurradas formadas na porção média-alta da bacia, em decorrência da

morfologia do terreno, constituído de fortes declividades e desníveis de mais de 700 m (vide figuras 1.2.1, 1.2.2), e que se estendem desde suas cabeceiras (alta bacia) até a região da bacia próxima ao encontro do Rio Formate com o Córrego Roda d'Água (média bacia).

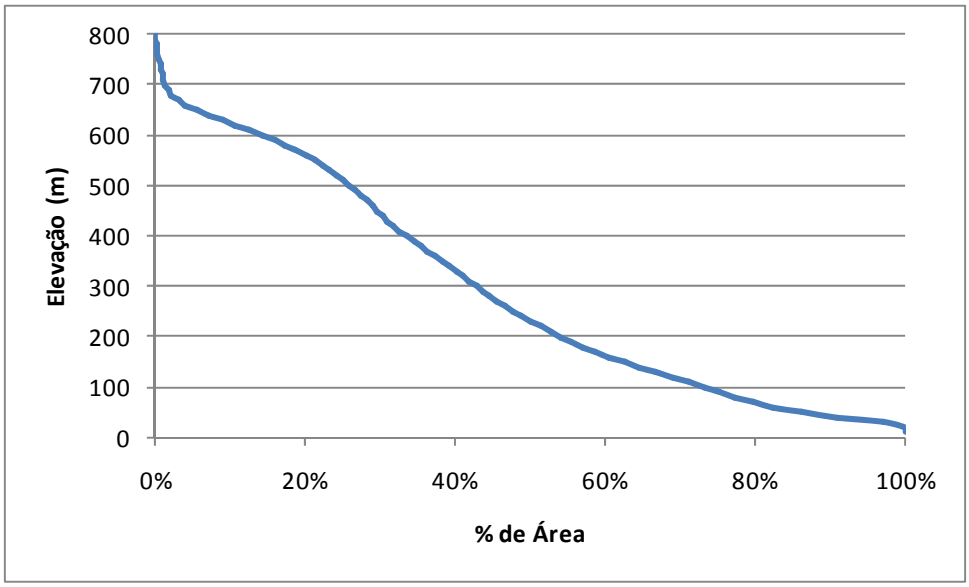


Figura 1.2.1. Curva hipsométrica da alta bacia do Rio Formate.

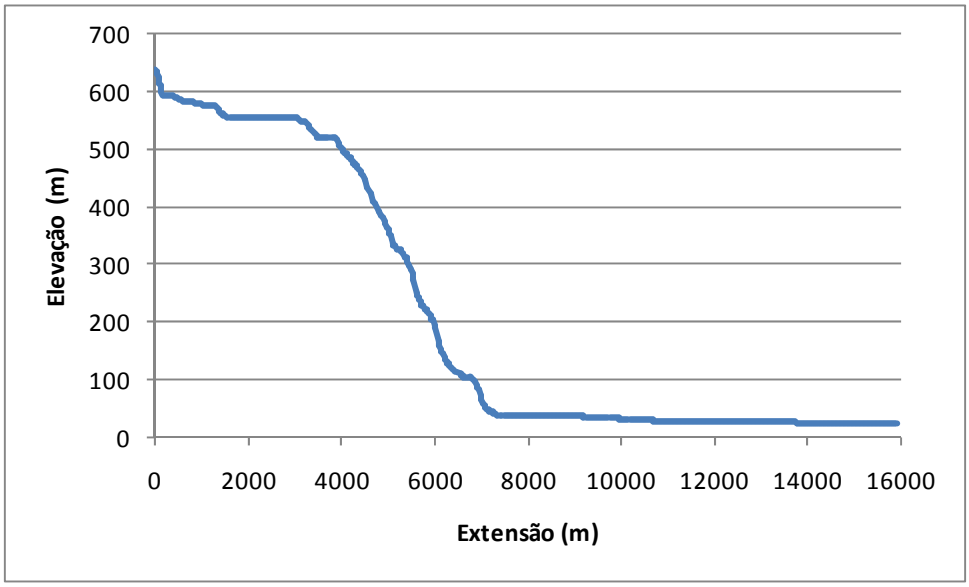


Figura 1.2.2. Perfil Longitudinal do Rio Formate na sua alta bacia.

A partir da Figura 1.2.3 pode-se observar que na alta bacia do Rio Formate, aproximadamente 55% da área é constituída de relevos que variam entre o ondulado e o montanhoso (declividades entre 12% e 40%), ocorrendo principalmente nas regiões que

delimitam a bacia, havendo uma região de transição de terrenos suaves (declividades entre 6% e 12%) entre as áreas de declividade acentuada e áreas planas.

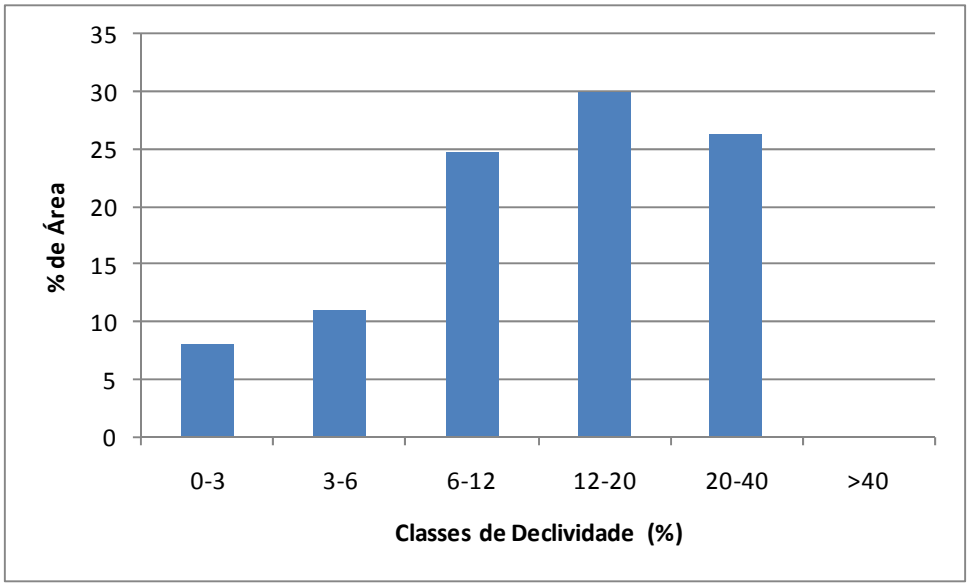


Figura 1.2.3. Histograma de declividades da alta bacia do Rio Formate.

A partir da média bacia do Rio Formate, a conformação do terreno torna-se mais suave, conforme figuras 1.2.4 e 1.2.5, formando uma várzea (baixa bacia) na qual se encontra parte da zona urbana de Cariacica, sujeita as fortes enxurradas que descem das serras pouco tempo após a ocorrência de chuvas intensas e que, ao alcançarem esta região de várzea, provocam uma rápida elevação do nível d'água no Rio Formate e a conseqüente inundação de vários bairros de Cariacica, podendo-se citar: Chácara Rio Bonito, Flor de Piranema, Residencial Horizonte, Chácara Beira Rio, Beira Rio, Cristo Rei, Vila Rica.

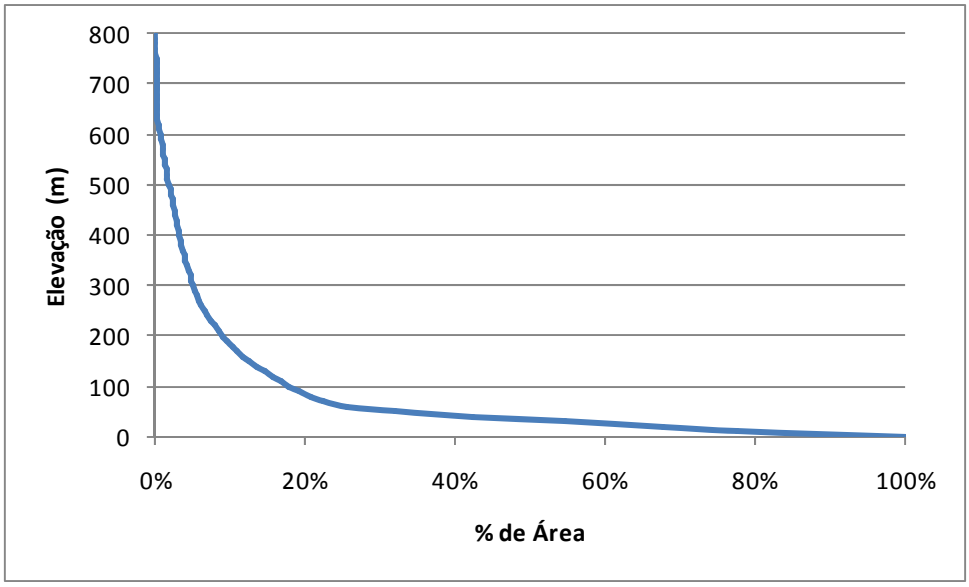


Figura 1.2.4. Curva hipsométrica da Bacia do Rio Formate na sua baixa bacia.

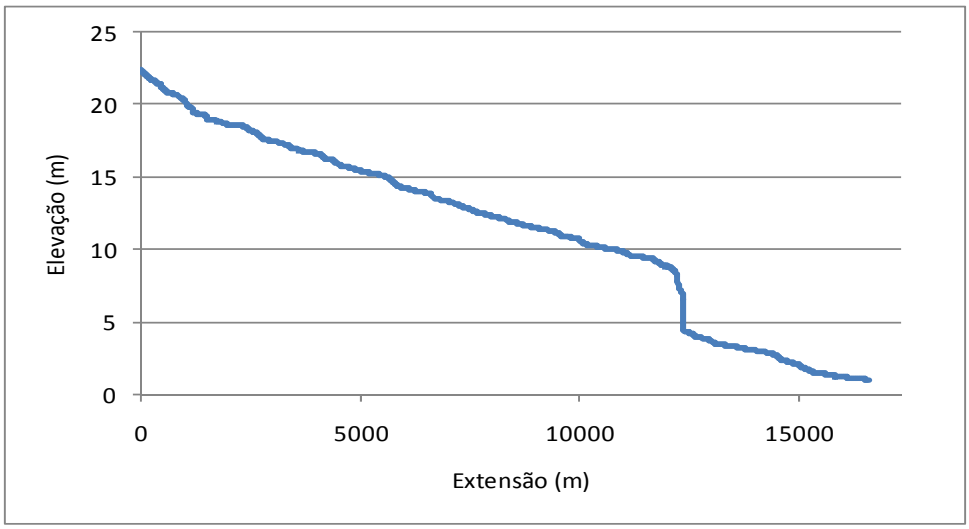


Figura 1.2.5. Perfil Longitudinal do Rio Formate na sua baixa bacia.

Quanto à distribuição das declividades na baixa bacia do Rio Formate, é possível observar, a partir da Figura 1.2.6, que aproximadamente 22% da área da bacia possuem baixas declividades (entre 0% e 3%). Estas áreas são predominantes nas regiões próximas aos leitos fluviais, havendo formação de várzeas. Ainda, cerca de 40% da área da bacia apresenta relevo plano a ondulado (declividades entre 3% e 12%), representando zonas de transição entre as áreas planas e as mais acidentadas.

Áreas de relevo variando entre o ondulado e o fortemente ondulado (declividade entre 12% e 20%) se encontram distribuídas uniformemente em toda a bacia, representando em torno de 23% da área desta, enquanto que relevos que

variam entre o fortemente ondulado ao montanhoso (declividades entre 20% e 40%) se concentram nas regiões que delimitam a bacia, totalizando aproximadamente 12% da área.

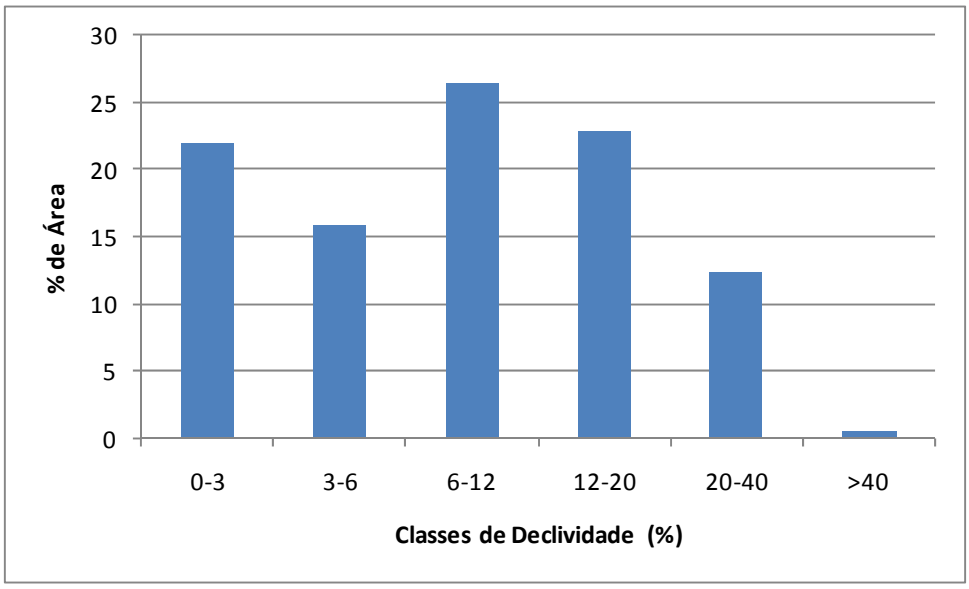


Figura 1.2.6. Histograma de declividades da baixa bacia do Rio Formate.

Dentre os afluentes do Rio Formate, o Córrego Roda d'Água é o principal corpo d'água da margem esquerda, responsável por drenar uma área de pouco mais de 10 km² (10% da bacia toda do Rio Formate), estendendo-se por mais de 7 km, desde suas cabeceiras situadas ao leste da localidade de Trincheira (em altitudes de mais de 700 m), até seu deságüe no Rio Formate (em altitudes inferiores aos 30 m).

O Córrego Roda d'Água constitui-se, também, num dos principais responsáveis pela formação das fortes enxurradas que ocorrem da porção média-alta da bacia do Rio Formate e que assolam a área urbana de Cariacica.

Ainda na porção médio-alta da bacia do Rio Formate, escorre pela margem esquerda o Córrego Trincheira, com extensão de mais de 4,5 km e área de drenagem de aproximados 4 km², e o Córrego Jaquitá que escoa pela margem direita por uma extensão de mais de 2,5 km e área de drenagem de aproximados 3 km².

Tanto o Córrego Trincheira como o Jaquitá afluem ao Rio Formate à montante do seu encontro com o Córrego Roda d'Água.

Na porção médio-baixa da bacia do Rio Formate destaca-se o Córrego Montanha, que drena uma bacia de mais de 12 km² e estende-se por mais de 5 km

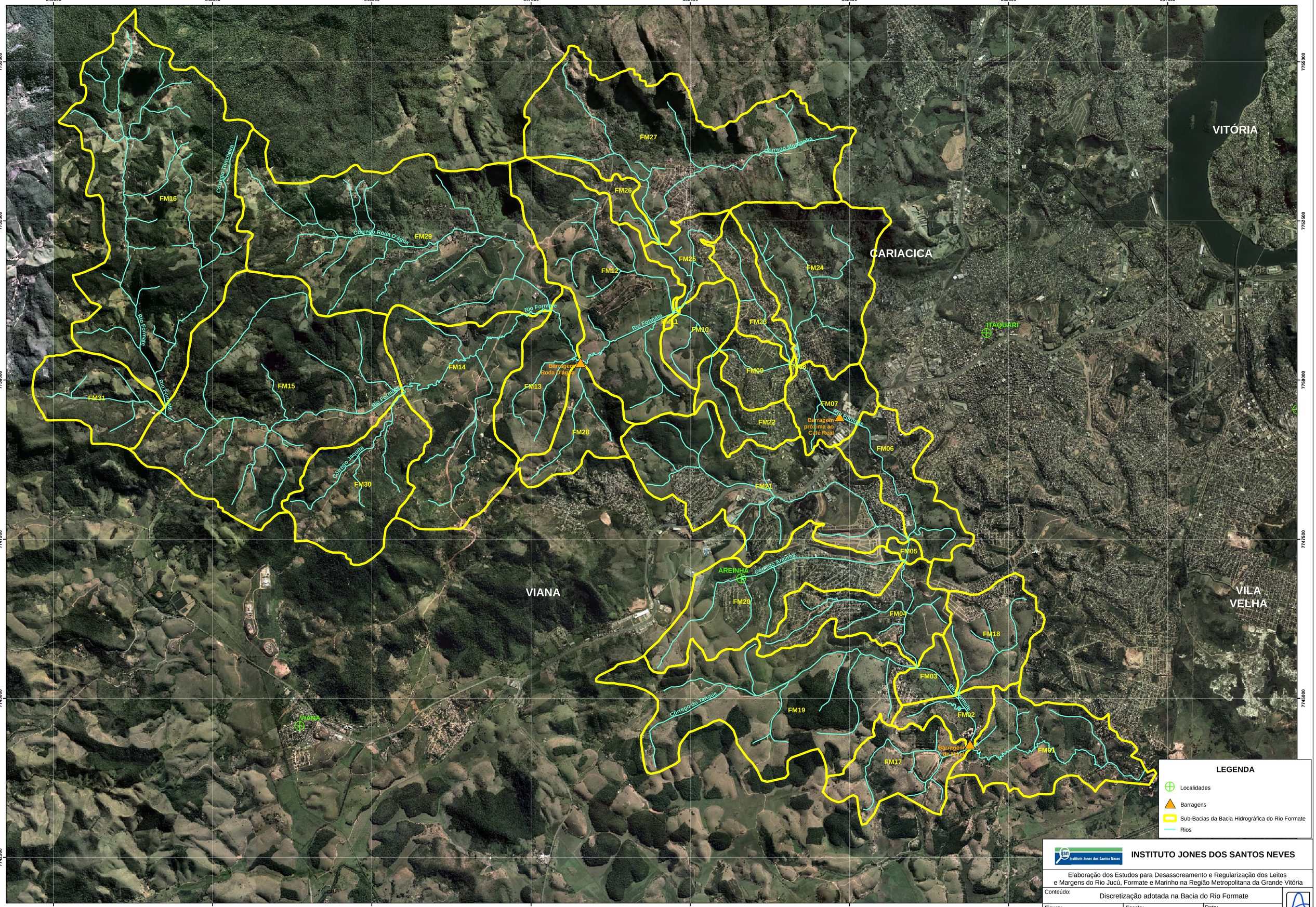
desde sua nascente, entre a Serra do Anil e a Serra Monchuara, até seu deságüe no Rio Formate.

Por fim, na porção baixa da bacia, já próximo ao deságüe do Rio Formate no Rio Marinho, dois afluentes se destacam na margem direita, quais sejam: Córrego Areinha, que drena uma área de pouco mais de 3 km² e estende-se por quase 5,0 km desde sua nascente até o encontro com o Rio Formate; Córrego do Tanque, que drena uma área de quase 6 km² e percorre uma extensão de mais de 5,0 km.

A bacia do Rio Formate foi dividida em 31 sub-bacias. Esta divisão, juntamente com a rede de drenagem e elementos da malha urbana, pode ser visto no mapa em escala 1:25.000 da Figura 1.2.7. Já a Tabela 1.2.1 mostra os parâmetros físicos de cada uma destas sub-bacias.

Tabela 1.2.1. Parâmetros físicos da bacia do Rio Formate

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	76.119
Área Total (m²)	100.436.025
Comprimento do Rio Formate (m)	32.300
Cota Montante Rio Formate (m)	640,00
Cota Jusante Rio Formate (m)	1,00
Coeficiente Compacidade	2,142
Fator De Forma	0,096
Declividade Média (%)	12,06
Tempo Concentração - Tc, Kirpich	7h:02min



INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Conteúdo: Discretização adotada na Bacia do Rio Formate

Figura: 1.2.7. | Escala: 1/25.000 | Data: Dezembro/2008

As fotografias a seguir mostram problemas encontrados nos trechos urbanos do Rio Formate.

Ocupação irregular das margens do Rio Formate

Vão sob ponte no Bairro Beira Rio necessitando limpeza e desobstrução

Leito estreito com margens ocupada, na vizinhança das Fábricas Braspérola e Real Café

Barragem de nível da Fábrica Braspérola

Vista do boqueirão vizinho à confluência com o Córrego Roda d'Água

1.3. Bacia do Rio Marinho

O Rio Marinho representa o limite territorial entre os Municípios de Cariacica e Vila Velha, escoando em sentido sul-norte até desaguar na Baia de Vitória.

Na década de 50, do século passado, a CESAN - Companhia Espírito Santense de saneamento construiu o Canal Marinho, com o objetivo de servir de canal de tratamento auxiliar e tomada de captação para sistema de abastecimento de água para a grande Vitória.

Em 1977, o canal foi desativado pela CESAN e passou a ser o principal curso d'água da bacia, superando inclusive o próprio Rio Marinho que se encontra hoje muito assoreado e com importantes obstruções. Grande parte do curso do Rio/Canal Marinho sofre penetração da maré.

Atualmente, tanto o Rio Marinho quanto o Canal Marinho sofrem ocupações em suas margens e leito e em toda a sua extensão pode ser considerado impróprio para abastecimento e sem condição de vida aquática devido à carga de poluição doméstica e industrial recebida pelos rios Formate e Campo Grande e pelos efluentes diretos dos bairros Caçaroca, Bela Aurora, Jardim de Alá e Jardim América.

Na margem direita do Rio Marinho se localiza um canal denominado vala Marinho que se encontra atualmente desconectado do Canal Marinho e com previsão de construir um sistema de comportas automáticas que só permitiriam a conexão da Vala Marinho com o Canal quando os níveis deste último sehajm inferiores.

A delimitação de bacias nesta área é uma tarefa muito complexa, haja vista que e essa mesma vala que se conecta esporadicamente com o Canal Marinho corta a cidade de Vila Velha e se ao Rio Aribiri, que por sua vez deságua na Baia de Vitória em local diferente do Rio Marinho.

Assim, na margem direita do Rio Marinho não há uma delimitação de bacia hidrográfica bem definida, uma vez que o comportamento e sentido do fluxo é função da magnitude do escoamento e da dinâmica da maré, podendo as vazões geradas na margem direita do Rio Marinho, em território da cidade de Vila Velha ora escoarem em direção ao Rio Aribiri, ora em direção ao Rio Marinho.

O comportamento dos escoamentos nesta bacia deve-se à conformação suave do terreno da bacia. A Figura 1.3.1 apresenta o perfil longitudinal do Rio Marinho, onde é possível observar que este rio não supera os 5 metros de desnível total, sendo a metade deste desnível em páreas de influência de marés.

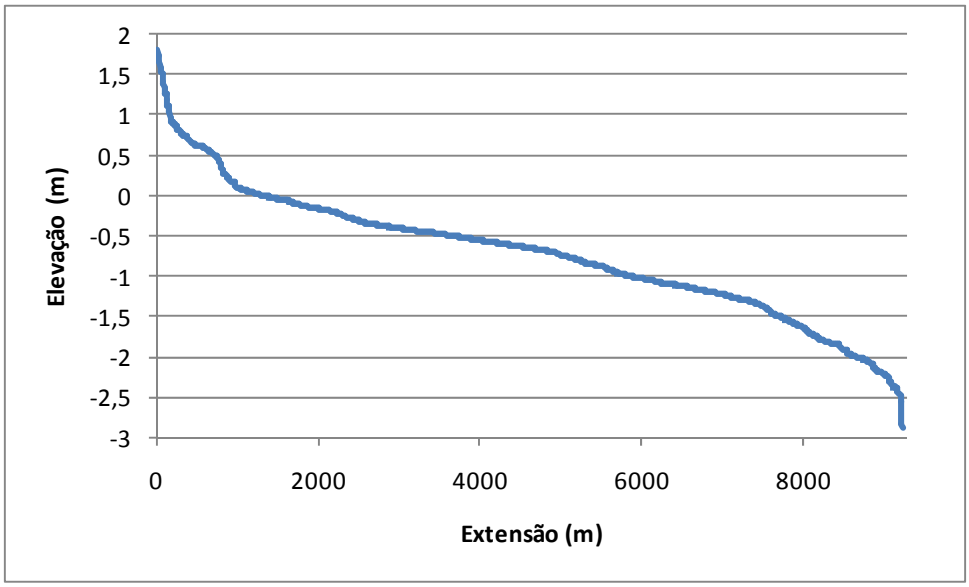


Figura 1.3.1. Perfil Longitudinal do Rio Marinho

Já no Município de Cariacica, alguns afluentes da margem esquerda do Rio Marinho drenam, sobremaneira, as áreas urbanas deste município.

A Bacia do Rio Marinho foi subdividida em quatro sub-bacias: Margem Direita, Córrego Campo Grande, Margem Esquerda ao Norte do Córrego Campo Grande e Margem Esquerda ao Sul do Córrego Campo. A Figura 1.3.2 apresenta as quatro sub-bacias do Rio Marinho, bem como a discretização destas. A seguir, serão comentadas a características de cada uma das quatro sub-bacias do Rio Marinho.

1.3.1. Margem Esquerda do Rio Marinho ao Norte do Córrego Campo Grande

O comprimento total da rede de drenagem dos afluentes esquerdos do Rio Marinho Norte, cuja bacia drena aproximadamente uma área de 6,0 Km², soma quase 14 km de extensão, dos quais mais de 9 km escoam na área urbana de Cariacica. Isto mostra o caráter urbano das bacias hidrográficas dos tributários da margem esquerda do Rio Marinho Norte, uma vez que mais de 80% da sub-bacia está localizada dentro da Cidade de Cariacica.

Dentre os bairros cortados pela rede de drenagem do Rio Marinho Norte, pode-se citar: Alto da Boa Vista, Itaquari, Morro da Companhia, Jardim América, Vasco da Gama, e outros.

Os parâmetros físicos da bacia do Rio Marinho Norte apresentam coeficiente de compacidade (CC) igual a 1,74, fator de forma (FF) aproximadamente 0,05, tempo de concentração (Tc) estimado pela metodologia de Kirpich de 4hs. e declividade média 6,6% (vide Tabela 1.3.1). A Figura 1.3.3 apresenta o histograma de declividades na bacia estudada, através do qual se pode verificar que aproximadamente metade da área da bacia possui declividades típicas de várzeas (declividades entre 0% e 3%).

Tabela 1.3.1. Parâmetros físicos da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	15.245
Área Total (m²)	6.143.409
Comprimento do Rio Prioncipal (m)	2.401
Cota Montante Rio Principal (m)	1,10
Cota Jusante Rio Principal (m)	0,80
Coeficiente Compacidade	1,735
Fator De Forma	1,066
Declividade Média (%)	6,59
Tempo Concentração - Tc, Kirpich (hs.)	4,15

352000 353000 354000 355000 356000 357000 358000 359000

7754000 7753000 7752000 7751000 7750000 7749000 7748000 7747000 7746000 7745000 7744000 7743000

VITÓRIA

CARIACICA

VILA VELHA

VIANA

MEN01 MEN02 MEN03 MEN04 MEN05

MD01 MD02 MD03

CG01 CG02 CG03 CG04 CG05 CG06 CG07 CG08 CG09 CG10 CG11 CG12 CG13-1 CG13-2 CG13-3 CG14-1 CG14-2 CG15 CG16 CG17 CG18 CG19 CG20 CG21 CG22 CG23 CG24 CG25 CG26 CG27 CG28

MES01 MES02 MES03

ITAQUARI

SÃO TORQUATO

Córrego Campo Grande

Córrego Campo Grande

Vala de Goiabeiras

Vala do Rio Marinho

Rio Marinho

LEGENDA

- Localidades
- Rios

Sub-Bacias do Rio Marinho

- Campo Grande
- Marinho Margem Direita
- Marinho Margem Esquerda Norte
- Marinho Margem Esquerda Sul

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Conteúdo: Discretização adotada para a Bacia do Rio Marinho

Figura: 1.3.2 | Escala: 1/25.000 | Data: Dezembro/2008

AQUATOOL

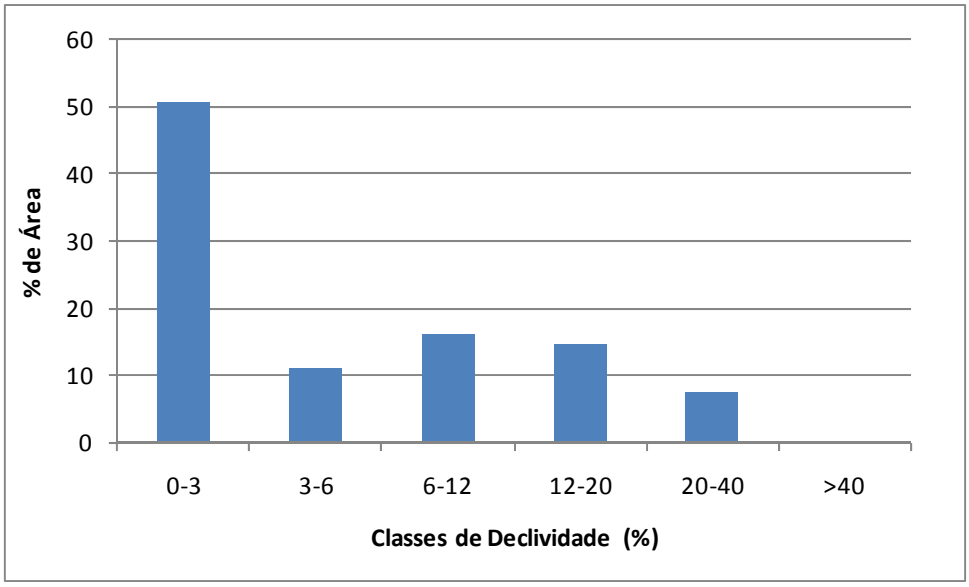


Figura 1.3.3. Histograma das declividades da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande

No que concerne à hipsometria, aproximadamente 85% da área da bacia Margem Direita Norte do Rio Marinho se encontra abaixo da cota 40, apresentando uma variação hipsométrica de aproximadamente 100 metros, compreendida entre as altitudes 0 e 100 metros com relação ao nível do mar, conforme a Figura 1.3.4.

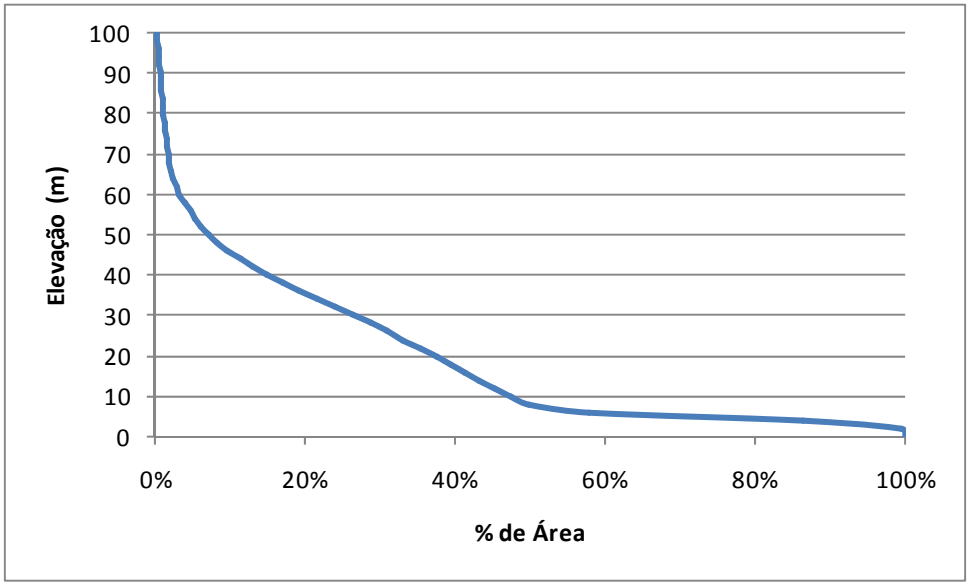


Figura 1.3.4. Curva hipsométrica da bacia do Rio Marinho, localizados ao norte do Córrego Campo Grande.

A sub-bacia do Marinho Margem Esquerda Norte “02” se destaca por apresentar elevada suscetibilidade a inundações, apresentando uma topografia com cotas baixas e declividades reduzidas. Dentre os bairros drenados pela bacia Marinho Margem Esquerda Norte 02, destaca-se o bairro Jardim América, constantemente afetado por problemas de inundações.

As fotografias a seguir mostram problemas encontrados ao longo dos trechos urbanos de tributários da margem esquerda do Rio Marinho ao norte do Córrego Campo Grande e que contribuem para inundações.

Ocupação das margens em cotas baixas e sujeitas a inundações com a elevação natural do nível d’água em época de cheias

Leito do Rio Marinho, praticamente desativado, devido à ocupação por moradias

Calha do Rio Marinho assoreada

Rede de drenagem do bairro Jardim América com crescimento excessivo de vegetação nas margens

Galerias a céu aberto sem proteção no Bairro Jardim América

1.3.2. Margem Esquerda do Rio Marinho Margem ao Sul do Córrego Campo Grande

A área total drenada por esta bacia é de aproximadamente 6 km². O comprimento total da rede de drenagem soma quase 12 km de extensão, dos quais 7,5 km encontram-se escoando por áreas urbanas de Cariacica.

A bacia do Marinho Margem Esquerda Sul é predominantemente urbana, onde 96% das áreas drenadas pertencentes à zona urbana de Cariacica. Esta bacia apresenta coeficiente de compacidade (CC) 1,37, fator de forma (FF) de 0,49, tempo de concentração (Tc) estimado pela metodologia de Kirpich de 1hs15min e declividade média de 7,8%, como podemos observar a partir da Tabela 1.3.2.

Tabela 1.3.2. Parâmetros físicos da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	11.902
Área Total (m²)	5.938.425
Comprimento do Rio Prioncipal (m)	3.160
Cota Montante Rio Principal (m)	17,00
Cota Jusante Rio Principal (m)	1,10
Coeficiente Compacidade	1,377
Fator De Forma	0,595
Declividade Média (%)	7,82
Tempo Concentração - Tc, Kirpich	1hs:15min

A Figura 1.3.5 ilustra-se o histograma de declividades da bacia, através do qual é possível observar que cerca de 50% desta bacia possui declividades entre 0% e 6%, declividades estas características de relevam que variam entre várzeas e o suavemente plano.

Quanto à hipsometria, a bacia possui amplitude altimétrica de aproximadamente 54 metros, sendo a menor cota -2 metros e a maior 52 metros. Ainda, aproximadamente 65% da área da bacia estão abaixo da cota 30 metros em relação ao nível do mar, conforme Figura 1.3.6.

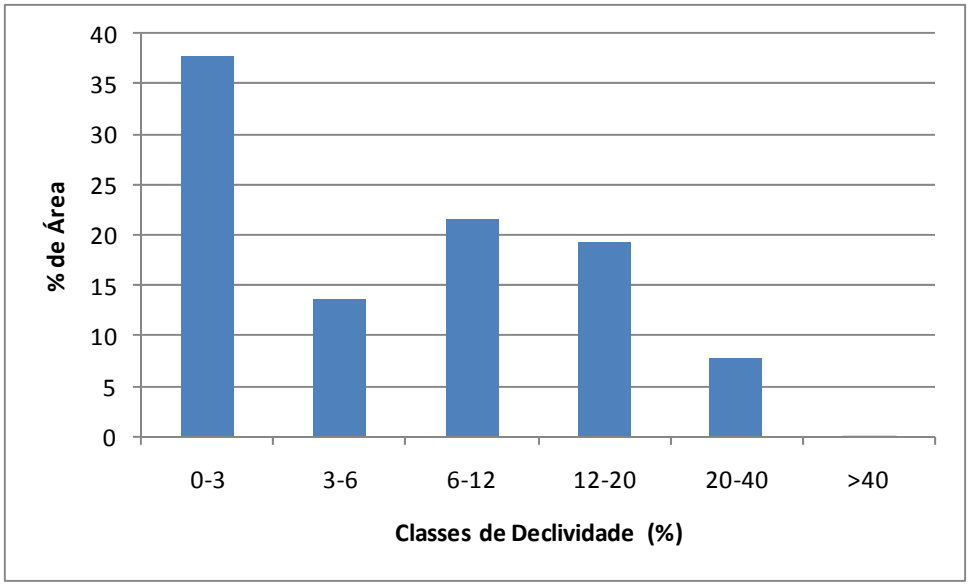


Figura 1.3.5. Histograma das declividades da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande

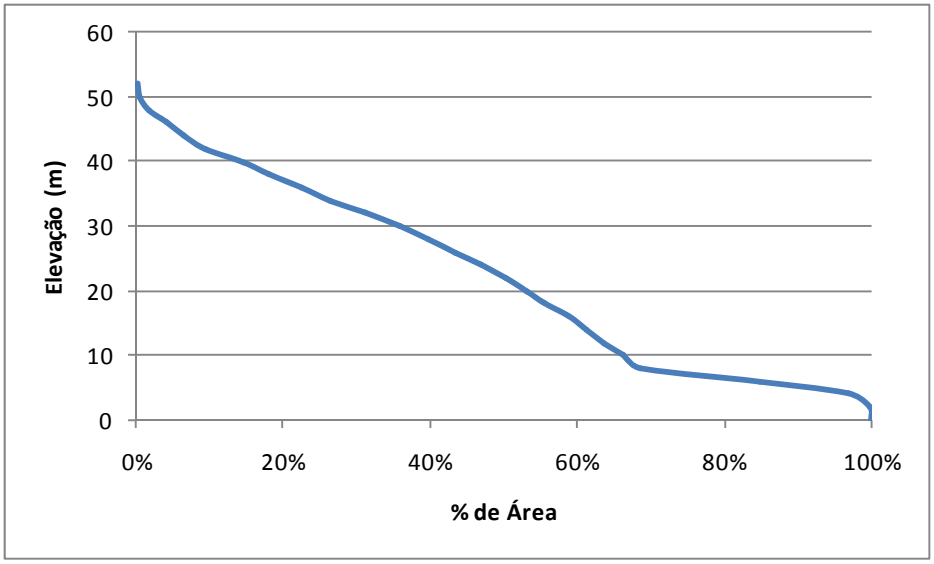


Figura 1.3.6. Curva hipsométrica da bacia do Rio Marinho, localizados ao sul do Córrego Campo Grande

A fotografia a seguir mostra problemas encontrados ao longo dos trechos urbanos do Rio Marinho ao sul do Córrego Campo Grande e que contribuem para inundações.

Leito do Rio Marinho a montante da foz do Córrego
Campo Grande completamente ocupado por macrófitas

1.3.3. Margem Direita do Rio Marinho

A bacia hidrográfica da Margem Direita do Rio Marinho apresenta índices físicos de coeficiente de compacidade (CC) de 4,27, fator de forma (FF) de 0,61, tempo de concentração da bacia (Tc) estimado pela metodologia de Kirpich é de 393min (Tc=6h36min) e declividade média de 4,67%, conforme Tabela 1.3.3.

Tabela 1.3.3. Parâmetros físicos da bacia da Margem Direita do Rio Marinho

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	19.866
Área Total (m²)	1.718.467
Comprimento do Rio Prioncipal (m)	1.676
Cota Montante Rio Principal (m)	5,48
Cota Jusante Rio Principal (m)	2,70
Coeficiente Compacidade	4,274
Fator De Forma	0,612
Declividade Média (%)	4,67
Tempo Concentração - Tc, Kirpich	70 min.

A bacia Margem Direita do Rio Marinho possui uma rede de drenagem com cerca de 3 km que drena em torno de 1,7 km² de área, da qual cerca de 60% possuem declividades entre 0% e 3%, conforme Figura 1.3.7.

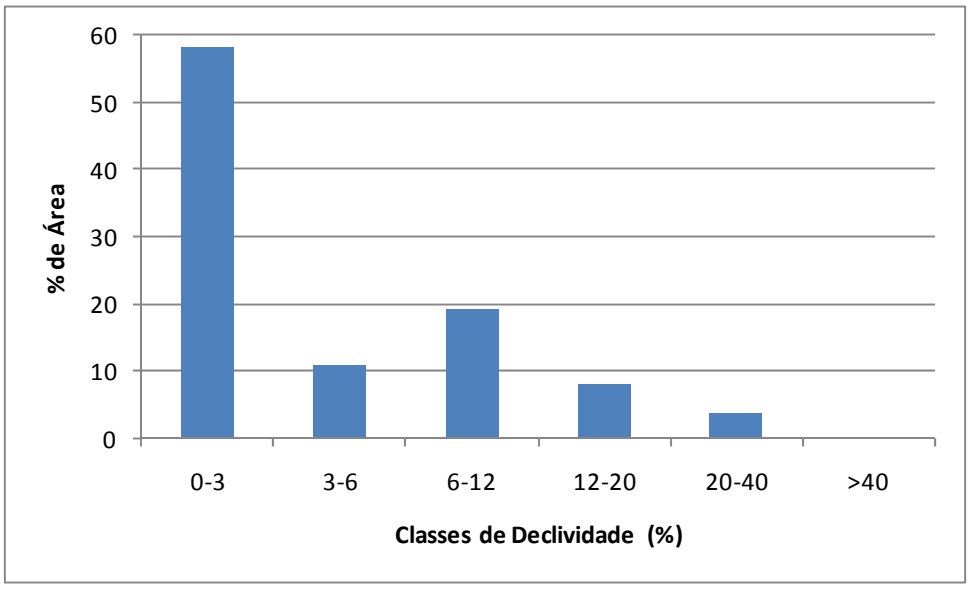


Figura 1.3.7. Histograma de declividades da bacia Margem Direita do Rio Marinho

No que diz respeito à hipsometria, cerca de 90% da área da bacia possui cotas inferiores a 22 metros, apresentando variação hipsométrica de 72 metros, sendo a menor cota próxima a -2 metros e a maior cota em torno de 70 metros, como se pode observar a partir da Figura 1.3.8.

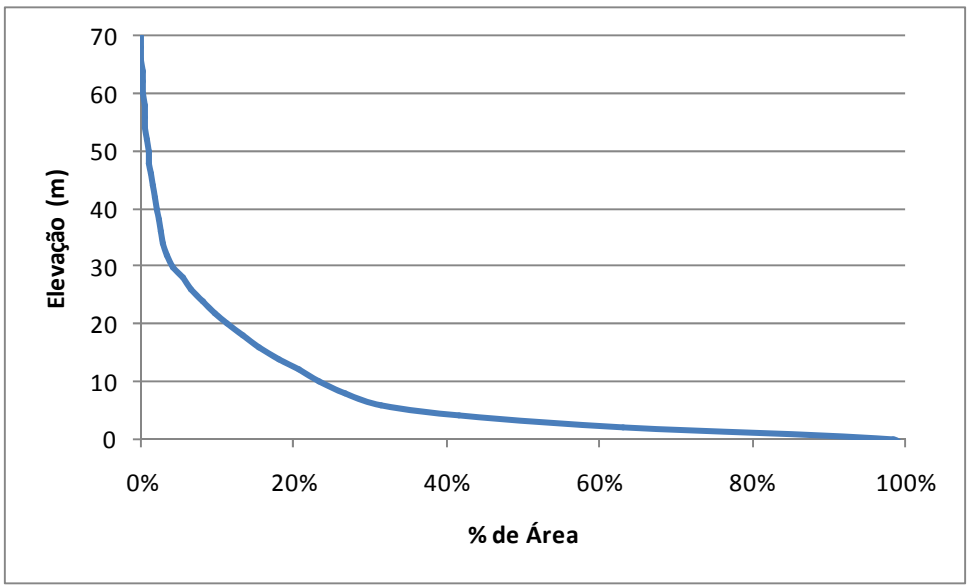


Figura 1.3.8. Curva hipsométrica da bacia Margem Direita do Rio Marinho

1.3.4. Bacia do Córrego Campo Grande

O Córrego Campo Grande situando-se na porção centro-meridional de Cariacica e drena uma área de pouco menos de 14 km² delimitada predominantemente na zona urbana da cidade (apenas pouco mais de 1 km² da bacia do Córrego Campo Grande encontra-se fora da área urbana cariaciquense).

A rede de drenagem principal da Bacia do Córrego Campo Grande totaliza aproximadamente 21,6 km de extensão, sendo que aproximadamente 2/3 destes cursos escoam em áreas urbanas. Já a sua bacia apresenta área da ordem de 14 km² e densidade de drenagem de cerca de 1,60 km/km².

A rede de drenagem presente na bacia do Córrego Campo Grande escoa por diversos bairros do Município de Cariacica, podendo-se citar Cristo Rei, Santo André, Vila Palestina, Estrela do Sul, Tiradentes, São Vicente, Cruzeiro do Sul, São Rafael, Campo Grande, Campina Grande, Santa Bárbara, Morada de Campo Grande, Santa Fé, Campina Verde, Jardim Campo Grande, Residencial Park Balbino, dentre outros, além das áreas de expansão urbana situadas nas adjacências destes.

Os parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Córrego Campo Grande apresentam um coeficiente de compacidade (CC) de 2,24, um fator de forma (FF) de 0,50, uma declividade média de 16%. O tempo de concentração (Tc) estimado pela metodologia de Kirpich para esta bacia é de 132min (Tc=2h12min), conforme Tabela 1.3.4.

Tabela 1.3.4. Parâmetros físicos da bacia do Rio Campo Grande

Parâmetros	Valores
Perímetro (m)	22.203
Área Total (m²)	13.642.805
Comprimento do Rio Prioncipal (m)	6.366
Cota Montante Rio Principal (m)	17,29
Cota Jusante Rio Principal (m)	0,00
Coeficiente Compacidade	2,240
Fator De Forma	0,500
Declividade Média (%)	15,80
Tempo Concentração - Tc, Kirpich	2hs:12min

A partir da Figura 1.3.9, observa-se que a Bacia do Campo Grande apresenta áreas bem distribuídas entres as classes de declividades adotadas, havendo um predomínio de relevos que variam entre o suavemente ondulado a fortemente

ondulado (declividades entre 6% e 20%), que ocorrem de forma uniforme em toda a bacia. Há a ocorrência de várzeas (declividades entre 0% e 3%) que chegam a abranger uma área que excede 3,5 km², concentrando-se nas regiões próximas ao exútorio da bacia e próximas à nascente do Córrego Campo Grande.

A bacia contemplada neste item possui amplitude altimétrica de aproximadamente 200 metros, sendo a cota máxima e a cota mínima da ordem de 200 metros e 0 metro respectivamente. Ainda, cerca de 90% de sua área estão abaixo da cota 50 metros (vide Figura 1.3.10), ocorrendo cotas superiores apenas em regiões localizadas a noroeste e nordeste da bacia.

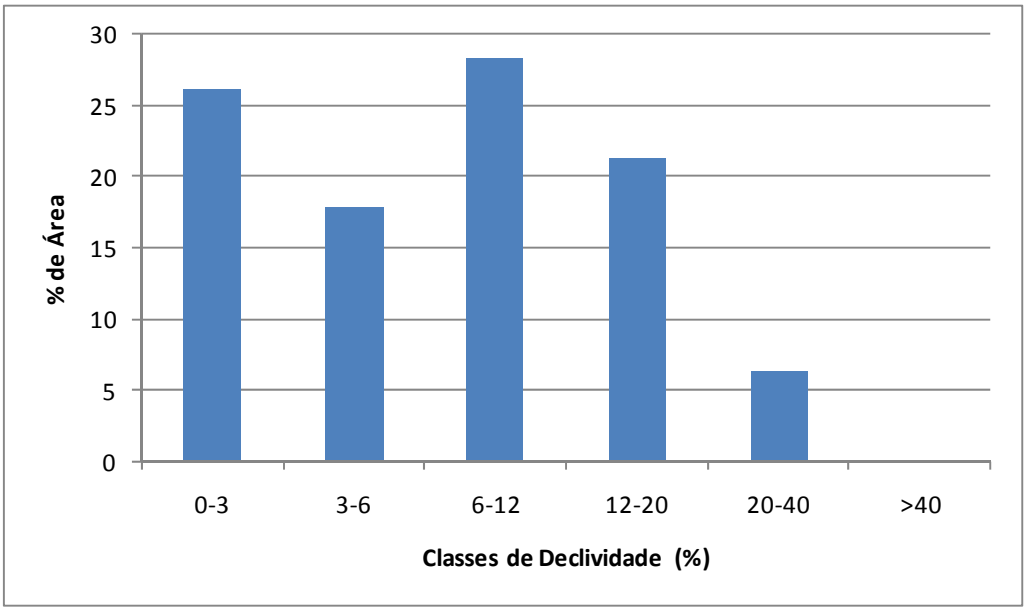


Figura 1.3.9. Histograma de declividades da bacia do Córrego Campo Grande

A bacia do Córrego Campo Grande foi dividida em 30 sub-bacias. Esta divisão, juntamente com a rede de drenagem e elementos da malha urbana, pode ser visto na Figura 1.3.2.

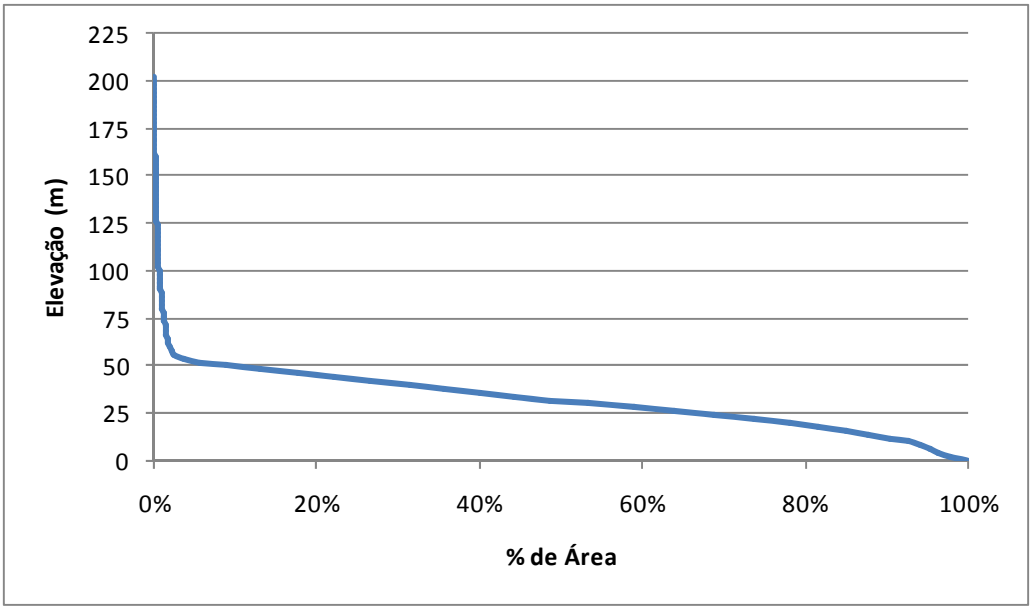


Figura 1.3.10. Curva hipsométrica da bacia do Córrego Campo Grande

Com extensão aproximada de 6 km, o Córrego Campo Grande nasce a uma cota de 17,30 metros acima do nível do mar (vide Figura 1.3.11), próximo a Praça Nísio Cesconeto, e deságua no inicio do Canal Marinho.

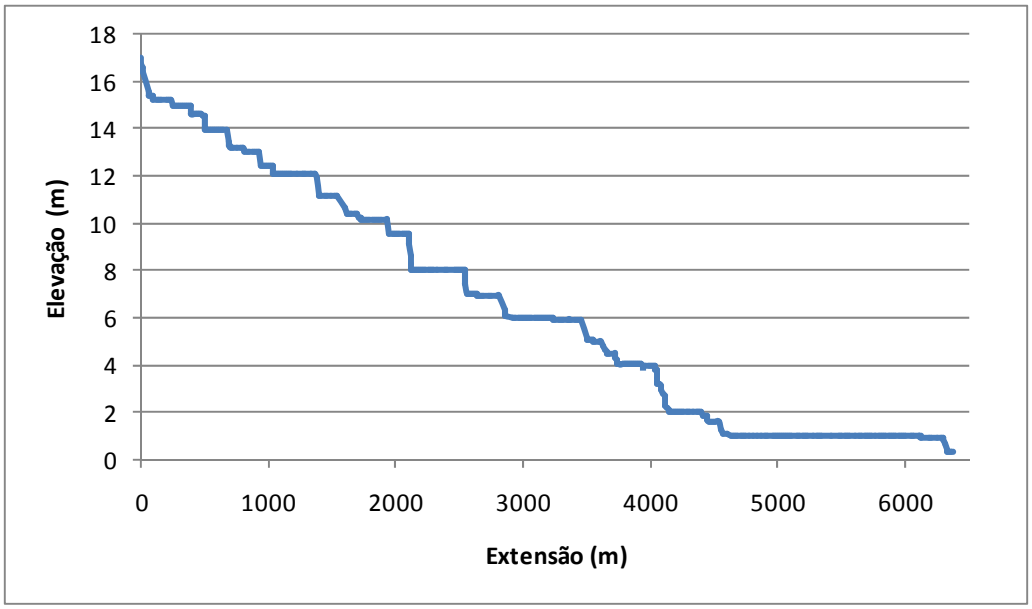


Figura 1.3.11. Perfil longitudinal do Córrego Campo Grande

2. CARACTERIZAÇÃO HIDRO-CLIMÁTICA

2. CARACTERIZAÇÃO HIDRO-CLIMÁTICA

2.1. Aspectos Climáticos

2.1.1. O Clima no Sudeste Brasileiro

Em geral, o clima do Brasil pode ser classificado como equatorial tropical e subtropical, porém, dentro do seu território há muitas diferenças quanto ao clima numa mesma região.

Seu extenso território, a diversidade de formas de relevo, a altitude e a dinâmica das correntes e massas de ar, possibilita uma grande diversidade de variantes climáticas.

Para classificar o clima numa dada região devem ser considerados fatores como temperatura, umidade, dinâmica das massas de ar, pressão atmosférica, correntes marítimas, regime de ventos e características geográficas da região em questão.

Todavia, as classificações climáticas comumente utilizadas baseiam-se na origem, natureza e movimentação das correntes e massas de ar, subdividindo os tipos de climáticos do Brasil em:

- Clima subtropical;
- Clima semi-árido;
- Clima equatorial;
- Clima tropical;
- Clima tropical de altitude;
- Clima tropical atlântico (tropical úmido).

O clima da região sudeste é bastante diversificado no que diz respeito à temperatura, em função de três fatores principais: a posição latitudinal, a topografia acidentada e a influência dos sistemas de circulação instável. Assim, a região Sudeste se inscreve numa faixa de transição entre os climas quentes das baixas latitudes e os climas mesotérmicos das latitudes médias, tendo como características

mais marcantes as oriunda de sua situação tropical, sendo classificada quase em sua totalidade como uma zona climática tropical.

Nas regiões litorâneas predomina o clima tropical úmido, o qual sofre grande influência da umidade vinda do Oceano Atlântico e apresenta temperaturas elevadas no verão e amenas no inverno. As temperaturas médias ficam entre 18º e 26º C, com amplitudes térmicas crescentes à medida que aumenta a latitude.

Nessas áreas é grande a incidência de chuvas, porém com distribuição irregular. Ao sul do estado de São Paulo ocorre um clima denominado subtropical e na região costeira dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e litoral norte de São Paulo ocorre um clima litorâneo úmido, que é uma derivação do clima tropical geral imperante.

Na região sudeste prevalece três tipos de sistemas de circulação instável: correntes de instabilidade do sul, as correntes de instabilidade de oeste e as correntes de instabilidade de leste.

As correntes de instabilidade do sul são representadas pela entrada do anticiclone polar e no verão são responsáveis pela abundante precipitação, principalmente nas áreas serranas e suas proximidades.

As correntes de instabilidade de oeste (instabilidades tropicais) ocorrem principalmente entre a primavera e o outono e são formadas a partir dos avanços das frentes polares que provocam as chuvas de verão, que duram poucos minutos.

As correntes de instabilidade de leste ou ondas de leste podem ocorrer principalmente no inverno. São correntes instáveis que ocorrem na origem dos anticiclones tropicais sob a forma de ondas que se deslocam para oeste e formam chuvas mais ou menos abundantes durante sua passagem.

2.1.2. O Clima no Estado do Espírito Santo

O Estado do Espírito Santo é caracterizado por uma classificação climática fortemente condicionada ao relevo local.

O clima predominante é o tropical de altitude, presente em 60% do Estado, com bruscas alterações climáticas, de verões quentes e invernos amenos.

Climaticamente, as terras capixabas podem ser divididas em terras quentes e terras frias. Nas terras quentes, que ocupam 24% do território espírito-santense, o relevo é bastante plano, o clima é tropical seco e de temperaturas médias anuais superiores à 22°C.

As terras frias ocupam aproximadamente 39% do território do Estado, são muito montanhosas, apresentam temperaturas médias anuais inferiores à 18°C e têm como clima predominante o clima tropical de altitude. Há também uma considerável área de transição de relevo um pouco menos montanhoso, cuja precipitação média anual é pouco inferior à das terras frias.

Na Baixada Espírito-Santense predomina o clima tropical seco, típico do litoral norte do Estado, com chuvas de verão e invernos secos. A temperatura média anual é superior a 22°C, caracterizando-se por temperaturas elevadas durante todo o ano.

A região apresenta uma estação seca pouco pronunciada e possui, durante o mês de março, um dos verões mais quentes de todo o Brasil, com temperaturas médias mensais que variam de 27°C a 30°C, sendo freqüentes registros térmicos próximas dos 40°C em cidades do interior do estado. Porém, no inverno, as temperaturas podem chegar aos 10°C, mesmo ao nível do mar, graças às massas de ar polar que atingem o Estado somente nesta época do ano. No resto da Baixada ocorre o clima tropical chuvoso com estação seca bem definida.

Embora na maior parte do Estado do Espírito Santo a temperatura seja elevada durante todo ano, isto não ocorre na zona serrana, onde o clima é ameno. As isotermas anuais e as chuvas caracterizam-se pelos contrastes condicionados pelo relevo.

O fator estático que influencia diretamente a climatologia da região serrana é a sua posição geográfica, pois a área encontra-se em latitudes tropicais, com o seu relevo escarpado com altitudes que podem ultrapassar os 1.000 metros.

O fator dinâmico (circulações atmosféricas) que atua na região serrana do Espírito Santo é baseado na ação de centros de alta pressão (anticiclônicos) e de baixa pressão (ciclônicos). De um modo geral, os anticiclones são fonte de dispersão de ventos, determinando tempo estável e os ciclones são fonte de atração de vento.

Os municípios da região serrana possuem diferenças em relação ao clima e à morfologia. Na parte leste o clima é mais quente, chove menos e o relevo possui menores altitudes. Já nos municípios da parte oeste, as temperaturas são mais amenas, os índices de pluviometria são maiores e o relevo possui altitudes elevadas.

Na região serrana do sul do estado o clima típico é o tropical de altitude. As temperaturas caem progressivamente à medida que aumentam as altitudes, caracterizando-se por temperaturas mais baixas no inverno, porém notam-se bruscas variações climáticas e quatro estações bem definidas, além de um índice pluviométrico bastante elevado e temperaturas médias anuais que variam de 12°C a 20°C, dependendo da altitude. As chuvas de verão são intensas e no inverno sofrem a influência das massas de ar frias advindas do Oceano Atlântico, podendo apresentar geada.

2.1.3. O Clima na Área de Estudo

A bacia do Rio Jucu localiza suas porções alta e média situadas na região serrana do Estado do Espírito Santo, região onde predomina o clima subtropical de altitude (Cwb, segundo a classificação climática de Köppen), o qual apresenta inverno seco, verão ameno e onde a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22ºC.

No entanto, de forma mais específica, a bacia apresenta climas diferenciados, sendo tropical nas partes baixas e temperado e brando nas partes elevadas. No que diz respeito às chuvas, é semi-úmido nas partes baixas, úmido nas partes médias e semi-úmido nas cabeceiras.

A temperatura média anual diminui de 24ºC na foz até 18ºC nas cabeceiras. Já a umidade relativa aumenta de 80% a 85% e a evaporação anual diminui de 1.000 mm a 800 mm da foz para a nascente.

A época chuvosa ocorre no verão e a estiagem no inverno. Entretanto, nas partes centrais da bacia, que são as mais chuvosas, a estação úmida é bastante acentuada, havendo registros de chuvas em todos os meses.

Devido à morfologia da bacia ser marcada pela existência de serras na porção médio-alta, com fortes declividades dos corpos de drenagem da região, a

resposta das descargas às precipitações é rápida, promovendo escoamentos superficiais que logo atingem o pico, pouco tempo depois de iniciadas as chuvas.

2.1.3.1. Normais climáticas do INMET

Os elementos climáticos são grandezas meteorológicas que transmitem ao meio atmosférico suas propriedades e características peculiares, sendo os principais elementos a temperatura, a umidade, a chuva, o vento, a nebulosidade, a pressão atmosférica e a radiação solar.

Com o intuito de estudar o clima da área em questão, boa parte destes parâmetros foi obtida a partir das informações climáticas da estação meteorológica de Vitória, cujos dados encontram-se disponibilizados na publicação Normais Climatológicas (INMET, 1992), reproduzidos a seguir nas Tabelas 2.1.1 a 2.1.5.

Observa-se que a pressão atmosférica média anual é de 1.015,1 hPa, ficando a temperatura média anual em torno dos 24,2°C, a máxima anual em torno dos 28,5°C e a mínima anual em torno dos 21,3°C. Já a evaporação anual na região de Vitória é, em média, igual a 931,6 mm, sendo que a umidade relativa do ar apresenta uma média anual de 77% e uma cobertura anual de nuvens de 5,0 (numa escala de 0 a 10).

Tabela 2.1.1. Normais Climatológicas (1961-1990) da Pressão Atmosférica na Estação Vitória

Estação Vitória - ES													
Variável	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Anual**
Pressão Atmosférica (hPA)	1014.1	1011.5	1009.5	1008.8	1011.8	1008.7	1009.2	1009.3	1010.9	1012.9	1015.1	1016.3	1015.1

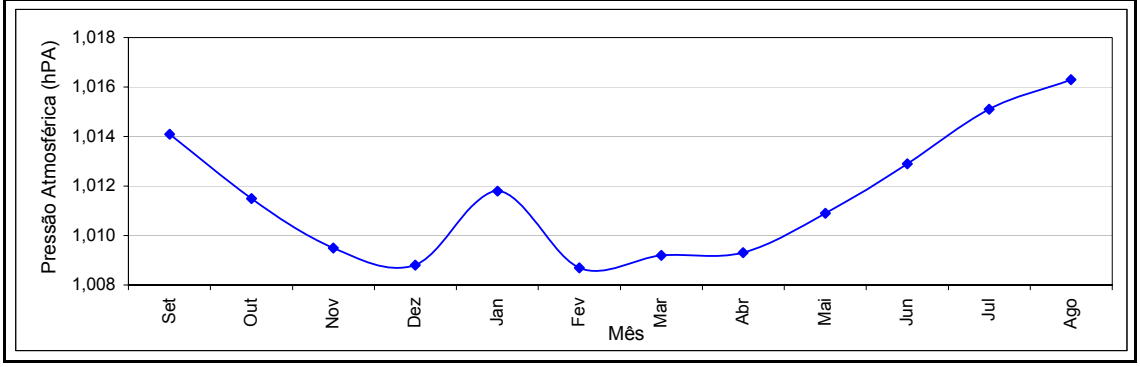


Tabela 2.1.2. Normais Climatológicas (1961-1990) da Temperatura Média, Máxima e Mínima na Estação Vitória

Estação Vitória - ES													
Variável	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Anual**
Temperatura Média (ºC)	22.6	23.5	24.4	25.4	26.3	26.9	26.5	25.2	23.7	22.5	21.7	22.2	24.2
Temperatura Máxima (ºC)	26.5	27.3	28.2	29.6	30.9	31.6	31.1	29.4	27.9	26.7	25.9	26.6	28.5
Temperatura Mínima (ºC)	19.8	20.8	21.6	22.4	23.1	23.7	23.4	22.3	20.8	19.5	18.8	19.2	21.3

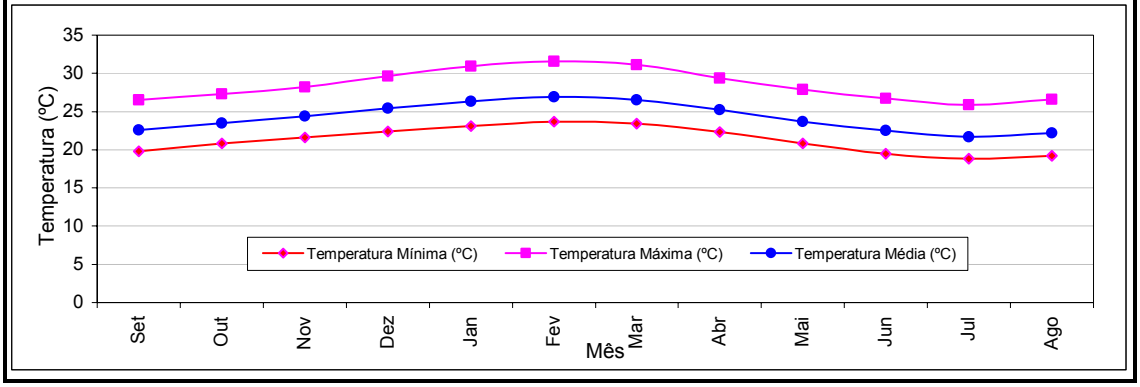


Tabela 2.1.3. Normais Climatológicas (1961-1990) da Evaporação Total na Estação Vitória

Estação Vitória - ES													
Variável	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Anual**
Evaporação Total (mm)	75.4	72.2	74.0	79.8	88.3	83.3	85.4	80.4	74.7	68.8	70.6	78.7	931.6

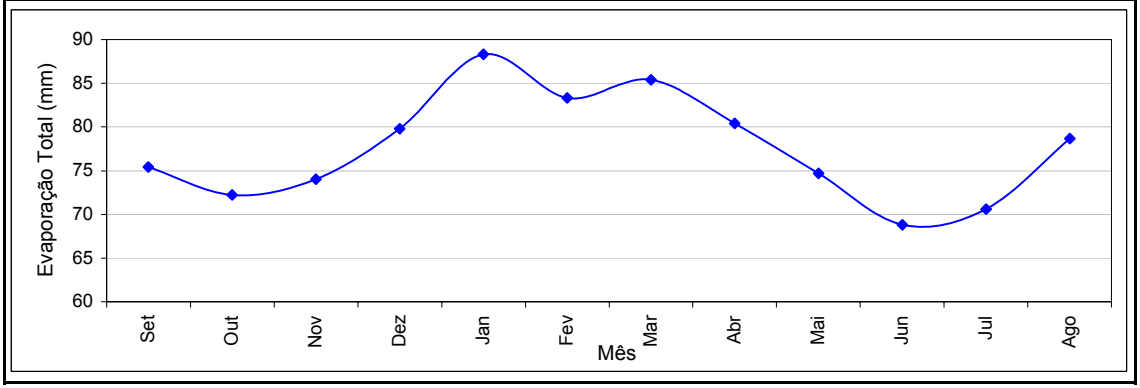


Tabela 2.1.4. Normais Climatológicas (1961-1990) da Umidade Relativa na Estação Vitória

Estação Vitória - ES													
Variável	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Anual**
Umidade Relativa (%)	77.0	78.0	78.0	78.0	76.0	75.0	76.0	76.0	76.0	77.0	77.0	76.0	77.0

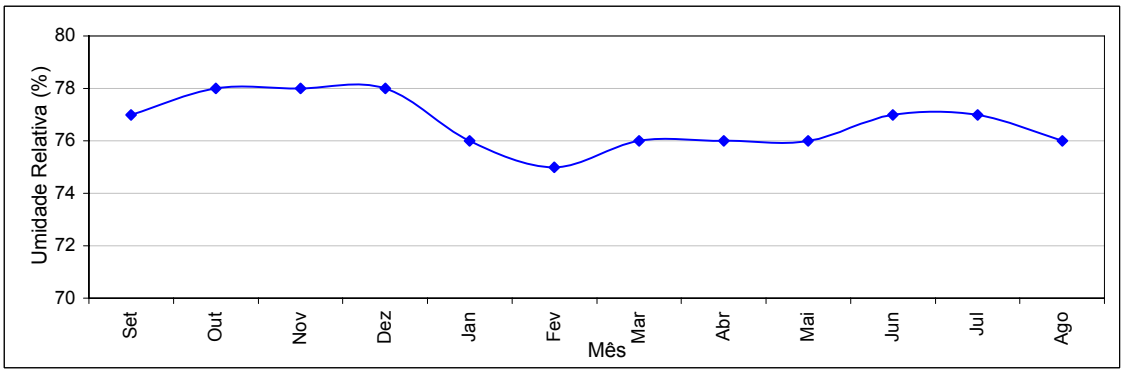
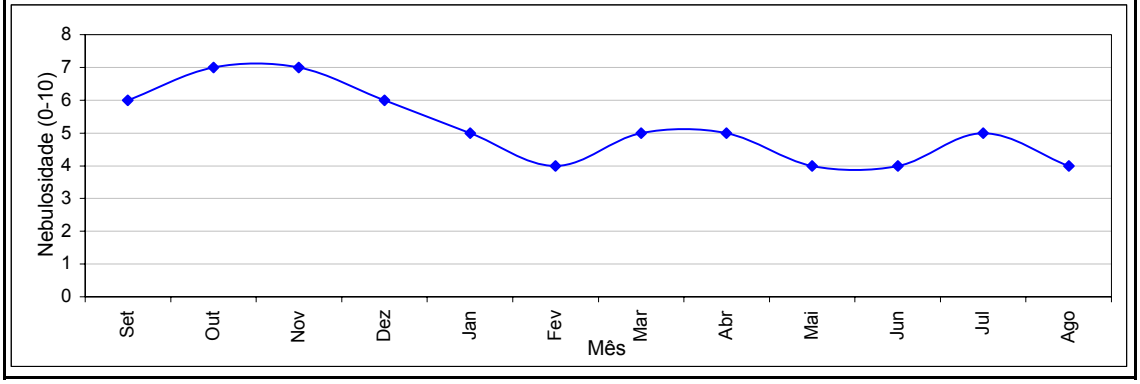


Tabela 2.1.5. Normais Climatológicas (1961-1990) da Cobertura das Nuvens na Estação Vitória

Estação Vitória - ES													
Variável	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Anual
Nebulosidade (0-10)	6.0	7.0	7.0	6.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0



2.2. Caracterização Pluviométrica

2.2.1. Acervo de Dados Pluviométricos e Pluviográficos

O monitoramento pluviométrico atual encontra-se, basicamente, sobre responsabilidade da Agência Nacional de Águas – ANA, a qual mantém um banco de dados constantemente atualizado, no qual são catalogados os postos pluviométricos em operação no país, quais as entidades que operam a rede, dentre outras informações.

Além disso, a ANA dispõe as séries históricas observadas ao longo do tempo (http://hidroweb.ana.gov.br/) quando o monitoramento dos postos pluviométricos é de sua responsabilidade ou quando as entidades responsáveis pelo monitoramento repassem à ANA as séries observadas.

Destaca-se que praticamente todo registro histórico de precipitação no Brasil se dá por meio de pluviômetros, sendo pouco difundido o uso de pluviógrafos. Assim, estudos que envolvam o cálculo de eventos pluviais extremos, associados à determinada recorrência e duração, têm por necessidade adotar técnicas empíricas baseadas em metodologias ou equações ajustadas previamente para um conjunto reduzido de informações de chuvas associadas a determinadas durações, conjuntamente com o emprego de técnicas estatísticas de ajustes de distribuições de probabilidade, validadas através de testes de aderência.

Para a realização da análise dos eventos pluviais extremos pelos métodos de Taborga Torrico (1974), Equação IDF e Otto Pfafstetter (1957) foram necessários dados pluviométricos e pluviográficos.

Na aplicação do método de Taborga Torrico a coleta dos dados pluviométricos foi realizada selecionando-se os postos de medição de alturas pluviais que dispunham de uma série histórica com dados diários com extensão superior aos vinte anos. Tendo sido aplicados critérios que permitissem avaliar sua confiabilidade como a ocorrência de falhas no período úmido do ano hidrológico considerado para a bacia em estudo (período entre novembro e abril).

A Tabela 2.2.1 mostra os postos pluviométricos que forneceram dados necessários ao emprego do método de Taborga Torrico.

Tabela 2.2.1. Relação dos postos pluviométricos na Bacia do Rio Jucu.

Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude	Operando
2041020	ARACÊ (DNOS)	-20.37	-41.06	1075.0	Sim
2040000	DOMINGOS MARTINS (DNOS)	-20.36	-40.66	452.0	Não
2040014	DUAS BOCAS (DNOS)	-20.26	-40.48	200.0	Sim
2040001	FAZENDA JUCURUABA	-20.42	-40.49	80.0	Sim
2040008	GARRAFÃO (DNOS)	-20.14	-40.98	940.0	Sim
2040012	MARECHAL FLORIANO (DNOS)	-20.41	-40.68	544.0	Sim
2040011	MATILDE (DNOS)	-20.56	-40.81	515.0	Sim
2040015	PEROBINHA (DNOS)	-20.28	-40.78	640.0	Sim
2040022	PONTA DA FRUTA	-20.52	-40.36	3.0	Sim
2040023	SÃO RAFAEL	-20.30	-40.93	818.0	Sim
2040021	VITÓRIA	-20.30	-40.33	30.0	Não

Dos postos pluviométricos apresentados na tabela 2.2.1 somente o posto Vitória (2040021) não apresenta série histórica superior a vinte anos. A tabela 2.2.2 apresenta as amplitudes das séries históricas dos postos pluviométricos cujas séries superaram os vinte anos de dados disponíveis.

Tabela 2.2.2. Postos utilizados para a caracterização do regime pluvial da bacia do Rio Jucu.

Posto	Código	Ano Inicial da Série Histórica	Ano Final da Série Histórica	Amplitude da Série	Total de Anos com Falhas	Total de Anos Válidos
Arace	2041020	1963	2002	40	5	35
Domingos Martins	2040000	1947	1999	53	17	36
Duas Bocas	2040014	1952	2002	51	30	21
Fazenda Jucuruaba	2040001	1951	2002	52	5	47
Garrafao	2040008	1948	2002	55	28	27
Marechal Floriano	2040012	1949	2002	54	19	35
Matilde - DNOS	2040011	1949	2002	54	11	43
Perobinha-DNOS	2040015	1971	2002	32	12	20
Ponta da Fruta	2040022	1970	2002	33	12	21
Sao Rafael	2040023	1970	2002	33	12	21

A aplicação do método de equações intensidade – duração – freqüência tomou por base os dados dos postos pluviográficos de Aracê e Vitória para a determinação dos parâmetros necessários.

Salienta-se, ainda, que as precipitações registradas pelo posto pluviográfico de Vitória foram objeto de estudo pelo Prof. Otto Pfafstetter, possibilitando a utilização deste método no presente trabalho.

2.2.2. Pluviometria Média e Máxima na Área de Estudo

O instrumento utilizado para medir as precipitações nos postos pluviométricos da bacia do Rio Jucu é do tipo *Ville de Paris*, padrão das entidades de monitoramento. Este pluviômetro destina-se à captação e acumulação de chuva para posterior medição com provetas graduadas. O modelo é o de uso mais tradicional e generalizado do Brasil. Consiste em um aro circular de captação com 400 cm², dotado de um cone coletor, encimando um recipiente com capacidade de acumulação de cerca de 5 litros, que representa 125 mm de altura da chuva captada. O corpo é construído em chapa de aço inoxidável, com 630 mm de comprimento. A Figura 2.2.1 mostra uma imagem do pluviômetro tipo *Ville de Paris*.

Figura 2.2.1. Pluviômetro tipo Ville de Paris

A Tabela 2.2.3 mostra as estatísticas médias e máximas mensais e anuais para a série de precipitação observada nos postos pluviométricos selecionados para o estudo da bacia do Rio Jucu, juntamente com o pluviograma médio mensal, apresentado na figura 2.2.2.

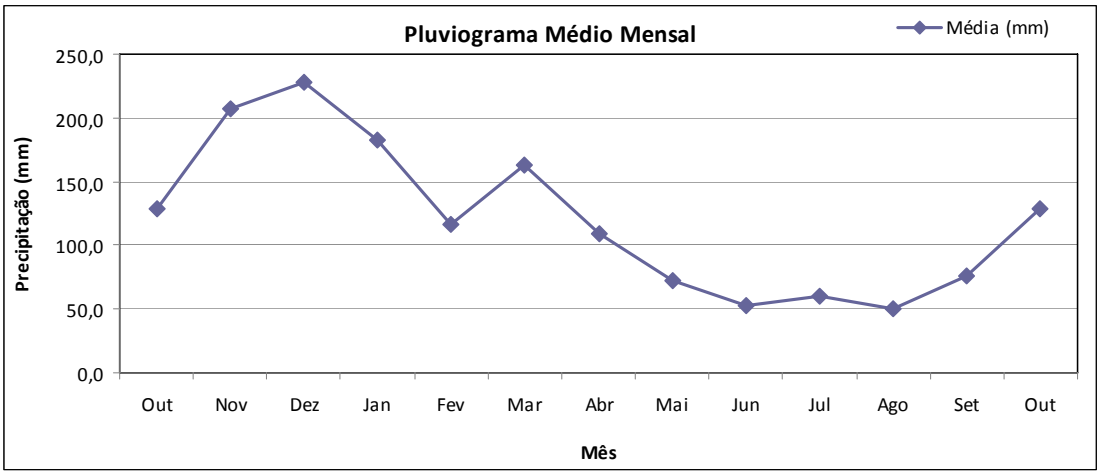


Figura 2.2.2 Pluviograma médio mensal das precipitações na bacia do rio Jucu

Observa-se, pela tabela 2.2.3, que a área em estudo apresenta precipitação média anual de aproximados 1.400mm, com chuvas que variam de 816,0 mm a 1.823,5 mm.

Tabela 2.2.3 Estatísticas médias mensais e anuais das precipitações, em mm, observadas em Vitória

Estatísticas da série de pluviometria													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Média	176.7	112.5	159.4	105.1	68.4	46.8	58.0	49.1	76.2	124.3	200.5	216.7	1393.9
DVP	101.8	61.6	91.4	42.7	38.6	40.8	41.8	34.5	42.5	57.6	84.0	78.0	229.8
CV	0.576	0.548	0.574	0.407	0.565	0.871	0.720	0.703	0.558	0.464	0.419	0.360	0.165
Max	476.2	293.2	477.0	243.5	211.0	216.2	185.7	136.0	193.3	271.0	421.4	425.0	1823.5
Min	16.2	15.1	31.3	34.8	21.1	8.2	11.5	4.6	0.8	30.3	49.5	56.5	816.5

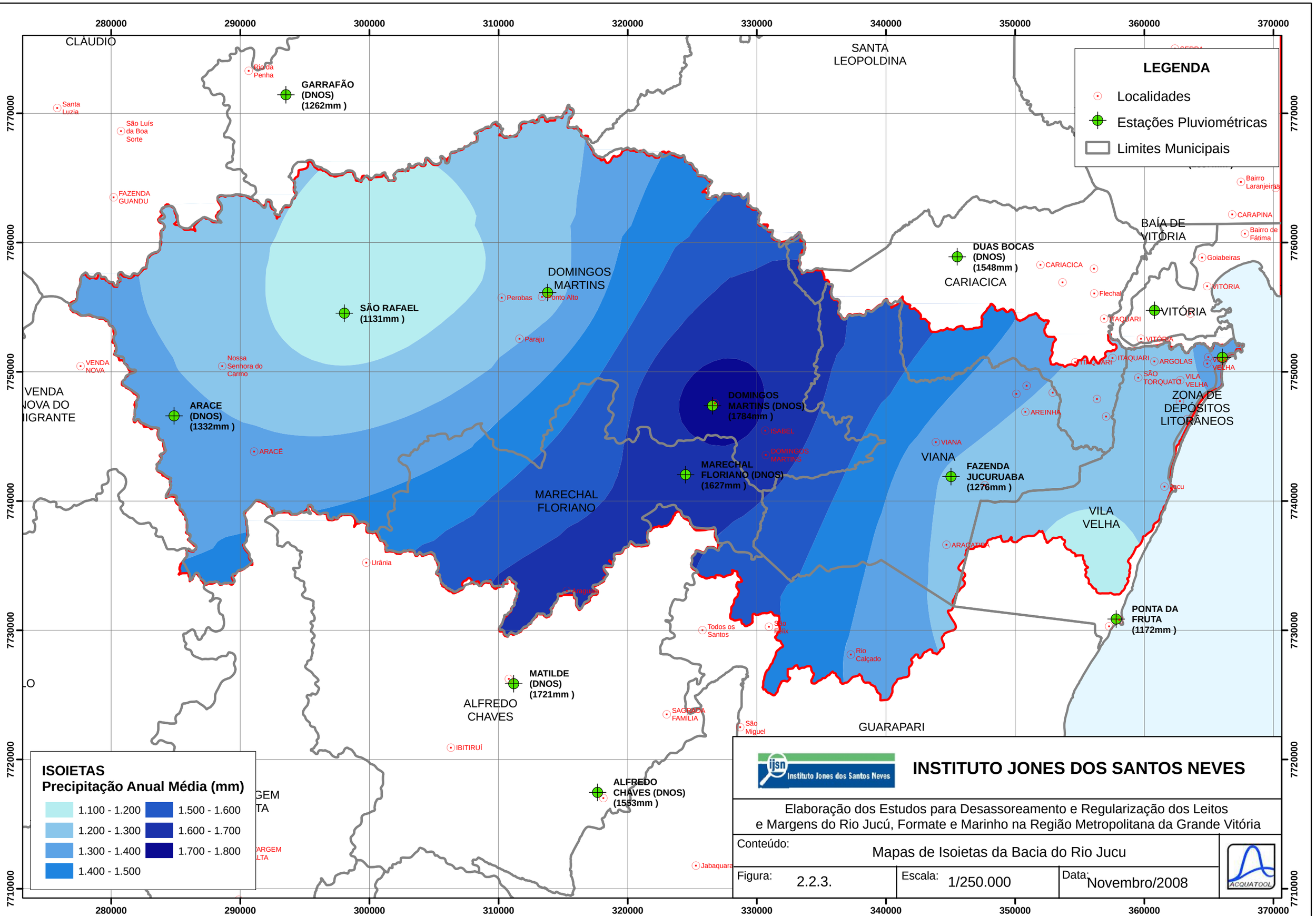
A figura 2.2.3 mostra as isoietas para a bacia do Rio Jucu, estimadas com base nas precipitações médias anuais relativas aos postos apresentados na tabela 2.2.1.

Analisando-se a figura 2.2.3 pode ser observado o comportamento espacial das precipitações na região de estudo, de forma que os maiores índices pluviométricos são registrados na média bacia, com valores que superam os 1.700 mm – registrados pelos postos Domingos Martins (DNOS) e Marechal Floriano (DNOS).

Em contrapartida, as menores alturas pluviométricas, segundo a configuração das isolinhas, ocorrem na alta e na baixa bacia, regiões onde os postos pluviométricos apresentam médias anuais que variam de 1.130 mm a 1.340 mm.

Quanto à variação intra-anual, pode-se verificar que, em termos médios, as maiores alturas pluviométricas ocorrem nos meses de novembro, dezembro e janeiro, não ocorrendo meses sem chuvas, porém, com as menores médias mensais pouco ultrapassando os 50 mm, como se verifica nos meses de junho, julho e agosto.

Ressalte-se, pois, que os meses menos chuvosos apresentaram as maiores variações inter-anuais. Os meses de junho, julho e agosto registraram, entre 1951 e 2002, chuvas que variaram de 8,2 a 216,2 mm, 11,5 a 185,7 mm e 4,6 a 136 mm, respectivamente.



INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Conteúdo:			
Mapas de Isoietas da Bacia do Rio Jucu			
Figura: 2.2.3.	Escala: 1/250.000	Data: Novembro/2008	

2.2.3. Chuvas Intensas na Região de Estudo

2.2.3.1. Metodologia de Otto Pfafstetter

Otto Pfafstetter desenvolveu equações paramétricas para 98 postos localizados em diferentes regiões do Brasil, sendo que um destes postos é a capital capixaba, Vitória.

A equação estabelecida por Otto Pfafstetter é a seguinte:

$$P = R \cdot [a.t + b.log(1 + c.t)]$$

Onde P = precipitação máxima em mm, t = duração da precipitação em horas, a, b e c constantes para cada posto e R = um fator de probabilidade, definido como:

$$R = Tr^{(\alpha + \beta / Tr^{\gamma})}$$

Sendo Tr = tempo de retorno em anos, α e β valores que dependem da duração da precipitação e γ uma constante (adotada para todos os postos iguais a 0,25). O fator [a.t+b.log(1+c.t)] fornece a precipitação em mm para um tempo de recorrência de 1 ano; o fator R possibilita calcular a estimativa para outros tempos de retorno.

Para a cidade de Vitória, os valores das constantes a, b e c são, respectivamente, 0,3, 34 e 10. Já os valores de α e β encontram-se mostrados na Tabela 2.2.4, juntamente com os valores calculados das alturas pluviométricas, associadas a determinadas durações e recorrências. Já na Figura 2.2.4 são mostrados os gráficos de intensidade – duração – freqüência.

Tabela 2.2.4. Tormentas, em mm, calculadas para o posto de Vitória, segundo metodologia de Otto Pfafstetter.

Duração		min	min	min	hora	hora	hora	hora	hora	hora	hora	dia	dia	dia
		5	15	30	1	2	4	8	14	24	48	3	4	6
alfa		0.108	0.122	0.138	0.156	0.166	0.174	0.176	0.174	0.170	0.166	0.160	0.156	0.152
beta		0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Recorrência (anos)	1	9.0	18.6	26.6	35.7	45.6	56.0	67.3	77.3	88.2	105.6	118.8	130.2	150.6
	2.33	10.7	22.4	32.5	44.2	56.9	70.5	84.8	97.2	**110.5**	131.9	147.6	161.3	185.9
	3	11.2	23.5	34.2	46.8	60.4	75.0	90.2	103.4	117.5	140.1	156.5	170.8	196.7
	4	11.7	24.7	36.2	49.9	64.5	80.2	96.6	110.6	125.6	149.5	166.8	181.8	209.1
	5	12.2	25.7	37.8	52.2	67.7	84.4	101.6	116.3	131.9	156.9	174.8	190.5	218.8
	10	13.4	28.7	42.7	59.7	78.0	97.7	117.9	134.7	152.4	180.8	200.5	217.8	249.6
	15	14.2	30.5	45.6	64.3	84.2	105.9	127.8	146.0	164.8	195.2	216.1	234.3	268.1
	20	14.7	31.7	47.7	67.5	88.8	111.9	135.1	154.3	173.9	205.8	227.4	246.3	281.4
	25	15.1	32.7	49.3	70.1	92.4	116.6	140.9	160.8	181.2	214.1	236.3	255.7	292.0
	30	15.4	33.5	50.7	72.3	95.4	120.6	145.8	166.3	187.2	221.1	243.7	263.5	300.7
	35	15.7	34.2	51.8	74.1	98.0	124.0	149.9	171.0	192.3	227.1	250.0	270.2	308.1
	40	15.9	34.7	52.8	75.7	100.2	127.0	153.6	175.1	196.9	232.3	255.6	276.1	314.6
	45	16.2	35.3	53.7	77.1	102.2	129.6	156.9	178.8	200.9	237.0	260.5	281.3	320.4
	50	**16.3**	**35.7**	**54.5**	**78.4**	**104.0**	**132.1**	**159.8**	**182.1**	**204.6**	241.2	265.0	286.0	325.6
	75	17.1	37.5	57.6	83.5	111.2	141.6	171.6	195.3	219.1	257.8	282.6	304.5	346.2
	100	**17.6**	**38.8**	**59.8**	**87.2**	**116.5**	**148.7**	**180.2**	**205.1**	**229.8**	270.1	295.5	318.1	361.2

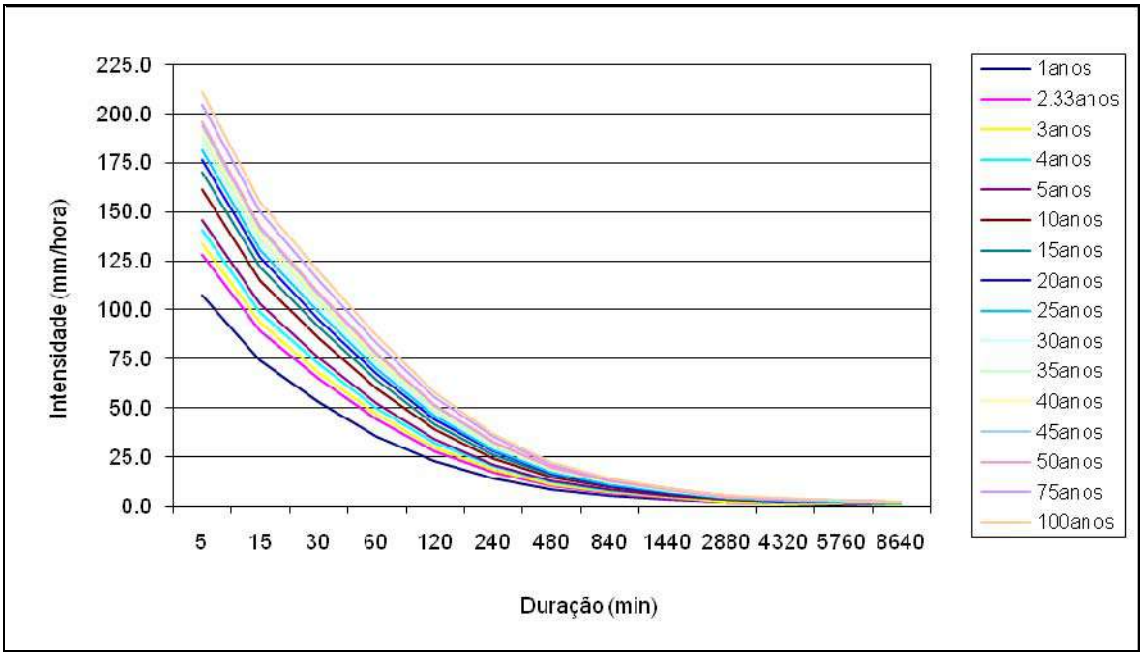


Figura 2.2.4. Gráficos intensidade – duração – freqüência para o posto de Vitória, segundo metodologia de Otto Pfafstetter

2.2.3.2. Metodologia de Taborga Torrico

Dada a facilidade de aquisição de dados de chuva com duração diária no Brasil (já que a rede de pluviômetros é bem implantada no território nacional), Taborga Torrico buscou desenvolver uma técnica de aproveitamento destas informações pluviométricas, através da desagregação de chuvas com duração de um dia, para durações menores que esta.

Em seu estudo, Taborga Torrico observou que ao desenhar em um papel de probabilidades as precipitações de 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil e, prolongando-se as respectivas retas de altura de precipitação/duração, estas tendem a cortar o eixo das abscissas em um mesmo ponto, para determinadas áreas geográficas.

Esta tendência significa que, em cada área homogênea, a relação entre as precipitações de 1 hora e 24 horas, para um mesmo tempo de recorrência, é constante e independente das alturas de precipitações.

Esta relação constante possibilita determinar a correlação entre dados de estações pluviográficas e pluviométricas, para tempos de duração inferiores a 24 horas, mediante a aplicação de um mapa de isozonas (para visualização deste mapa, consultar a publicação Taborga Torrico – 1974) que relacionam as alturas de precipitação máxima anual de uma hora com a máxima anual de 24 horas.

O mapa de isozonas mostra as seguintes características:

- As isozonas B e C tipificam a zona de influência marítima, com coeficientes de intensidade suaves;
- As isozonas E e F tipificam as zonas continental e do nordeste, com coeficientes de intensidade altos;
- A isozona D tipifica a zona de transição (entre continental e marítima). Esta isozona caracteriza a zona de influência do Rio Amazonas;
- As isozonas G e H tipificam a zona da caatinga nordestina, com coeficientes de intensidade muito altos;
- A isozona A coincide com a zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos.

A isozona na qual se localiza a área de estudo é a C.

Todavia, para aplicação da metodologia desenvolvida por Taborga Torrico, faz-se necessário a determinação da precipitação máxima diária (estudo de extremos), oriunda das séries pluviométricas, associadas a determinadas recorrências.

Para o estudo de extremos, foram selecionadas as precipitações máximas diárias de cada ano sem falhas da série pluviométrica dos postos Aracê, Domingos Martins, Duas Bocas, Fazenda Jucuruaba, Garrafão, Matilde, Perobinha, Ponta da Fruta e São Rafael, obtendo-se um conjunto de séries com mais de 20 anos de precipitações observadas.

A partir da série de máximos diários anuais, ajustou-se distribuições de probabilidade (Normal Truncada, LogNormal 2P, LogNormal 3P, Extremo Tipo I, LogExtremo Tipo I, Pearson Tipo III e LogPearson Tipo III), testando os ajustes através do teste de aderência χ^2, sendo adotada a distribuição de probabilidade melhor ajustada a cada posto.

Para correlacionar as precipitações nos postos pluviométricos com as isozonas, Taborga Torrico determinou a relação 24 horas / 1 dia, para o tempo de recorrência base de 01 ano. O coeficiente calculado foi de 1,095, com um desvio padrão de ±6,6%. Ou seja, a chuva de 24 horas é cerca de 10% maior que a chuva de 1 dia.

O tempo de recorrência nesta relação não tem influência prática, porque a precipitação de um dia equivale a uma duração média de 15 horas e 50 minutos para um tempo de recorrência de um ano, e a 16 horas e 10 minutos para 10.000 anos de recorrência (+0,1% de influência nas alturas de precipitação).

A Tabela 2.2.5 mostra os valores de tormentas diárias associadas às recorrências de 50 e 100 anos para os dez postos pluviométricos analisados, estimadas com base na distribuição de probabilidade adotada, juntamente com a desagregação das chuvas observadas em intervalos de tempo menores que 24 horas, com base nos parâmetros da isozona C.

Tabela 2.2.5. Valores de tormentas diárias associadas às recorrências de 50 e 100 anos para os postos pluviométricos analisados

Posto	Tr (anos)	1 dia	Isozona C - 6min / 24h	Isozona C - 1h / 24h	6 min	15 min	30 min	1 hora	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h
Arace	50	120.84	9.8	38.8	13.0	28.4	40.0	51.6	69.3	87.1	104.8	119.1	132.9
	100	128.03	8.8	38.4	12.4	29.0	41.5	54.1	73.0	91.9	110.8	126.1	140.8
Domingos Martins	50	130.46	9.8	38.8	14.1	30.6	43.2	55.7	74.8	94.0	113.1	128.6	143.5
	100	138.89	8.8	38.4	13.4	31.4	45.1	58.7	79.2	99.7	120.2	136.8	152.8
Duas Bocas	50	249.29	9.8	38.8	26.9	58.5	82.5	106.4	143.0	179.6	216.2	245.8	274.2
	100	280.14	8.8	38.4	27.1	63.4	90.9	118.3	159.7	201.1	242.5	276.0	308.2
Fazenda Jucuruaba	50	157.64	9.8	38.8	17.0	37.0	52.1	67.3	90.4	113.6	136.7	155.4	173.4
	100	174.07	8.8	38.4	16.8	39.4	56.5	73.5	99.3	125.0	150.7	171.5	191.5
Garrafao	50	117.42	9.8	38.8	12.7	27.6	38.8	50.1	67.4	84.6	101.8	115.8	129.2
	100	123.14	8.8	38.4	11.9	27.9	39.9	52.0	70.2	88.4	106.6	121.3	135.5
Marechal Floriano - DNOS	50	157.96	9.8	38.8	17.0	37.1	52.2	67.4	90.6	113.8	137.0	155.7	173.8
	100	173.28	8.8	38.4	16.8	39.2	56.2	73.2	98.8	124.4	150.0	170.7	190.6
Matilde - DNOS	50	137.49	9.8	38.8	14.8	32.3	45.5	58.7	78.9	99.1	119.2	135.5	151.2
	100	144.54	8.8	38.4	14.0	32.7	46.9	61.1	82.4	103.8	125.1	142.4	159.0
Perobinha - DNOS	50	154.23	9.8	38.8	16.6	36.2	51.0	65.8	88.5	111.1	133.8	152.0	169.7
	100	176.89	8.8	38.4	17.1	40.0	57.4	74.7	100.9	127.0	153.1	174.3	194.6
Ponta da Fruta	50	152.15	9.8	38.8	16.4	35.7	50.3	64.9	87.3	109.6	132.0	150.0	167.4
	100	166.57	8.8	38.4	16.1	37.7	54.0	70.4	95.0	119.6	144.2	164.1	183.2
São Rafael	50	111.64	9.8	38.8	12.0	26.2	36.9	47.6	64.0	80.4	96.8	110.1	122.8
	100	129.96	8.8	38.4	12.6	29.4	42.2	54.9	74.1	93.3	112.5	128.0	143.0

2.2.3.3. Equação Intensidade – Duração – Freqüência

Através de observações de tormentas registradas em pluviogramas é possível se determinarem as equações que representam o comportamento dessas tormentas associadas à duração e a freqüência com que ocorrem.

Plotando-se as intensidades máximas observadas associadas às freqüências com que ocorrem para uma mesma duração, torna-se notório que essas intensidades máximas crescem com o tempo de retorno, ou seja, crescem conforme mais raro seja o evento.

Tomando-se as intensidades máximas do mesmo período de recorrência e grafando-as contra as respectivas durações, revela-se uma família de curvas em que a intensidade decresce com o aumento da duração para um episódio pluvial isolado.

Dessas duas últimas conclusões, podem-se determinar equações que relacionam, em conjunto, a intensidade, a duração e o tempo de recorrência (freqüência), equações estas do tipo:

$$i = \frac{aTR^b}{(t+c)^n}$$

Em que:

i = intensidade em mm/h;

TR = tempo de recorrência (inverso da freqüência) em anos;

T = duração do evento em min;

a, b, c , n = parâmetros determinados pelo método dos mínimos quadrados, a partir dos dados pluviográficos observados.

As equações de intensidade – duração – freqüência apresentadas neste estudo para os postos Aracê e Vitória foram obtidas considerando-se os dados dos trabalhos de FREITAS *et al* (2001) e PINTO (2003), respectivamente, disponíveis no *software* Pluvio 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa – MG e que disponibiliza um banco de informações contendo ajustes de equações do tipo IDF para o Território Nacional, tomando por base os registros pluviográficos e equações já ajustadas para diversas localidades brasileiras.

Assim, as equações abaixo representam os eventos pluviais intensos para os postos Aracê e Vitória, respectivamente.

$$i(mm/h) = \frac{880{,}47 \cdot TR_{anos}^{0{,}175}}{(t_{\min utos} + 9{,}72)^{0{,}729}}$$

$$i(mm/h) = \frac{4003{,}61 \cdot TR_{anos}^{0{,}203}}{(t_{\min utos} + 50{,}0)^{0{,}931}}$$

De posse das equações, foram calculadas as intensidades dos eventos pluviais com durações de até 24h (1.440min). Desta forma, foram obtidas as intensidades para as seguintes durações, em minutos: 5; 10; 30; 60; 120; 240; 480; 840 e 1.440.

No presente estudo, calcularam-se os eventos intensos relativos aos postos então considerados para as seguintes freqüências anuais: 1; 0,5; 0,2; 0,1; 0,03333; 0,02; 0,01333; 0,01; 0,00667; 0,005; 0,003333; 0,002; 0,001333; 0,001; correspondentes aos seguintes tempos de recorrência, em anos: 1; 2; 5; 10; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 500; 750; 1.000.

As Figuras 2.2.5 e 2.2.6 mostram a família de curvas obtidas através das equações intensidade – duração – freqüência respectivamente para os postos Aracê e Vitória para as durações e tempos de recorrências adotados.

Para uma duração de 1.440 minutos (24 horas) e um períodos de recorrência de 50 e 100 anos, têm-se respectivamente precipitações de intensidades de 8,66 e 9,78 mm/hora, correspondendo a alturas pluviométricas de 207,81 e 234,61.

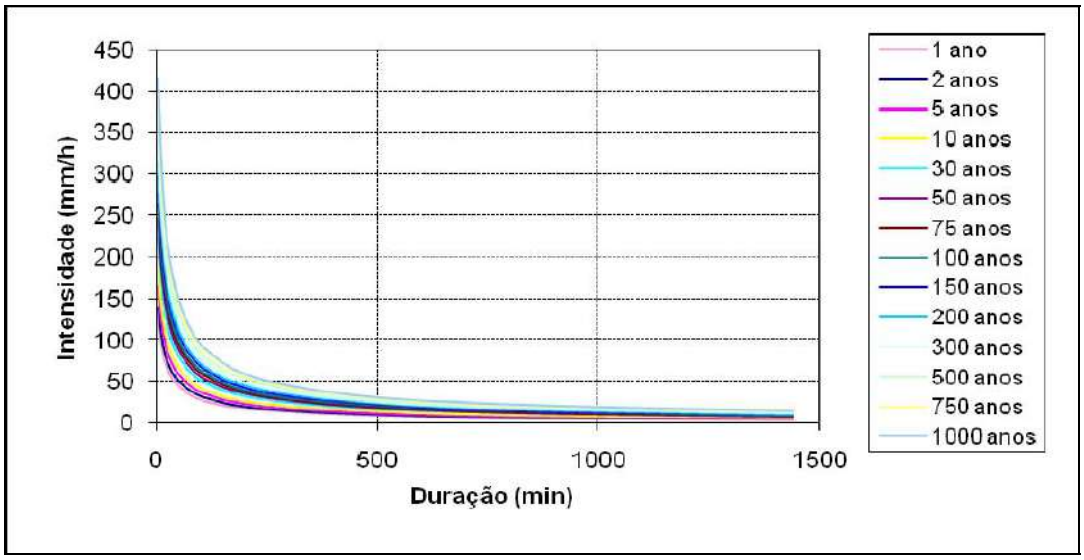


Figura 2.2.5 Família de curvas de intensidade – duração – freqüência obtidas através da equação de chuva para diferentes tempos de recorrência para o posto Aracê.

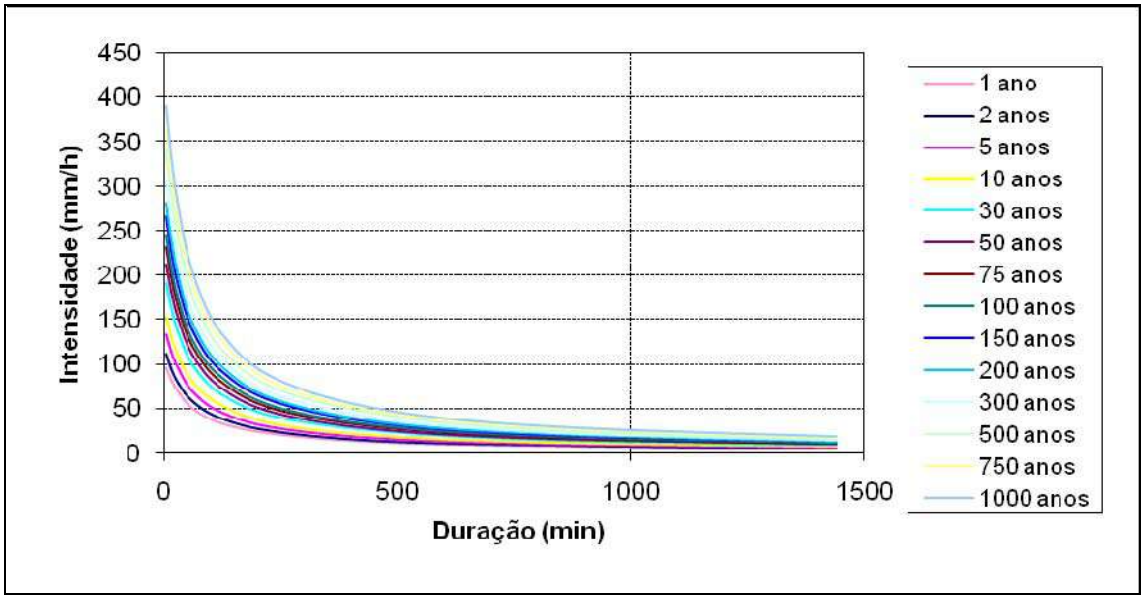


Figura 2.2.6 Família de curvas de intensidade – duração – freqüência obtidas através da equação de chuva para diferentes tempos de recorrência para o posto Vitória.

2.2.3.4. Análise Comparativa entre as Metodologias Anteriores

A análise comparativa entre as metodologias foi realizada de forma a serem consideradas as precipitações observadas na baixa bacia do Rio Jucu, registradas pelos postos de Vitória e Ponta da Fruta.

A tabela 2.2.6 mostra um resumo comparativo das aplicações metodológicas Otto Pfafstetter, Taborga Torrico e Equação intensidade – duração – freqüência, enquanto o gráfico da figura 2.2.7 mostra o comportamento das precipitações estimadas pelos três métodos em função dos períodos de retorno: 5, 10, 20, 50 e 100 anos. As curvas intensidade - duração para um período de retorno de 100 anos são apresentadas pelo gráfico da figura 2.2.8.

Os desvios percentuais foram calculados de forma que os resultados fornecidos pelo método do Prof. Otto Pfafstetter foram tomados como referência.

Os valores obtidos pelo método das equações intensidade – duração – freqüência resultam em precipitações maiores, quando comparados aos resultados calculados pelos outros métodos então estudados, como evidenciam os gráficos das figuras 2.2.7 e 2.2.8.

Observa-se, pois, que as metodologias adotadas (Otto Pfafstetter e equações IDF adotando funções, enquanto Taborga Torrico utiliza classificação por isozonas), apresentam resultados divergentes, sobretudo se considerados tempos de recorrência maiores e durações elevadas de tormentas, o que geralmente é necessário para projetos de engenharia que envolvem riscos de catástrofes.

Tabela 2.2.6 Resumo comparativo dos resultados das aplicações metodológicas Otto Pfafstetter, Taborga Torrico e Equação intensidade-duração-freqüência

t (min)	TR (anos)	P (mm)			Desvio %	
		Otto Pfafstetter	Taborga Torrico	Equação IDF	Taborga Torrico	Equação IDF
5/6	5	12.2	10.8	11.1	10.9	8.7
	10	13.4	12.5	12.8	7.3	5.1
	20	14.7	14.0	14.7	4.5	0.1
	50	16.3	16.1	17.7	1.7	-8.3
	100	17.6	16.5	20.4	6.2	-15.9
15	5	25.7	24.5	28.5	4.7	-10.7
	10	28.7	28.0	32.8	2.5	-14.1
	20	31.7	31.3	37.7	1.3	-18.9
	50	35.7	35.0	45.4	2.0	-27.2
	100	38.8	37.9	52.3	2.2	-34.8
30	5	37.8	34.9	46.9	7.8	-24.2
	10	42.7	39.8	54.0	6.8	-26.5
	20	47.7	44.4	62.2	6.9	-30.4
	50	54.5	49.3	74.9	9.5	-37.5
	100	59.8	54.1	86.2	9.5	-44.1
60	5	52.2	45.2	69.8	13.4	-33.6
	10	59.7	51.5	80.3	13.7	-34.5
	20	67.5	57.5	92.5	14.9	-36.9
	50	78.4	63.6	111.4	18.9	-42.0
	100	87.2	70.4	128.2	19.3	-47.0
120	5	67.7	60.0	93.1	11.4	-37.5
	10	78.0	68.6	107.1	12.0	-37.4
	20	88.8	76.8	123.3	13.5	-38.9
	50	104.0	86.2	148.5	17.1	-42.8
	100	116.5	95.0	171.0	18.5	-46.7
240	5	84.4	74.7	113.2	11.5	-34.2
	10	97.7	85.7	130.3	12.3	-33.4
	20	111.9	96.2	150.0	14.0	-34.1
	50	132.1	108.9	180.7	17.6	-36.8
	100	148.7	119.6	208.0	19.6	-39.9
480	5	101.6	89.4	129.2	12.0	-27.1
	10	117.9	102.8	148.7	12.8	-26.1
	20	135.1	115.5	171.1	14.5	-26.6
	50	159.8	131.5	206.1	17.7	-29.0
	100	180.2	144.2	237.3	20.0	-31.6
840	5	116.3	101.3	139.5	12.9	-19.9
	10	134.7	116.6	160.6	13.5	-19.2
	20	154.3	131.1	184.8	15.0	-19.8
	50	182.1	149.8	222.6	17.8	-22.3
	100	205.1	164.1	256.3	20.0	-25.0
1440	5	131.9	112.8	148.0	14.5	-12.2
	10	152.4	129.8	170.4	14.8	-11.8
	20	173.9	146.2	196.1	16.0	-12.8
	50	204.6	167.4	236.2	18.2	-15.5
	100	229.8	183.2	271.9	20.3	-18.3

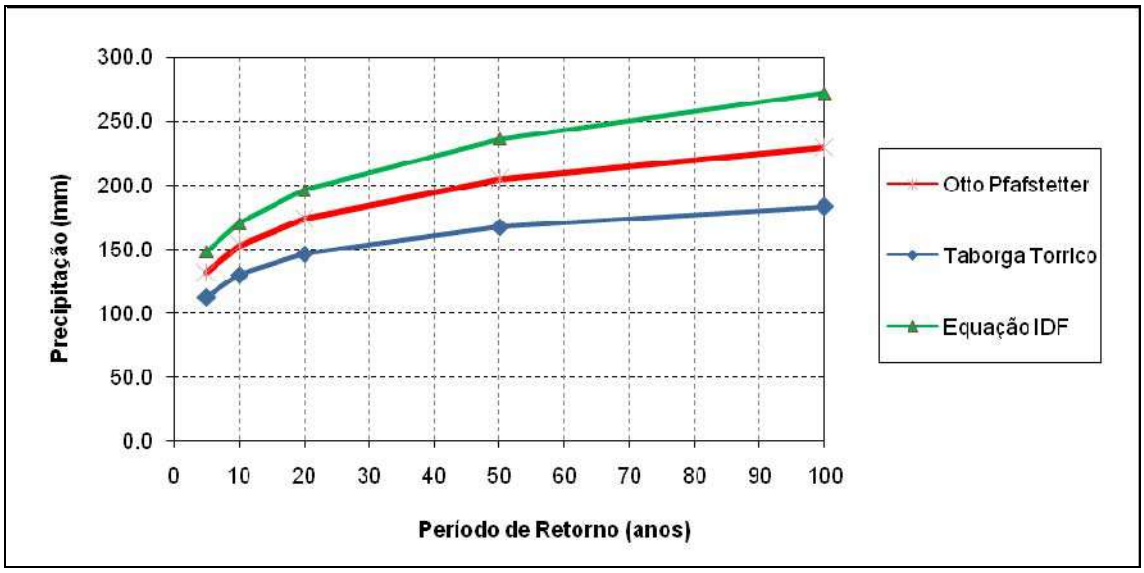


Figura 2.2.7. Alturas pluviométrica para a baixa bacia do Rio Jucu obtidos pelos três métodos, considerando uma duração de chuva (t) de 24h e TR entre 5 e 100 anos.

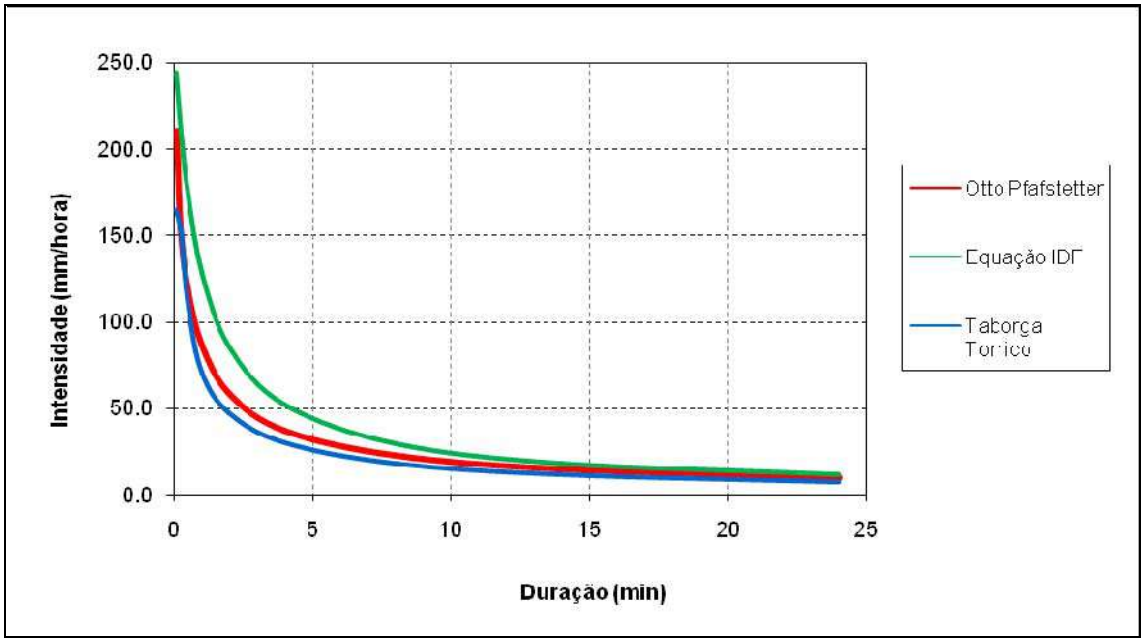


Figura 2.2.8. Curvas intensidade – duração – freqüência para a baixa bacia do Rio Jucu obtidas pelos três métodos então estudados, considerando TR = 100 anos e durações de chuva entre 5 min e 24 h.

2.3. Caracterização Fluviométrica

O estudo fluviométrico tem como objetivo a aquisição de séries históricas de vazões em estações fluviométricas representativas da região em estudo, a fim de se caracterizar o regime dos escoamentos nos corpos hídricos que drenam a área.

Escolhidas às séries de vazões de longa duração, passa-se a realizar um tratamento estatístico destas séries, obtendo parâmetros e indicadores do comportamento espaço-temporal do regime hídrico superficial, o qual dará subsídios para realização de estudos, por exemplo, da determinação de eventos extremos (quer sejam estudos de cheias, ou de estiagem), da determinação de disponibilidades hídricas associadas a certas garantias (estudos de vazões regularizadas para abastecimento, irrigação, geração de energia), dentre outros estudos.

A seguir, serão apresentados e descritos todos os procedimentos necessários para caracterização do regime fluviométrico na área de estudo.

2.3.1. Acervo de Dados Fluviométricos

Como fonte de informações fluviométricas no Brasil, a Agência Nacional de Águas – ANA, juntamente com a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM, constituem-se atualmente nas principais entidades federais responsáveis por manter, registrar dados e ampliar a rede de monitoramento fluviométrico.

Boa parte dos registros das vazões escoadas catalogadas no banco de dados da ANA é proveniente da rede implantada desde meados dos anos 60 pelos mais variados órgãos federais (DNOS, DNAEE etc.), a qual passou por inúmeras crises administrativas, culminando com a desativação de boa parte das estações.

Atualmente, a ANA em parceria com a CPRM vem reestruturando a rede de monitoramento hidrológico do Brasil, re-implantando, dentre outras, estações de monitoramento fluviométrico, quer seja através de registros de cotas e medições de descarga líquida para calibração de curvas chaves, quer seja por medição limnigráfica através de sonda ou sensor de pressão.

Os dados registrados são consistidos e, posteriormente, disponibiliza na Internet, através do endereço eletrônico http://hidroweb.ana.gov.br/, em um banco

de dados com informações de diversas estações fluviométricas, desde que as mesmas tenham passado a ser de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (não necessariamente todas as estações com alguma informação fluviométrica continuam em operação), ou tenham sido instaladas por tal órgão.

Consultando o referido banco de dados da ANA, verificou-se que a bacia hidrográfica do Rio Jucu apresenta três estações fluviométricas com séries de vazões com longa duração, sendo que duas continuam operando até a atualidade.

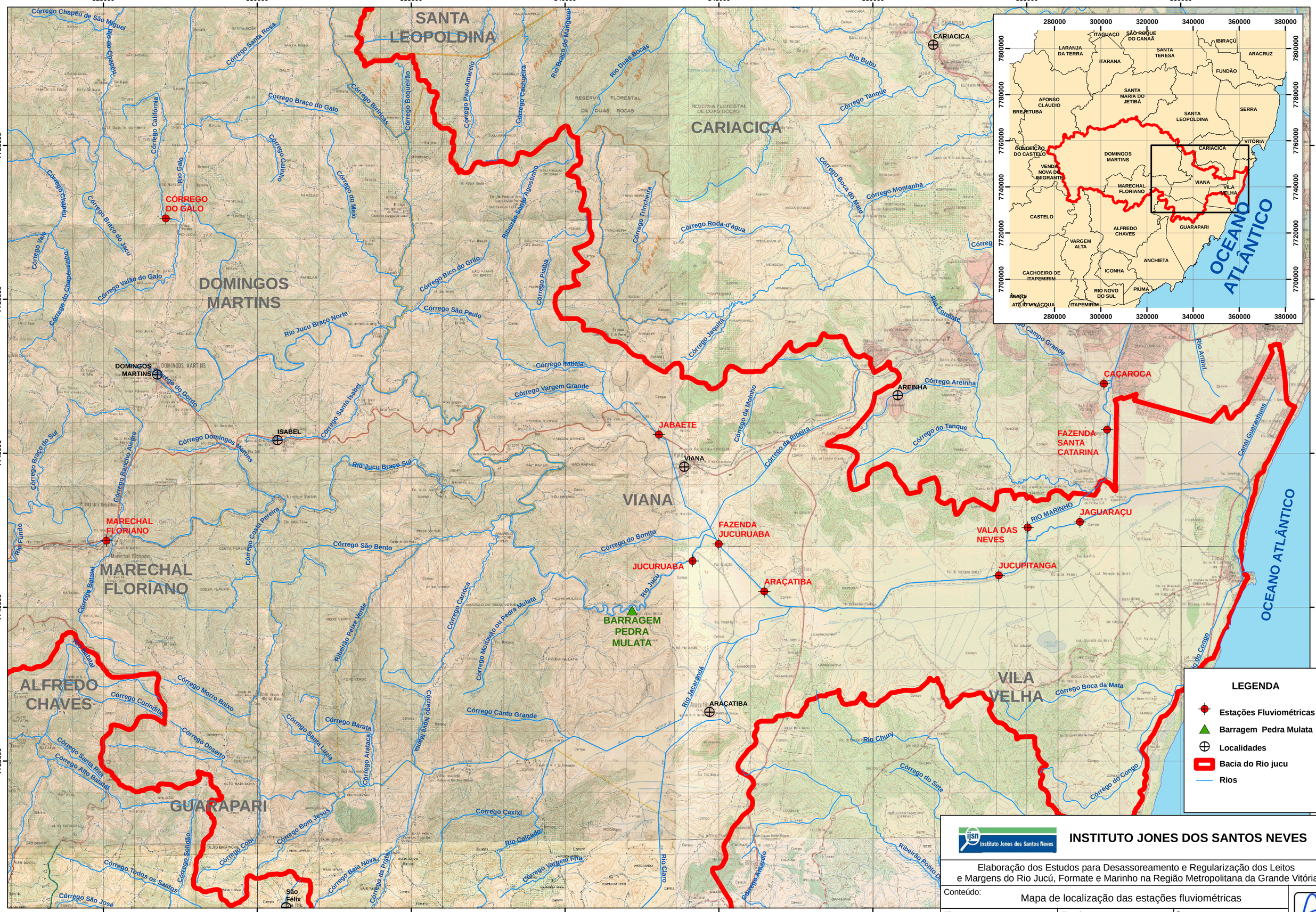
No mesmo banco de dados, verificou-se ainda a existência de dados antigos, registrados pelo DNOS, referentes à observação de cotas atingidas no baixo curso do Rio Jucu, no Rio/Canal Marinho e nos canais de interligação abertos entre estes corpos d'água, como o Canal das Neves.

Todavia, dado ao espaço de tempo ocorrido desde o final de suas atividades (vide tabela seguinte) até o presente momento, e em virtude da várias mudanças antrópicas e naturais ocorridas nas calhas dos cursos d'água monitorados por tais estações do DNOS, o referencial de registro das cotas atingidas pela água, provavelmente, não mais corresponde à realidade atual. Assim, tais séries podem servir, tão somente, de parâmetro comparativo da modelagem hidrodinâmica, a fim de se avaliar, com cautela, a variação das profundidades já registradas no baixo curso do Rio Jucu e demais drenos monitorados.

A Tabela 2.3.1 lista a relação das estações fluviométricas identificadas na área de estudo, enquanto que a Figura 2.3.1 mostra um mapa com a localização espacial das mesmas.

Tabela 2.3.1. Relação das estações fluviométricas

Código	Tipo	Nome	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora	Latitude Sul	Longitude WGr.	Período de Dados	Altitude (m)	Área de Drenagem (km²)
57170000	VAZÃO	CÓRREGO DO GALO	RIO JUCU - BRAÇO NORTE	ESPÍRITO SANTO	DOMINGOS MARTINS	ANA	CPRM	20° 18' 59"	40° 39' 06"	1969 a 2008	580	973
57190000	VAZÃO	MARECHAL FLORIANO	RIO JUCU - BRAÇO SUL	ESPÍRITO SANTO	DOMINGOS MARTINS	ANA	DESATIVADA	20° 24' 39"	40° 40' 35"	1950 a 1990	580	322
57230000	VAZÃO	FAZENDA JUCURUABA	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VIANA	ANA	CPRM	20° 24' 54"	40° 29' 07"	1968 a 2008	80	1.690
57230100	COTA	JABAETE	RIO SANTO AGOSTINHO	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 23' 00"	40° 30' 00"	1953 a 1964	-	-
57230500	COTA	JUCURUABA	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 25' 00"	40° 30' 00"	1947 a 1968	-	-
57230800	COTA	ARAÇATIBA	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 26' 00"	40° 28' 00"	1947 a 1968	-	-
57230900	COTA	JUCUPITANGA	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 25' 00"	40° 24' 00"	1951 a 1965	-	-
57231000	COTA	JAGUARAÇU	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VILA VELHA	DNOS	DESATIVADA	20° 24' 00"	40° 23' 00"	1951 a 1964	-	-
57231400	COTA	CAÇAROCA	RIO JUCU	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 22' 00"	40° 22' 00"	1951 a 1958	-	-
57240002	COTA	FAZENDA SANTA CATARINA	RIO MARINHO	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 23' 00"	40° 22' 00"	1954 a 1965	-	-
57245000	COTA	VALA DAS NEVES	RIO VALA DO NEVES	ESPÍRITO SANTO	VIANA	DNOS	DESATIVADA	20° 25' 00"	40° 23' 00"	1954 a 1963	-	-


SANTA LEOPOLDINA
CARIACICA
DOMINGOS MARTINS
VIANA
MARECHAL FLORIANO
ALFREDO CHAVES
GUARAPARI
VILA VELHA
OCEANO ATLÂNTICO
CORREGO DO GALO
DOMINGOS MARTINS
ISABEL
JABAETE
VIANA
AREINHA
CAÇAROCA
FAZENDA SANTA CATARINA
MARECHAL FLORIANO
FAZENDA JUCURUABA
JUCURUABA
ARAÇATIBA
VALA DAS NEVES
JAGUARAÇU
JUCUPITANGA
BARRAGEM PEDRA MULATA
ARAÇATIBA
São Félix
Rio Jucu Braço Norte
Rio Jucu Braço Sul
Rio Jucu
Rio Formate
Rio Marinho
Rio Aribiri
Canal Guaranhuns
Rio Bubu
Rio Duas Bocas
Rio Jacarandá
Rio Claro
Rio Churv
Córrego Santa Rosa
Córrego Braço do Galo
Córrego Birrinhas
Córrego Boqueirão
Córrego Pau-Amarelo
Córrego Cachoeira
Rio Braço do Mangaraí
Córrego Tanque
Córrego Boca do Mato
Córrego Montanha
Córrego Roda-d'água
Córrego Trincheira
Ribeirão Santo Agostinho
Córrego Pialba
Córrego Bico do Grifo
Córrego São Paulo
Córrego Jaquitá
Córrego Itatiaia
Córrego Vargem Grande
Córrego Santa Isabel
Córrego Domingos Martins
Córrego da Moinho
Córrego da Ribeira
Córrego do Tanque
Córrego Areinha
Córrego do Campo Grande
Córrego do Bonito
Córrego São Bento
Córrego Costa Pereira
Córrego Batatal
Ribeirão Peixe Verde
Córrego Carioca
Córrego Moitavão ou Pedra Mulata
Córrego Canto Grande
Córrego Nova Manta
Córrego Morro Baixo
Córrego Corindiba
Córrego Deserto
Córrego Barata
Córrego Santa Luzia
Córrego Aratacá
Córrego Santa Rita
Córrego Alto Batatal
Córrego Caxixi
Córrego Bom Jesus
Córrego Cobi
Córrego Solidão
Córrego Todos os Santos
Córrego São José
Córrego Baía Nova
Córrego da Prata
Córrego Vargem Fria
Rio Calçado
Córrego Amarelo
Ribeirão Ponto D
Córrego do Sete
Córrego Boca da Mata
Córrego do Congo
Rio Fundo
Rio Batatal
Córrego Vale
Córrego Valão do Galo
Córrego Chapéu
Córrego Braço do Jacu
Córrego Chapéuzinho
Córrego Braço do Sul
Córrego Rancho Alegre
Córrego Santa Rosa
Córrego Chapéu de São Miguel
Rio do Chapéu
Rio Galo
Córrego Galinho
Córrego do Meio
Córrego Califórnia
Córrego do Gordo
Rio Fundo
LEGENDA
Estações Fluviométricas
Barragem Pedra Mulata
Localidades
Bacia do Rio jucu
Rios
INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES
Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória
Conteúdo: Mapa de localização das estações fluviométricas
Figura: 2.3.1
Escala: 1/75.000
Data: Dezembro/2008
ACQUATOOL

2.3.2. Tratamento Estatístico das Séries de Fluviometria

2.3.2.1. Vazões médias

De posse das séries de vazões médias diárias observadas nas estações fluviométricas Córrego do Galo, Marechal Floriano e Fazenda Jucuruaba, calcularam-se as médias mensais e anuais das vazões escoadas nas bacias hidrográficas de cada estação, cujos valores encontram-se mostrados nas Tabelas 2.3.2 a 2.3.4.

Analisando-se os dados médios calculados, observa-se que o comportamento temporal das vazões mensais compreende dois períodos distintos, sendo um com maiores escoamentos e que se inicia em novembro e se estende até abril do ano seguinte, a partir de quando as médias escoadas superficialmente diminuem significativamente, caracterizando um segundo período, de estiagem, entre os meses de maio e outubro.

Na estação fluviométrica Córrego do Galo – 57170000, cujo período de dados apresenta apenas três meses sem observações ao longo dos mais de 39 anos de registros, foram calculadas as médias das vazões mensais que variam entre 8,66 m³/s e 21,18 m³/s, sendo que o mínimo valor médio mensal observado foi de 5,14 m³/s (ocorrido em junho/1990) e o máximo valor médio mensal observado foi de 56,54 m³/s (ocorrido em fevereiro/1979).

Ainda com relação às médias calculadas com base na série histórica de vazões diárias da estação Córrego do Galo, observa-se uma média anual de 14,02 m³/s, sendo que a mínima média anual registrada foi de 8,02 m³/s (em 1990) e a máxima média anual registrada foi de 24,76 m³/s (em 1979). As vazões médias anuais apresentam um desvio padrão de 3,70 m³/s e um coeficiente de variação de 0,26. Estima-se como vazão específica escoada na bacia hidrográfica um valor de 14,41 l/s/km².

A estação fluviométrica Marechal Floriano – 57190000 apresenta ao longo da sua série de vazões diárias observadas e que se estende entre 1950 e 1990, um período completo de 05 anos seguido sem registros (1962 a 1966), além de 01 mês sem observações em 1961 (novembro) e outros dois meses sem observações em 1975 (novembro e dezembro).

Diante disto, calculando-se as estatísticas médias com base nos 34 anos sem falhas nas observações, verifica-se que na estação fluviométrica Marechal Floriano as médias das vazões mensais escoadas em sua bacia hidrográfica variam entre 4,50 m³/s e 8,71 m³/s, sendo que o menor valor histórico mensal foi de 2,10 m³/s e repetiu-se, seguidamente, nos meses de agosto e setembro de 1955. Já o maior valor mensal registrado foi de 30,57 m³/s, observado em março de 1970.

As médias anuais de vazões observadas na estação fluviométrica Marechal Floriano variam entre um valor mínimo de 3,67 m³/s e um valor máximo de 11,78 m³/s, sendo o valor médio anual de 6,58 m³/s, o que implica numa vazão específica média de 20,45 l/s/km². O desvio padrão e o coeficiente de variação das médias anuais são, respectivamente, de 1,88 m³/s e 0,28.

Quanto à estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba – 57230000, esta, apresenta os primeiros anos do início de sua operação sem registros (entre os anos de 1968 e 1971), havendo ainda outro período entre os anos de 1990 e 1993 com alguns meses sem observações. Todavia, a referida estação fluviométrica registra 31 anos de dados observados sem falhas, a partir dos quais foi realizada a análise estatística.

Desta forma, a média das vazões mensais na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba varia entre 16,26 m³/s e 39,69 m³/s, sendo que o menor valor mensal registrado foi de 8,84 m³/s (em setembro de 2003) e o maior valor mensal registrado foi de 109,89 m³/s (em janeiro de 1985).

Com relação às vazões anuais, a maior média registrada ocorreu em 1985, com um valor de 42,56 m³/s, enquanto que a menor média registrada ocorreu em 1989, com um valor de 17,49 m³/s. A média das vazões anuais foi de 26,10 m³/s (desvio padrão de 6,65 m³/s e coeficiente de variação de 0,25), correspondendo a uma vazão específica de 15,44 l/s/km².

Tabela 2.3.2. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Córrego do Galo – 57170000

Série de fluviometria (m³/s) - Córrego do Galo - 55170000													
Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1969	13,45	16,34	11,55	9,58	8,32	12,79	9,10	7,59	6,67	7,90	17,84	22,02	11,93
1970	31,94	21,10	14,10	14,40	10,36	8,71	11,62	9,92	9,52	15,27	34,20	34,59	17,98
1971	12,96	12,46	14,33	10,01	8,94	9,29	9,46	8,32	10,33	11,88	34,14	30,81	14,41
1972	16,27	14,93	14,31	14,64	13,51	10,57	11,25	8,95	10,82	11,99	17,39	22,52	13,93
1973	16,68	15,05	41,17	26,44	18,25	15,08	12,96	11,16	10,32	16,56	15,21	25,04	18,66
1974	27,65	21,37	26,81	21,55	15,97	12,82	11,36	9,87	9,21	15,57	13,85	19,88	17,16
1975	27,77	26,74	18,09	15,12	13,44	12,35	11,60	9,11	10,95	18,18	19,64	13,34	16,36
1976	9,38	8,19	8,43	8,13	8,06	6,36	7,57	6,04	8,58	8,62	17,77	22,24	9,95
1977	14,50	8,50	7,78	10,24	9,08	7,02	6,11	5,20	6,36	8,32		18,89	
1978	17,28	15,08	11,70	11,23	10,85	8,49	13,62	9,26	8,93	13,13	10,62	13,77	12,00
1979	36,86	56,54	37,84	29,34	20,77	16,93	14,62	13,68	12,47	11,85	19,35	26,83	24,76
1980	37,96	23,29	14,91	26,42	17,97	14,29	12,17	11,36	9,69	9,72	10,45	26,92	17,93
1981	12,58	11,84	15,45	17,49	13,57	11,62	9,95	10,87	8,09	10,37	33,06	17,57	14,37
1982	25,01	13,84	29,60	23,13	16,06	13,03	11,49	13,74	10,19	9,25	8,23	12,62	15,52
1983	26,12	18,24	12,15	14,41	12,07	9,55	8,24	7,08	10,82	16,66	22,38	27,76	15,46
1984	17,15	13,00	14,37	15,95	10,76	8,66	7,58	7,89	8,38	10,74	17,62	34,85	13,91
1985	54,98	31,77	28,33	18,92	16,33	13,76	13,39	12,65	13,51	16,21	21,11	26,20	22,26
1986	19,08	14,03	11,22	10,72	9,56	9,64	9,07	9,11	8,49	7,61	8,86	16,41	11,15
1987	18,84	12,31	20,29	17,42	11,08	10,16	8,71	7,70	8,72	7,25	17,95	18,06	13,21
1988	19,78	12,03	13,56	12,83	8,84	8,49	7,54	7,10	6,60	11,89	11,86	10,29	10,90
1989	9,86	6,86	12,49	8,31	7,79	7,92	6,33	6,83	6,26	6,08	16,05	18,10	9,41
1990	7,71	8,24	8,09	8,69	6,43	5,14	8,20	9,46	5,93	7,84	10,36	10,18	8,02
1991	23,74	15,07	17,77	13,32	10,05	9,06	12,16	22,99	11,01	9,62	13,25	14,10	14,34
1992	13,81	12,91	9,24	9,86	8,76	9,13	14,11	9,46	9,56	12,18	30,42	24,82	13,69
1993	21,83	12,89	12,16	13,51	11,25	10,37	8,40	8,27	7,84	7,72	7,30	14,82	11,36
1994	32,09	11,55	27,23	17,48	16,06	12,30	10,55	8,81	7,88	8,23	9,32	14,20	14,64
1995	8,24	6,63	7,36	9,37	7,68	6,53	6,90	6,44	5,48	7,22	13,94	25,65	9,29
1996	19,39	10,22	8,61	9,24	8,69	7,56	6,40	5,99	7,53	9,69	27,73	24,02	12,09
1997	26,03	14,86	27,56	18,08	13,92	11,32	9,63	8,81	8,90	12,12	12,96	21,78	15,50
1998	15,54	15,07	11,93	10,96	9,33	8,02	7,63	8,31	6,13	9,20	17,59		
1999	18,77	8,37	11,86	10,14	7,82	8,09	7,45	7,05	6,40	7,44	17,71	17,96	10,75
2000	14,38	15,52	13,09	10,49	8,39	7,79	6,81	6,04	6,76	5,31	13,94	23,44	11,00
2001	12,40	8,89	8,26	7,54	6,55	6,30	5,51	5,38	6,60	8,60	29,78	18,48	10,36
2002	23,41	16,49	12,79	10,66	9,65	8,11	7,96	6,98	10,05	6,78	10,15	16,69	11,64
2003	34,04	12,14	11,09	9,90	8,18	6,70	6,64	6,27	5,69	5,99	6,50	13,59	10,56
2004	24,10	25,23	22,69	19,31	12,75	12,02	10,65	8,95	7,01	7,68	7,73	19,56	14,81
2005	17,42	28,42	37,57	16,63	16,41	19,37	14,32	10,96	11,67	11,22	22,14	29,44	19,63
2006	17,07	10,70	27,48	19,14	12,78	11,65	10,35	9,02	10,18	12,79	21,88	25,89	15,74
2007	30,02		14,74	14,66	11,55	9,86	8,88	7,97	8,25	7,64	9,43	10,50	
Média	**21,18**	**15,97**	**17,13**	**14,49**	**11,48**	**10,18**	**9,65**	**8,99**	**8,66**	**10,32**	**17,10**	**20,63**	**14,02**
Desvio	**9,62**	**9,03**	**8,98**	**5,51**	**3,59**	**3,08**	**2,55**	**3,12**	**2,01**	**3,32**	**7,77**	**6,53**	**3,70**
CV	**0,45**	**0,57**	**0,52**	**0,38**	**0,31**	**0,30**	**0,26**	**0,35**	**0,23**	**0,32**	**0,45**	**0,32**	**0,26**
Máximo	**54,98**	**56,54**	**41,17**	**29,34**	**20,77**	**19,37**	**14,62**	**22,99**	**13,51**	**18,18**	**34,20**	**34,85**	**24,76**
Mínimo	**7,71**	**6,63**	**7,36**	**7,54**	**6,43**	**5,14**	**5,51**	**5,20**	**5,48**	**5,31**	**6,50**	**10,18**	**8,02**

Sem Observação

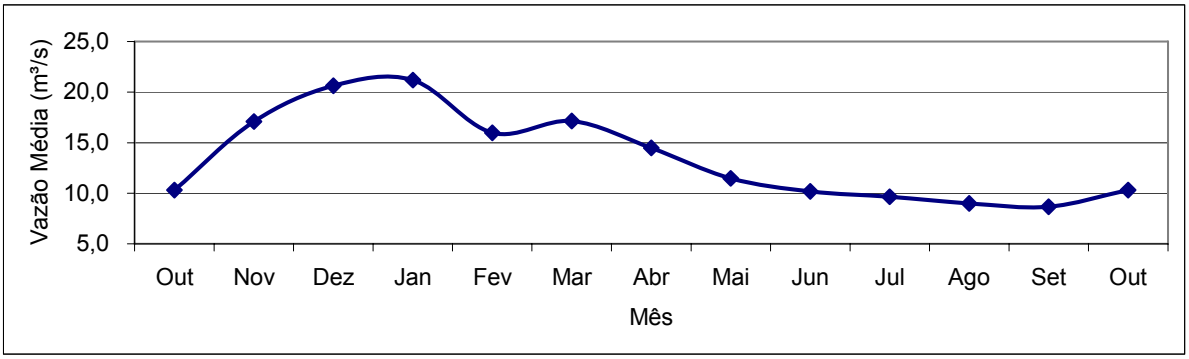


Tabela 2.3.3. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Marechal Floriano – 57190000

Série de fluviometria (m³/s) - Marechal Floriano - 55190000													
Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1950	9,75	7,38	6,78	6,63	5,88	5,97	5,17	4,12	3,70	3,52	7,38	7,91	6,18
1951	4,78	6,03	10,33	6,51	5,55	7,30	5,10	5,31	3,84	3,82	3,27	6,40	5,69
1952	11,04	11,15	10,51	7,41	5,77	5,30	5,83	5,44	5,25	4,16	6,10	11,07	7,42
1953	8,14	9,19	7,05	6,63	5,90	5,39	4,41	3,63	3,57	3,35	7,31	9,14	6,14
1954	7,15	4,07	3,26	5,82	5,08	3,47	3,62	3,26	3,34	3,24	3,32	5,07	4,23
1955	4,85	3,67	3,10	5,93	5,29	3,37	2,62	2,10	2,10	3,24	8,19	7,00	4,29
1956	4,11	2,88	6,46	3,38	2,88	2,98	2,57	3,30	2,63	3,39	6,71	10,63	4,33
1957	13,17	7,84	12,39	8,30	10,33	8,77	6,17	5,27	5,21	5,36	7,70	21,95	9,37
1958	8,89	9,26	7,53	11,33	8,25	6,88	7,06	5,32	5,54	5,81	7,46	6,40	7,48
1959	7,26	4,60	7,63	5,34	4,93	3,94	3,72	3,06	3,73	5,90	7,83	13,50	5,95
1960	15,09	11,59	30,57	16,77	11,18	9,59	9,35	7,86	6,64	6,36	8,73	7,60	11,78
1961	12,30	15,60	9,66	8,03	7,65	7,38	6,74	5,19	4,33	4,00		3,84	
1962													
1963													
1964													
1965													
1966													
1967	5,68	6,26	7,81	7,20	7,20	5,32	5,06	3,97	3,42	3,05	4,40	8,36	5,64
1968	9,79	9,27	14,71	9,18	6,67	5,91	5,69	5,56	6,66	6,99	6,19	6,08	7,73
1969	6,97	7,82	7,40	7,40	5,25	7,98	6,07	4,85	4,45	5,63	9,14	9,85	6,90
1970	14,24	10,07	7,99	8,28	6,07	5,35	7,70	6,34	5,70	7,99	15,29	10,93	8,83
1971	7,41	6,25	6,80	5,95	5,75	5,63	5,58	4,99	6,30	6,42	17,67	16,27	7,92
1972	9,05	7,79	8,51	8,45	8,11	6,16	6,65	4,97	5,74	6,02	7,46	9,89	7,40
1973	9,98	8,89	13,49	10,66	8,42	6,85	5,82	4,83	4,61	7,41	6,16	7,98	7,93
1974	10,70	7,17	8,71	8,82	6,69	5,67	5,09	4,21	4,01	5,28	4,60	6,64	6,47
1975	9,15	8,99	7,20	6,52	6,61	5,95	5,51	4,35	5,50	8,53			
1976	4,65	4,98	4,91	4,46	5,10	3,57	4,43	3,20	4,67	4,57	8,66	10,93	5,34
1977	7,97	4,70	5,14	5,64	5,16	4,28	3,79	3,34	3,66	4,71	7,11	8,54	5,34
1978	7,94	7,34	5,54	5,65	5,01	4,20	6,01	4,39	4,46	5,67	4,96	6,55	5,64
1979	11,87	18,58	13,29	10,86	9,02	7,80	6,98	6,21	5,59	5,28	6,13	7,97	9,13
1980	9,81	7,05	5,09	8,85	6,92	5,60	4,59	4,42	3,62	3,73	4,43	8,96	6,09
1981	6,01	5,30	7,15	6,74	6,33	5,31	4,85	4,26	3,37	4,48	8,75	6,80	5,78
1982	8,25	5,76	12,46	9,49	6,35	5,14	4,48	6,01	4,23	3,84	3,40	4,75	6,18
1983	8,27	5,51	4,83	7,34	6,55	4,87	4,01	3,74	5,47	8,24	11,09	11,82	6,81
1984	8,94	8,05	8,94	10,08	7,15	6,08	5,05	4,94	4,77	5,39	7,60	12,33	7,44
1985	18,76	14,14	15,55	12,58	10,83	9,00	8,55	7,50	8,05	7,56	8,62	9,66	10,90
1986	7,29	5,76	4,74	4,94	4,48	4,12	4,29	3,89	3,87	3,46	4,17	5,38	4,70
1987	5,25	4,22	7,72	6,88	5,19	4,56	3,57	3,18	3,51	3,27	7,89	7,97	5,27
1988	8,83	6,47	6,56	6,88	5,21	4,70	4,38	4,01	3,51	5,29	5,30	5,25	5,53
1989	4,36	3,84	5,53	4,50	4,17	4,39	3,62	3,71	3,35	3,15	5,05	6,75	4,37
1990	3,63	4,39	3,88	3,19	2,98	2,71	3,12	2,90	3,50	3,81	5,33	4,59	3,67
Média	**8,65**	**7,64**	**8,59**	**7,57**	**6,39**	**5,60**	**5,20**	**4,55**	**4,50**	**5,05**	**7,16**	**8,71**	**6,58**
Desvio	**3,31**	**3,42**	**4,91**	**2,68**	**1,91**	**1,69**	**1,55**	**1,26**	**1,26**	**1,60**	**3,03**	**3,57**	**1,88**
CV	**0,38**	**0,45**	**0,57**	**0,35**	**0,30**	**0,30**	**0,30**	**0,28**	**0,28**	**0,32**	**0,42**	**0,41**	**0,28**
Máximo	**18,76**	**18,58**	**30,57**	**16,77**	**11,18**	**9,59**	**9,35**	**7,86**	**8,05**	**8,53**	**17,67**	**21,95**	**11,78**
Mínimo	**3,63**	**2,88**	**3,10**	**3,19**	**2,88**	**2,71**	**2,57**	**2,10**	**2,10**	**3,05**	**3,27**	**3,84**	**3,67**

Sem Observação

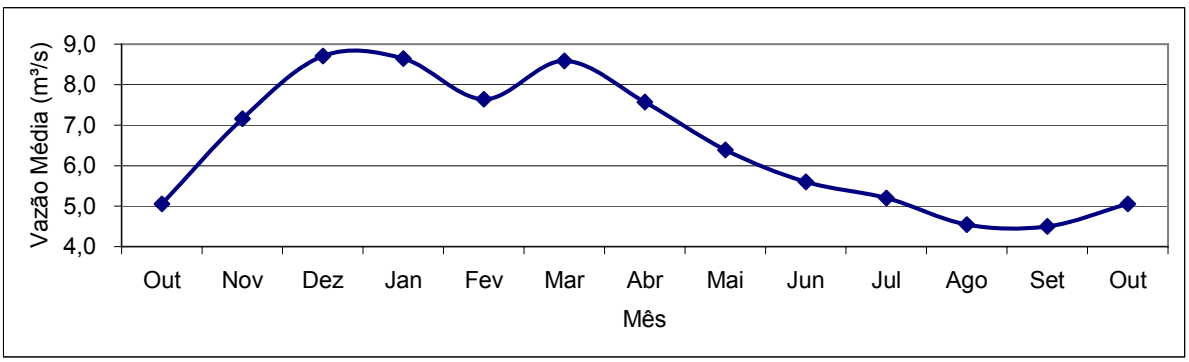
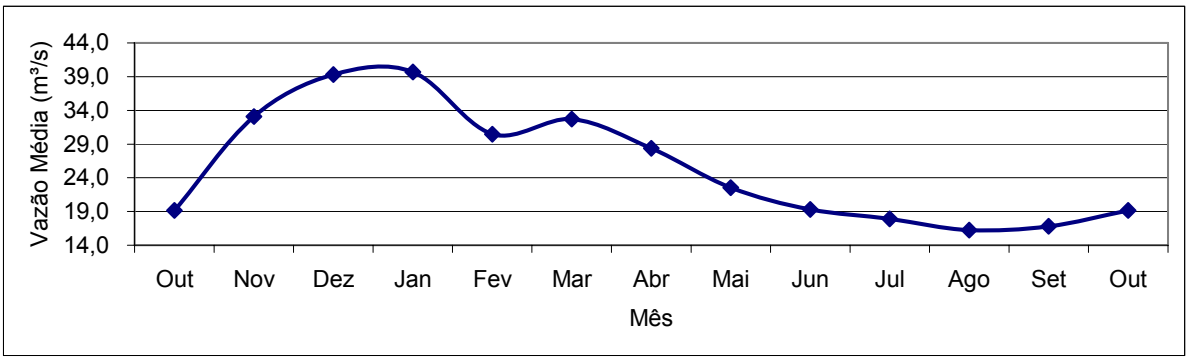


Tabela 2.3.4. Vazões médias mensais e anuais observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba – 57230000

Série de fluviometria (m³/s) - Fazenda Jucuruaba - 57230000													
Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1968	23,28												
1969													
1970													
1971								22,60	31,70	30,04	80,47	73,02	
1972	36,59	31,77	30,65	30,45	30,14	21,22	22,06	19,48	23,31	24,59	30,75	39,86	28,40
1973	36,95	34,75	65,05	48,23	32,70	25,89	22,76	19,85	18,80	27,18	22,83	34,64	32,47
1974	46,05	32,09	40,97	36,92	27,10	22,14	18,16	14,77	16,52	22,04	21,66	27,50	27,16
1975	40,54	46,83	31,36	25,97	23,46	21,41	19,83	16,22	19,78	33,30	33,29	23,72	27,98
1976	15,79	15,08	14,95	14,10	16,27	12,84	15,26	11,35	15,36	16,13	32,57	40,04	18,31
1977	33,90	19,89	17,50	18,79	18,63	14,14	11,97	9,40	11,24	17,47	30,74	37,29	20,08
1978	32,32	28,86	21,29	22,08	20,33	15,29	29,18	18,58	19,88	25,90	20,89	27,22	23,48
1979	63,08	101,40	59,59	46,86	32,95	27,13	24,65	21,99	20,36	18,74	26,18	36,73	39,97
1980	54,09	32,72	22,60	43,17	29,81	22,07	18,39	17,21	13,71	14,23	15,54	38,15	26,81
1981	20,94	16,88	24,87	26,31	23,67	18,97	15,67	16,67	15,26	18,90	44,13	32,45	22,89
1982	41,18	25,33	55,24	40,55	28,64	22,15	19,01	26,93	18,01	16,01	13,47	21,57	27,34
1983	50,09	33,82	23,33	29,73	27,38	20,53	17,07	14,69	26,13	45,14	57,14	66,61	34,30
1984	38,75	29,19	29,06	33,78	22,92	18,12	15,44	15,62	16,53	20,66	30,53	63,63	27,85
1985	109,89	63,42	58,89	39,27	31,15	25,07	24,17	21,49	26,60	26,60	37,05	47,10	42,56
1986	32,72	24,91	19,19	18,03	16,44	15,25	15,55	15,00	14,14	12,34	15,04	26,94	18,80
1987	25,49	19,11	33,63	28,00	18,46	16,61	13,66	11,27	12,72	11,55	45,39	42,21	23,17
1988	39,44	24,54	24,21	21,93	16,56	14,81	13,33	12,97	13,07	20,52	21,73	22,02	20,43
1989	17,36	14,32	23,39	17,08	14,91	15,14	11,53	12,41	10,83	10,43	22,96	39,52	17,49
1990	15,37		13,26						10,87	13,66	24,34		
1991						14,94	28,42	34,09	34,37	28,65	21,53	34,86	
1992	37,55	31,80	18,22	21,09	23,14	21,74	30,92	22,10	19,43	27,68	93,10		
1993				36,06		25,48	18,91	17,33	15,84	15,56	14,62	30,81	
1994	68,60	25,48	68,44	45,62	46,02	30,33	24,75	19,63	16,66	16,96	18,56	29,93	34,25
1995	15,36	13,72	14,64	18,80	14,50	10,58	12,02	11,32	9,88	12,92	29,30	50,92	17,83
1996	38,00	17,21	16,66	14,91	14,08	12,42	9,96	9,01	14,31	15,88	68,40	52,25	23,59
1997	48,36	27,13	50,87	32,37	24,54	18,77	15,94	14,26	14,20	18,75	26,58	51,92	28,64
1998	28,83	25,02	19,78	19,69	15,07	13,55	12,39	13,66	10,32	15,92	34,35	29,91	19,87
1999	29,05	13,51	20,13	16,79	12,85	16,02	13,23	12,75	11,76	14,29	39,83	42,44	20,22
2000	32,21	33,62	29,32	29,50	19,71	17,27	14,26	12,19	14,92	12,38	39,74	50,70	25,48
2001	30,85	20,78	17,07	13,66	12,46	11,94	10,37	10,44	12,89	20,56	67,19	39,44	22,30
2002	44,95	35,00	26,89	21,16	18,88	15,62	15,92	13,60	20,92	13,07	18,83	28,82	22,81
2003	62,94	21,75	18,94	17,99	14,02	10,90	11,38	10,33	8,84	9,46	9,98	28,74	18,77
2004	52,07	45,67	45,51	40,73	24,58	21,39	18,99	17,11	11,86	12,49	13,89	39,72	28,67
2005	29,97	50,47	80,69	32,52	30,69	48,77	29,04	20,15	20,16	16,26	40,68	56,64	38,00
2006	32,43	19,01	49,26	38,87	23,06	20,37	18,21	15,50	16,50	20,26	44,52	50,94	29,08
2007	64,24		25,87	24,17	19,06	16,39	14,64	13,24	13,98	13,00	16,65	17,29	
Média	**39,69**	**30,47**	**32,69**	**28,39**	**22,55**	**19,29**	**17,92**	**16,26**	**16,80**	**19,18**	**33,09**	**39,30**	**26,10**
Desvio	**18,64**	**17,24**	**18,00**	**10,35**	**7,52**	**7,06**	**5,77**	**5,22**	**5,83**	**7,44**	**19,22**	**13,21**	**6,65**
CV	**0,47**	**0,57**	**0,55**	**0,36**	**0,33**	**0,37**	**0,32**	**0,32**	**0,35**	**0,39**	**0,58**	**0,34**	**0,25**
Máximo	**109,89**	**101,40**	**80,69**	**48,23**	**46,02**	**48,77**	**30,92**	**34,09**	**34,37**	**45,14**	**93,10**	**73,02**	**42,56**
Mínimo	**15,36**	**13,51**	**13,26**	**13,66**	**12,46**	**10,58**	**9,96**	**9,01**	**8,84**	**9,46**	**9,98**	**17,29**	**17,49**

Sem Observação



2.3.2.2. Curvas de permanência e vazão Q90

Ordenando-se decrescentemente a série de registros diários observados nas estações fluviométricas Córrego do Galo, Marechal Floriano e Fazenda Jucuruaba, elabora-se a chamada curva de permanência das vazões nas referidas estações. Estas curvas são mostradas nas Figuras 2.3.2 e 2.3.4.

Verifica-se através destas curvas a caracterização do rio Jucu como um corpo d'água perene desde, pelo menos, sua média bacia, onde o braço norte, monitorado fluviometricamente pela estação Córrego do Galo, apresenta escoamentos durante 90% do tempo superiores aos 6,5 m³/s, numa área de drenagem de quase 1.000 km².

Já o braço sul, monitorado fluviometricamente pela estação Marechal Floriano (atualmente não mais operando), apresenta vazões de quase 3,5 m³/s escoando durante, pelo menos, 90% do tempo, numa bacia hidrográfica de cerce de 350 km².

Por fim, após a união dos dois principais braços do rio Jucu, este rio passa a apresentar vazões que permanecem durante 90% do tempo com valores de pouco mais de 11,5 m³/s, drenados em quase 1.700 km² de bacia hidrográfica.

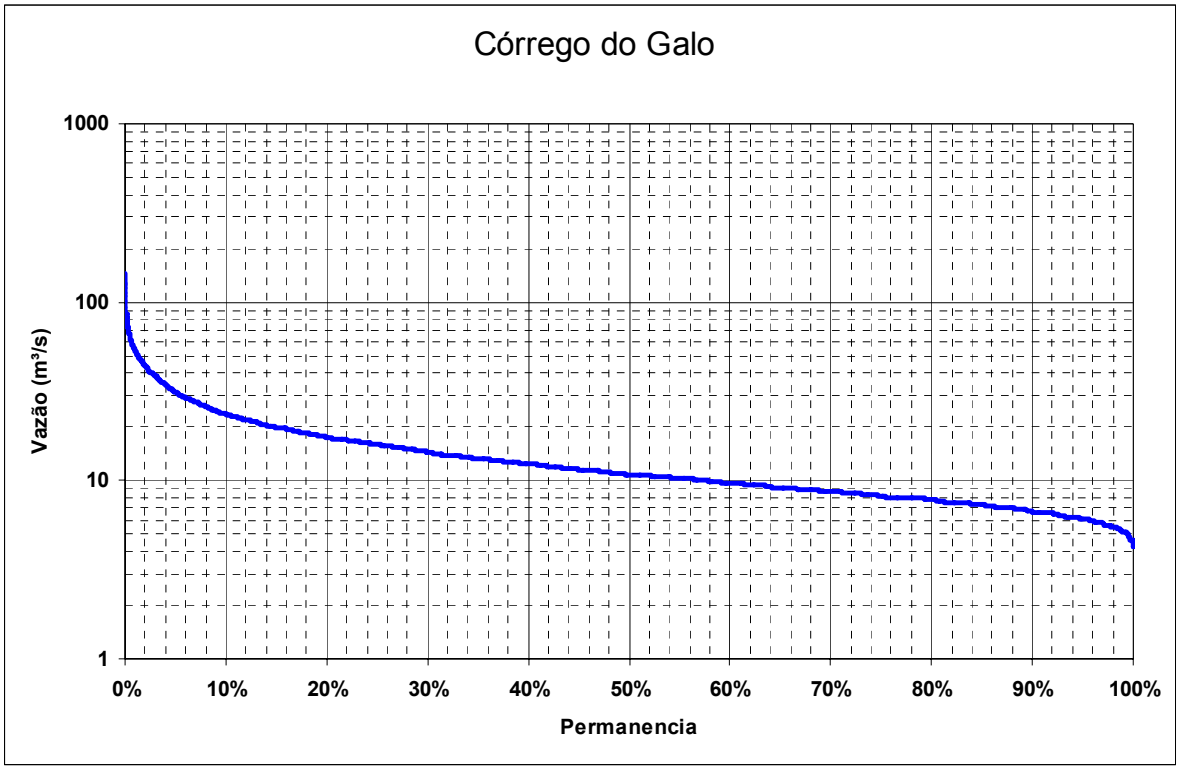


Figura 2.3.2. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Córrego do Galo

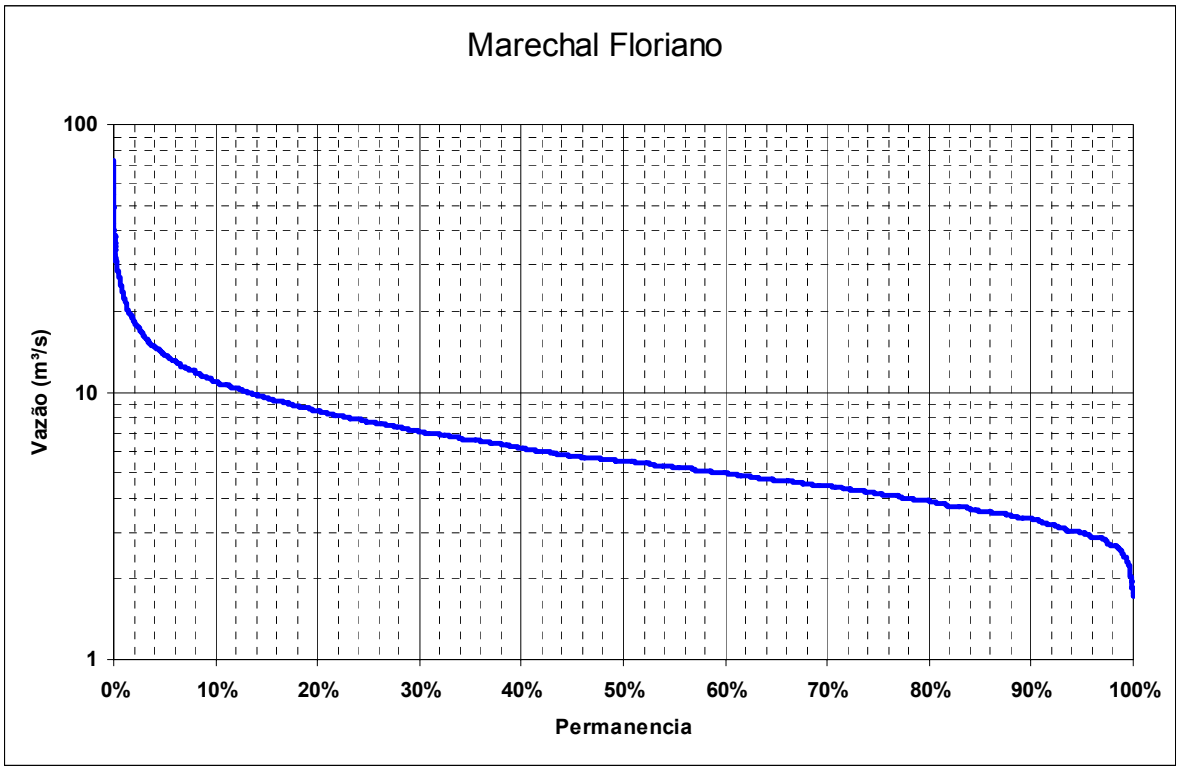


Figura 2.3.3. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Marechal Floriano

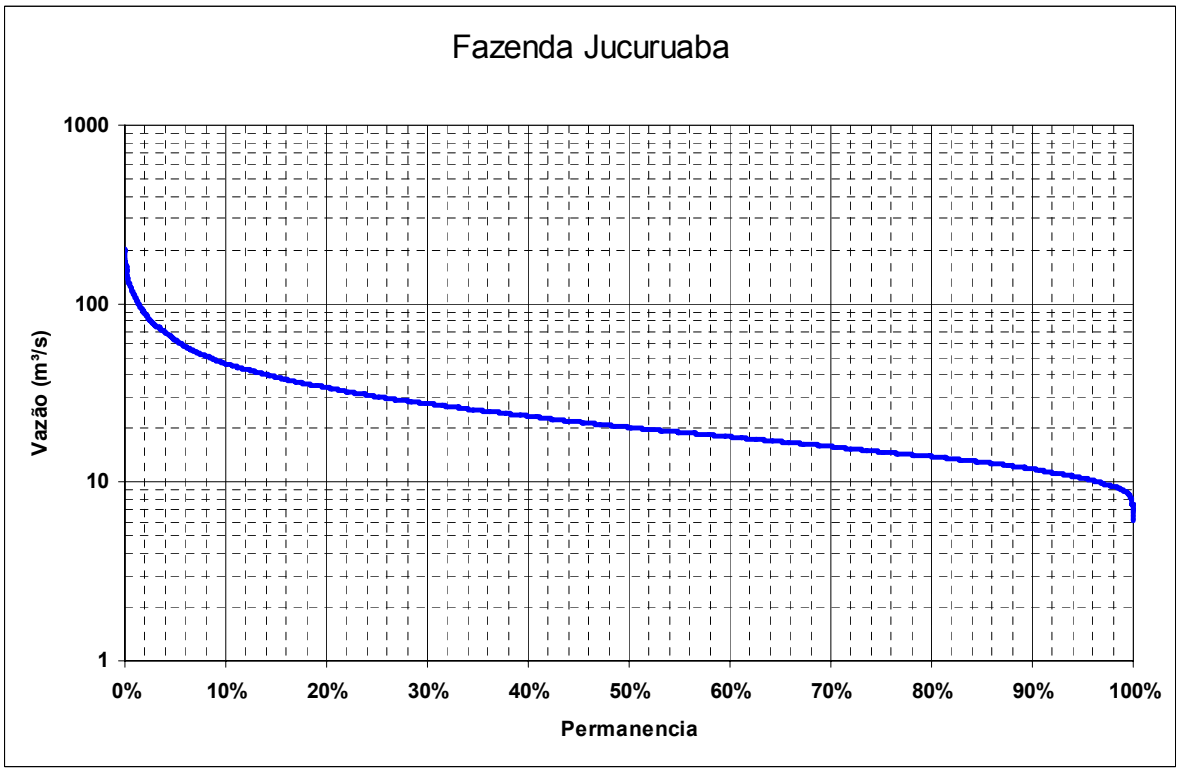


Figura 2.3.4. Curva de permanência das vazões diárias registradas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba

2.3.2.3. Vazão Q_{7-10}

Defini-se como vazão $Q_{7,10}$ aquela que representa o menor valor da média das vazões de sete dias consecutivos para o período de retorno de 10 anos. Esta vazão é adotada em cursos d'água com características de perenidade como uma vazão mínima que deve escoar superficialmente para garantir o equilíbrio ecológico aquático, ou seja, é o que se conhece como vazão ecológica.

A Figura 2.3.5 mostra o gráfico ordenado das mínimas vazões médias de 7 dias consecutivos para as séries históricas das estações fluviométricas Córrego do Galo, Marechal Floriano e Fazenda Jucuruaba.

Nesta figura, observa-se que a vazão ecológica ($Q_{7,10}$) no braço norte do rio Jucu, no local da estação Córrego do Galo é de quase 5 m³/s (5,11 l/s/km²). Já a vazão ecológica no braço sul do rio Jucu, no local da estação fluviométrica Marechal Floriano é de pouco menos de 3 m³/s (8,09 l/s/km²).

Após a união destes cursos (braço norte e sul), a vazão ecológica no rio Jucu, na seção de monitoramento fluviométrico Fazenda Jucuruaba é de quase 9 m³/s (5,20 l/s/km²).

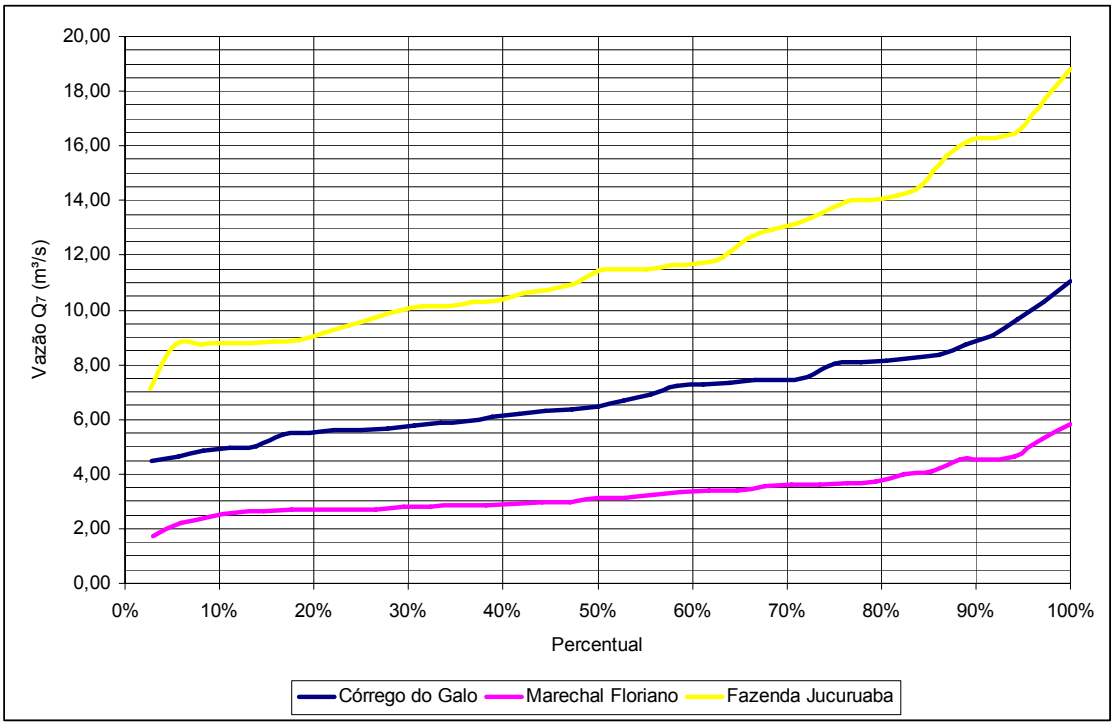


Figura 2.3.5. Mínimas vazões médias de 7 dias consecutivos para as séries históricas das estações fluviométricas Córrego do Galo, Marechal Floriano e Fazenda Jucuruaba

2.3.3. Valores Extremos de Vazões Escoadas na Bacia do Rio Jucu e suas Recorrências

Um estudo de valores extremos na bacia do rio Jucu é de fundamental importância para estimativa de cheias associadas a elevadas recorrências (no caso do presente estudo, será adotada uma recorrência de 100 anos) e que servirão de base para o correto dimensionamento das intervenções a serem propostas para solucionar a problemática das inundações, comuns às áreas urbanas localizadas próximas ao baixo curso do rio Jucu.

Desta forma, recorreu-se a técnicas estatísticas de análise dos valores máximos observados na série histórica de vazões da estação Fazenda Jucuruaba, extraindo-se de cada ano a maior vazão diária registrada.

2.3.3.1. Valor de pico da cheia

À série anual de máximos diários de vazões, ajustou-se um conjunto de distribuições de probabilidade clássicas na hidrológica estatística, que primam pela análise de extremos, realizando-se um teste de aderência para avaliar o ajuste entre tal série de máximos diários e as distribuições consideradas.

A Tabela 2.3.5 mostra a série anual de vazões máximas diárias, enquanto que a Tabela 2.3.6 mostra as distribuições de probabilidade ajustadas e os resultados obtidos.

Diante dos ajustes realizados, adotou-se a cheia com recorrência centenária calculada a partir da distribuição LogExtremo Tipo I, a qual teve seu ajuste à série anual de máximos diários aceito pelo teste de aderência Qui-Quadrado e apresenta valores conservadores em relação aos demais ajustes (distribuição que apresenta a maior vazão centenária dentre as demais) sem apresentar, contudo, valores absurdos ou impossíveis de serem gerados na bacia hidrográfica do rio Jucu.

Assim, fica escolhido o valor de 326,57 m³/s como sendo a vazão média diária de pico de uma cheia centenária, escoada no local onde se encontra instalada a estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba.

Tabela 2.3.5. Série anual de vazões máximas observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba

Ano	Vazão Máxima (m³/s)	Ano	Vazão Máxima (m³/s)	Ano	Vazão Máxima (m³/s)	Ano	Vazão Máxima (m³/s)
1972	84,20	1980	131,57	1988	83,10	2000	125,00
1973	162,00	1981	88,60	1989	87,90	2001	161,00
1974	130,00	1982	118,00	1994	152,99	2002	92,07
1975	126,00	1983	121,78	1995	101,90	2003	165,75
1976	81,60	1984	93,88	1996	137,00	2004	110,80
1977	91,24	1985	179,74	1997	169,00	2005	155,00
1978	100,64	1986	72,30	1998	80,63	2006	135,61
1979	204,77	1987	162,00	1999	104,40	2007	129,13

Tabela 2.3.6. Ajuste das distribuições de probabilidade à série anual de vazões máximas observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba

Período de Retorno, ou Recorrência (anos)	Distribuições de Probabilidade Ajustadas e Valores Extremos de Vazões Médias Diárias (m³/s)						
	Normal Truncada	LogNormal de 2 Parâmetros	LogNormal de 3 Parâmetros	Extremo Tipo I	LogExtremo Tipo I	Pearson Tipo III	LogPearson Tipo III
2	123,11	118,57	120,59	117,84	113,60	120,54	118,32
2	129,30	124,67	126,76	124,36	119,77	126,74	124,43
5	152,46	150,46	151,36	152,67	150,72	151,47	150,37
10	168,14	170,89	169,48	175,72	181,74	169,62	171,14
20	181,42	190,34	185,80	197,84	217,48	185,90	191,06
50	196,83	215,71	205,97	226,46	274,37	205,89	217,30
100	207,46	235,15	220,67	247,92	326,57	220,36	237,58
500	230,04	282,45	254,25	269,29	388,44	253,07	287,52
1.000	239,17	304,18	268,78	297,49	488,36	267,07	310,75
10.000	268,08	384,64	318,76	318,80	580,60	314,42	398,17
Valor Qui-Quadrado da Distribuição Ajustada	7,063	3,625	3,625	2,375	4,875	3,625	3,625
Valor Limite do Teste de Aderência Qui-Quadrado com 95% de Confiança	9,492						

2.3.3.2. Hidrograma histórico representativo

Conhecendo-se o valor que representa o pico da cheia diária média com recorrência centenária, tem-se que selecionar na série de vazões escoadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba um hidrograma que represente um evento extremo, no qual a vazão escoada no rio Jucu encontrava-se em recessão, ocorrendo em seguida uma precipitação que gerou um escoamento superficial na bacia hidrográfica proporcionando a formação de tal hidrograma, desde o tempo de ascensão até atingir o pico e retornando ao estado de recessão.

A Figura 2.3.6 mostra o hidrograma selecionado da série observada de vazões médias diárias escoadas na estação Fazenda Jucuruaba e a chuva média diária para toda a bacia calculada pelo método de Thissen.

Verifica-se que o hidrograma é satisfatório, uma vez que vindo de um período de recessão, reage à precipitação média na área de contribuição, atinge o pico de quase 120 m³/s e retorna a recessão em aproximadamente 24 horas depois de cessada a chuva.

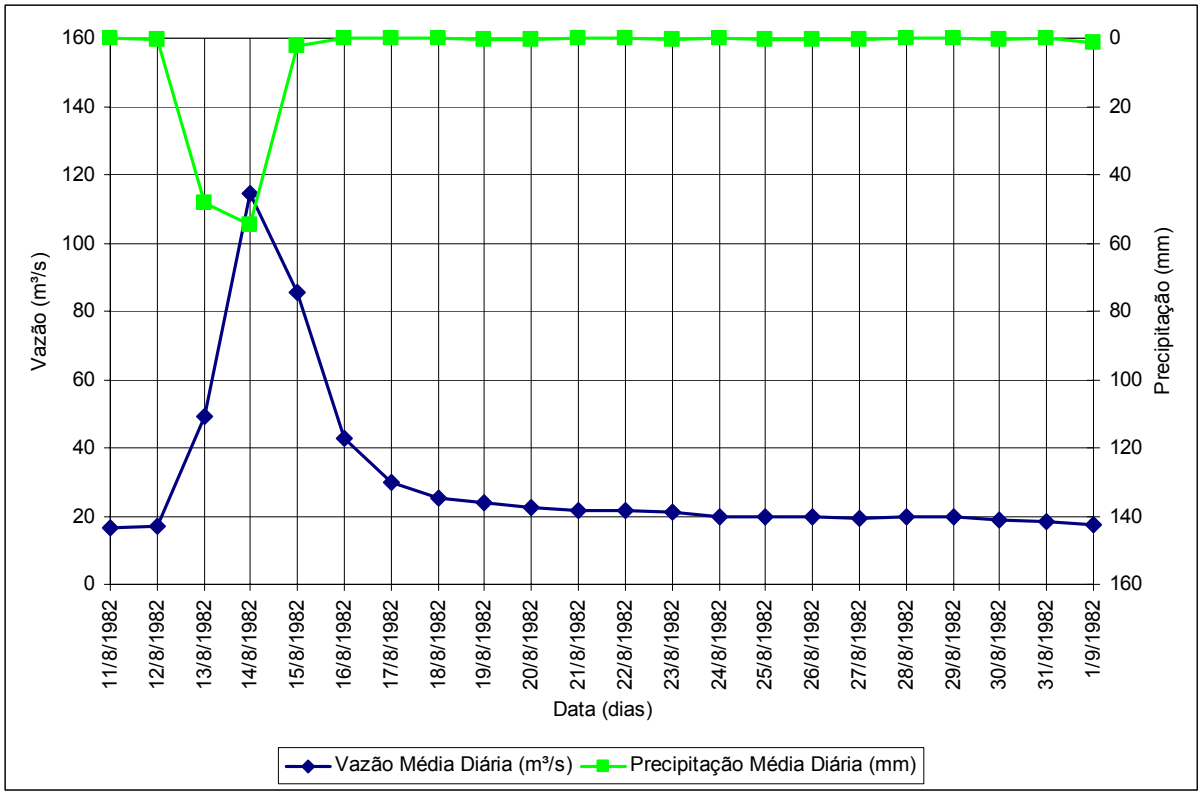


Figura 2.3.6. Hidrograma representativo ao estudo de cheias do rio Jucu na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba

2.3.3.3 Hidrograma da cheia centenária

Levando-se em conta que, como o hidrograma representativo mostrado anteriormente advém de uma série de valores médios diários, o valor de pico da cheia média diária foi majorado em cerca de 10% para melhor representar o pico da cheia máxima diária.

Assim, para determinação do hidrograma correspondente a cheia centenária, discretizou-se os eventos diários em intervalos de tempo de 12 horas, por meio do cálculo da média de dois dias consecutivos.

Com base nas vazões calculadas para cada 12 horas, determinou-se a proporção entre cada valor e o pico do hidrograma representativo, multiplicando-se a fração obtida em cada intervalo de tempo, pelo valor da cheia centenária diária estimada, construindo-se assim, o hidrograma correspondente a uma cheia com recorrência de 100 anos no rio Jucu, aonde se encontra instalada a estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba.

A Figura 2.3.7 mostra o hidrograma da cheia centenária estimada, que escoa no rio Jucu no local de monitoramento fluviométrico Fazenda Jucuruaba.

O tempo de pico do hidrograma é estimado em 36 horas e o tempo de base decorrido entre o início e o final do escoamento superficial (quando o escoamento no rio continua em virtude do fluxo de base) é de 96 horas.

Já o tempo de concentração definido como o tempo que toda bacia hidrográfica leva para contribuir com o escoamento superficial e que pode ser calculado como o tempo entre o final da precipitação e a mudança de inclinação do hidrograma no trecho de recessão, varia entre 12 horas e 24 horas.

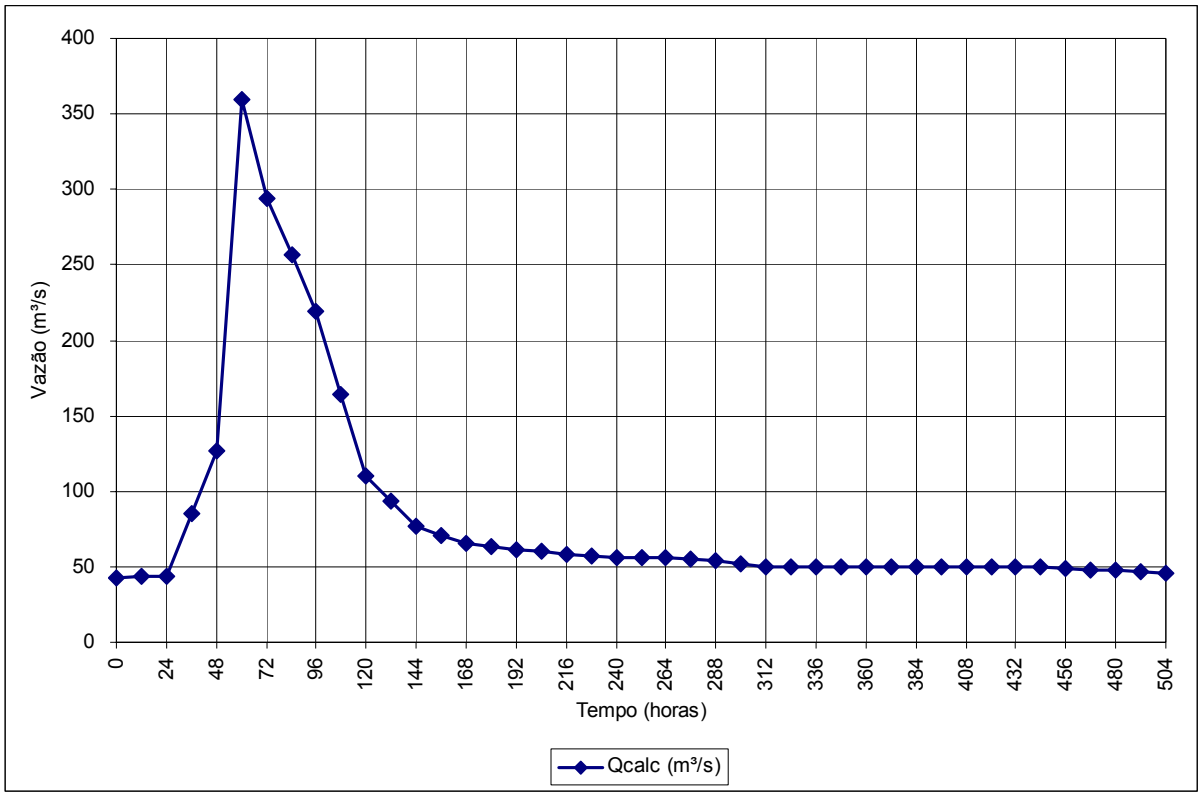


Figura 2.3.7. Hidrograma da cheia com recorrência de 100 anos, estimado para a seção de monitoramento Fazenda Jucuruaba

3. UMA SOLUÇÃO PARA O CONTROLE CHEIAS REGIONAIS NA BACIA DO RIO JUCU

3. UMA SOLUÇÃO PARA O CONTROLE CHEIAS REGIONAIS NA BACIA DO RIO JUCU

3.1. Possíveis usos e localização de um Reservatório na bacia do rio Jucu

Dado ao porte do rio Jucu e a sua característica de geração de cheias de caráter regional, este corpo d'água se constitui num persistente gerador de cheias de grandes proporções, as quais agravam sensivelmente os problemas de macro-drenagem das áreas urbanas de Vila Velha. Por outro lado, não se pode esquecer que este rio representa, também, o manancial mais atrativo da região e como tal vem sendo explorado desde longa data.

Como já foi salientado, a atual captação da CESAN no Rio Jucu se localiza num promontório localizado junto ao antigo Canal dos Jesuítas, na localidade de Caçaroca.

Por outro lado, o diagnóstico desenvolvido neste estudo ponta importantes problemas que afetam o rio Jucu na vizinhança da atual captação da CESAN (Caçaroca), destacamdo-se a exploração desordenada de jazidas e construção de aterros, a poluição do manancial superficial decorrente do lançamento de resíduos sólidos domésticos, industriais e hospitalares, bem como o despejo e acumulo de resíduos urbanos próximos as margens do rio Jucu além de usos de pesticidas e herbicidas em plantações localizadas nas áreas ribeirinhas.

Frisa-se ainda que, em decorrência da intensa e desordenada ocupação de área alagáveis ou muito baixas, as cheias regionais do rio Jucu, mesmo não as provocando diretamente, favorecem a ocorrência de inundações de áreas urbanas, sobremaneira na porção baixa da bacia.

Assim, a busca de uma maior oferta hídrica, associado à necessidade de amenizar a problemática das inundações que o rio Jucu causados nas áreas urbanas que se desenvolvem em seu baixo curso, procurou-se a identificação de um local (boqueirão) que permitisse a construção de uma barragem com os seguintes objetivos:

- aumentar a oferta hídrica firme para o abastecimento da região;

- amenizar significativamente, as inundações decorrentes de cheias com recorrências elevadas;

- aproveitar as características físicas da região no que concerne a aptidão para gerar energia elétrica.

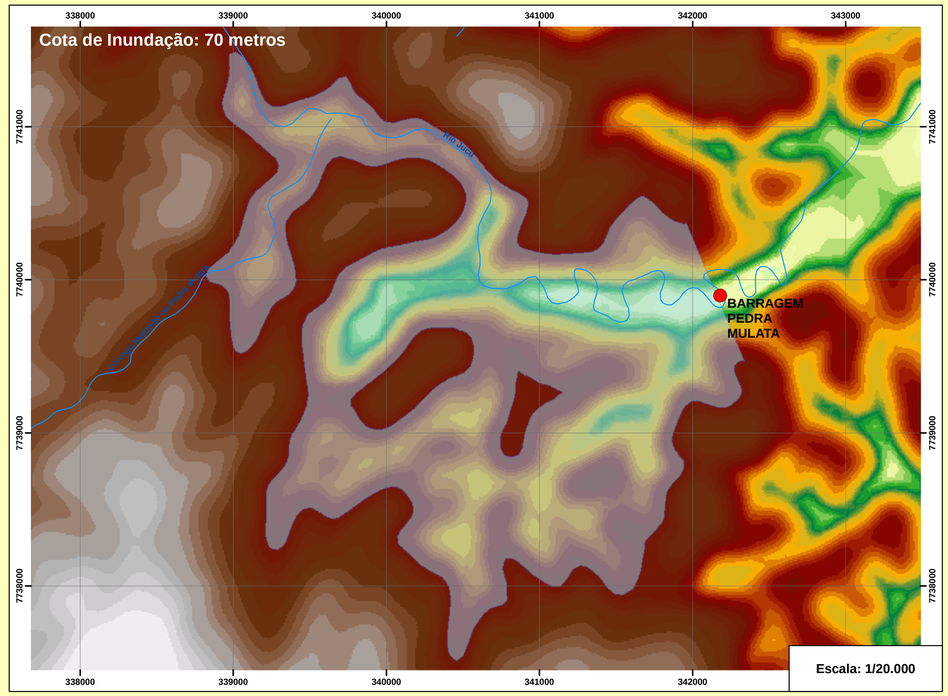
Foi então identificado um boqueirão localizado cerca de 4,5 km a jusante da confluência do córrego Pedra Mulata com o rio Jucu, na várzea deste último rio, no sopé do grupo de serras denominado, também, Pedra Mulata, sendo este, então, o nome sugerido para denominar a barragem aí locada (vide Figura 3.1).

Trata-se de um boqueirão razoavelmente encaixado entre ombreiras íngremes, cuja mudança rápida de cotas faz com que o nível topográfico logo varie entre menos de 9 m no fundo, até 80 m nas ombreiras, sendo necessário para isto um comprimento de barragem de não mais que 1.000 m.

A este boqueirão afluem as águas escoadas em uma área de drenagem de 1.606 km² da bacia do rio Jucu, cuja área total de drenagem é de pouco mais de 2.000 km², ou seja, a construção de um barramento no local selecionado é capaz de controlar os escoamentos gerados em 80% da bacia hidrográfica do referido rio.

Desta forma, a barragem Pedra Mulata é vista como peça chave na tentativa de solucionar tanto a problemática de controle das cheias na bacia do baixo rio Jucu como proporcionar uma oferta hídrica com alta garantia e oferecendo um atrativo potencial energético.

Detalhe da Bacia Hidráulica da Barragem Pedra Mulata



Escala: 1/20.000

Modelo Digital do Terreno
Cota (m)

0 - 5	9	13	17	21 - 25	41 - 45	71 - 80	126 - 150	226 - 250	351 - 375
6	10	14	18	26 - 30	46 - 50	81 - 90	151 - 175	251 - 300	376 - 400
7	11	15	19	31 - 35	51 - 60	91 - 100	176 - 200	301 - 325	401 - 450
8	12	16	20	36 - 40	61 - 70	101 - 125	201 - 225	326 - 350	451 - 500

LEGENDA

- Localidades
- Barragem Pedra Mulata
- Bacia Hidráulica (Cota 70 metros)
- Bacia do Rio jucu
- Rios

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES

Elaboração dos Estudos para Desassoreamento e Regularização dos Leitos e Margens do Rio Jucú, Formate e Marinho na Região Metropolitana da Grande Vitória

Conteúdo:			
	Localização da barragem Pedra Mulata		
Figura: 3.1	Escala: 1:50.000	Data: Dezembro/2008	

3.2. A capacidade de regularização de vazões

3.2.1. A Equação do Balanço Hídrico

A avaliação da disponibilidade hídrica de um dado reservatório, ou seja, o estudo da capacidade de armazenamento d'água do lago represado a partir da construção de uma barragem conseguir regularizar vazões é realizado mediante a resolução da chamada equação do balanço hídrico, a qual contabiliza todas as afluências ou aportes aos reservatórios, bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos / evaporações. Essa equação tem, em geral, a seguinte formulação:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i - Ve_i - Vv_i - Q_{ab_i}$$

com:

Vr_i = volume armazenado no mês i

Vr_{i-1} = volume armazenado no mês i-1

Va_i = volume afluente ao reservatório no mês i

Vp_i = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês i

Ve_i = volume evaporado no reservatório no mês i

Vv_i = volume vertido no mês i

Q_{ab_i} = volume regularizado ou retirado no mês i

No caso de simulação integrada do sistema, onde a topologia dos reservatórios é considerada, tanto os eventuais volumes vertidos por um dado reservatório, como as vazões ecológicas liberadas pelo mesmo, geralmente se constituem em volumes afluentes aos reservatórios localizados a jusante. Nesse caso, a equação do balanço hídrico adquire a seguinte forma:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i + Vvm_i + V_{ecol_i} - Ve_i - Vv_i - Q_{ab_i}$$

onde:

Vvm_i = volume vertido a montante no mês i;

V_{ecol_i} = volume ecológico liberado a montante no mês i.

O procedimento de simulação da operação de um reservatório consiste, portanto, na solução da equação apresentada acima para cada um dos períodos (meses) da simulação. Durante a solução das referidas equações podem ser consideradas, ainda, as seguintes hipóteses:

Quando Vr_i ultrapassa a capacidade máxima do reservatório:

$Vv_i > Qab_i$, tem-se que $Qab_i = 0$

$Vv_i < Qab_i$, tem-se que $Qab_i = Qab_i - Vv_i$

Quando o reservatório em um dado mês não conseguir suprir a vazão retirada, vale então para esses meses:

$Qab_i' < Qab_i$

Com:

Qab_i' = vazão retirada nos meses secos extremos

Quando ocorre o segundo caso, denomina-se falha do reservatório no suprimento. A garantia de abastecimento (g) para certa vazão regularizada pré-fixada é dada pela relação entre o número de falhas anotadas no período de simulação (nv) e o número de períodos simulados (n):

$$g = \left(1 - \frac{nv}{n}\right) * 100$$

A solução da equação do balanço hídrico e o correspondente cálculo de “g” para uma faixa de valores de vazão regularizada, permitem o estabelecimento da chamada curva de garantia, curva esta que relaciona vazão regularizada com níveis de garantia.

O nível de garantia adotado usualmente em estudos hidrológicos para fins hidroagrícolas no Brasil é de 90%, sendo de 95% para fins energéticos, e de 99% a 100% para fins de abastecimento humano e industrial.

Deve-se ficar claro que o conceito de vazão regularizada com garantia de 100% é polêmico, uma vez que o cálculo da vazão regularizada está diretamente associado a uma série cronológica de eventos (no caso, vazões afluentes). Assim, um simples incremento temporal nas séries, como por exemplo, a inclusão ou exclusão de mais uma década de dados, ou até mesmo de um ano atípico, provavelmente modificará o valor da vazão regularizada dita como garantida com 100%, ou seja, sempre e sem falhar.

Neste sentido, recomenda-se utilizar o conceito de vazão regularizada firme, como aquela associada a uma garantia de 99% que, para um passo de tempo de simulação mensal, significaria assumir um risco de que em dez anos de operação do reservatório, ou sistema integrado de reservatórios, aproximadamente em apenas 1,2 meses não se conseguiria ofertar toda a vazão regularizada, previamente determinada. Ainda assim, dado ao curto período de tempo que o sistema falharia, seria bem possível ajustar-se uma regra de operação momentânea, por parte dos órgãos gestores do sistema, a fim de se evitar o colapso no abastecimento.

Esta recomendação decorre de observações empíricas de que as vazões regularizadas com 100% de garantia podem ser, em alguns casos, sensivelmente inferiores aos valores das vazões regularizadas, calculadas para garantias de 99%. Estes resultados são fortemente influenciados pelo fato de que as vazões regularizadas com garantia de 100% são pontos atípicos da curva Vazão versus Garantia.

3.2.2. Modelo de Simulação Adotado: O Programa Acqua

O software ACQUA – Módulo de Análise e Previsão, desenvolvido pela equipe de engenheiros da Acquatool Consultoria, foi elaborado na Linguagem de Programação Visual Basic 6.0, linguagem esta desenvolvida a partir da linguagem BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code). Tal linguagem caracteriza-se por sua boa interface gráfica e eficiência computacional, sendo a linguagem de programação de apoio adotada pelos mais variados programas de uso corriqueiro em engenharia (AutoCad, Access, Excel, Word, dentre outros).

O programa ACQUA foi desenvolvido objetivando auxiliar a tomada de decisão, por parte dos órgãos gestores dos recursos hídricos, no tocante ao uso das águas armazenadas nos açudes. Para tanto, fez-se necessário:

- Desenvolvimento de rotinas para a determinação do Binômio Vazão Regularizada x Garantia e sub-rotinas para a análise de volumes de alerta;
- Desenvolvimento de rotinas para a determinação do esgotamento dos reservatórios, considerando um determinado padrão de afluência e de retirada, e o volume inicial do reservatório;
- Desenvolvimento de uma eficiente máscara gráfica capaz de se sobrepor às pesadas rotinas de banco de dados e de análise, tornando simples e intuitiva a utilização do programa;

As rotinas matemáticas e de programação foram desenvolvidas objetivando minimizar o tempo computacional, associado à obtenção de bons resultados do ponto de vista da engenharia.

- **Determinação do Binômio Vazão Regularizada x Garantia**

O módulo de determinação do Binômio Vazão Regularizada x Garantia do programa ACQUA é capaz de determinar, para um dado reservatório:

1 - Vazão regularizada em função de uma determinada garantia.

2 - Garantia em função de uma determinada vazão regularizada.

De acordo com as considerações de simulação dos reservatórios, onde para o reservatório ativo e os a montante do mesmo, determina-se quais serão simulados, a garantia ou vazão regularizada esperada, aplicando-se em seguida os conceitos sobre a Equação do Balanço Hídrico mostrados anteriormente.

O programa ACQUA inicia o procedimento de cálculo a partir do reservatório mais a montante, simulando-o de acordo com as configurações pré-determinadas, gerando vazões vertidas que são acrescidas aos reservatórios de jusante.

Deve-se, ainda, observar as seguintes considerações de cálculo:

a) Caso se opte por desabilitar um reservatório, a área de contribuição controlada pelo mesmo é acrescida automaticamente à área de contribuição do reservatório imediatamente à jusante.

b) Para efeito de cálculo, adota-se o volume inicial para a simulação igual à metade do volume útil acrescida do volume mínimo do reservatório como se segue:

$$Vini = \left(\frac{Vmáx - Vmín}{2} \right) + Vmín$$

Onde:

V_{ini} = Volume inicial de cálculo

V_{max} = Volume máximo do reservatório

V_{min} = Volume mínimo do reservatório

c) Na determinação da vazão regularizada em função de uma determinada garantia deve-se observar, em geral, que não é possível chegar ao exato valor especificado da garantia, sendo, portanto, necessária à introdução de uma faixa de solução admissível. Quanto maior a faixa de solução mais rápida é a convergência, porém, os resultados se tornam menos acurados. Após intensivos estudos limitou-se o resultado a uma diferença máxima de 0,3% para mais e para menos.

Máscara Gráfica

A mascara gráfica desenvolvida para o programa ACQUA tem como principais características:

a) Desenvolvido em ambiente Windows;

b) Uso simples e intuitivo;

c) Utilização de bases gráficas representativas da Bacia hidrográfica estudada;

d) Banco de dados dos reservatórios;

e) Apresentação dos resultados das simulações na tela do computador (numérico e gráfico);

f) Geração de arquivos texto com dados dos reservatórios e das análises realizadas.

3.2.3. Parâmetros e Dados Necessários para a Simulação da Operação Integrada

3.2.3.1. Topologia dos Reservatórios

Em uma simulação integrada de reservatórios é de fundamental importância o conhecimento da topologia de interligação entre estes, uma vez que os vertimentos de um dado reservatório se transformam em afluência aos reservatórios localizados a jusante.

No caso da barragem Pedra Mulata, não há identificação de reservatórios de porte considerado, localizados a montante. Sendo assim, trata-se de uma operação isolada de um reservatório, onde o aporte hídrico é proveniente dos escoamentos gerados superficialmente na bacia hidrográfica por ele controlada.

3.2.3.2. Curvas Cota x Área x Volume e Evaporação

As dimensões das bacias hidráulicas dos barramentos é outro parâmetro fundamental na simulação da operação de reservatórios, uma vez que o contínuo processo de enchimento e esvaziamento decorrente dos aportes, perdas e retiradas hídricas modificam constantemente a área inundada e o espelho d'água sobre o qual incidem as perdas por evaporação.

Esta variável climática é capaz, no Estado do Espírito Santo, de "consumir" mais de 1 (um) metro de espelho d'água por ano (média histórica observada no município de Linhares, pelo Instituto de Nacional Meteorologia – INMET), que multiplicado pela variação temporal das áreas inundadas pelos reservatórios durante o período de simulação, representa volumes consideráveis que devem fazer parte do processo.

A Tabela 3.1 mostra a evaporação média observada pelo INMET no município de Linhares, enquanto que a Figura 3.2 mostra a curva Cota x Área x Volume para o reservatório formado a partir da barragem Pedra Mulata.

Vale destacar que estas curvas Cota x Área x Volume foram estimadas tomando por base o Modelo Digital de Elevação do Terreno elaborado no contexto do presente estudo e mostrado em relatórios anteriores.

Tabela 3.1. Evaporação Média no município de Linhares

Evaporação Média (mm)												
jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
109,1	99,5	94,2	81,1	75,4	69,9	71,5	90,5	87,1	91,6	95,4	94,9	1060,2

Fonte: INMET

Cota (m)	Área (ha)	Volume (hm³)
9,00	0,00	0,00
10,00	8,46	0,03
20,00	85,24	4,71
30,00	164,64	17,21
40,00	290,91	39,98
50,00	427,68	75,91
60,00	601,67	127,38
70,00	672,35	191,08
80,00	736,65	261,53

Bacia hidrográfica: Jucu
Curso barrado: Rio Jucu
Município: Viana / ES
Bacia Hidrográfica Total (km²): 1606,57
Bacia Hidrográfica Não Controlada (km²): 1606,57

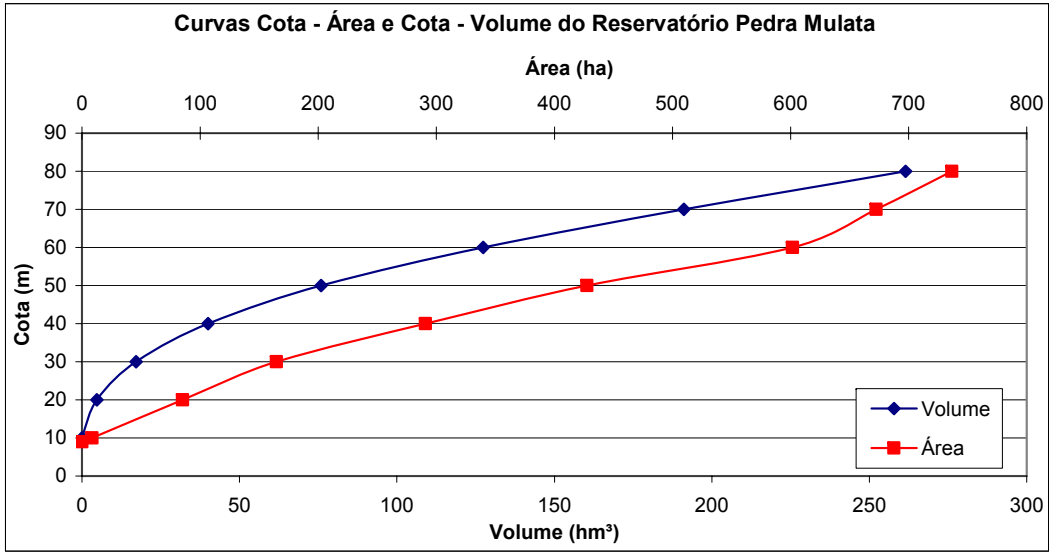


Figura 3.2. Curva Cota x Área x Volume do reservatório da barragem Pedra Mulata

3.2.3.3. Vazões Afluentes

As séries de vazões afluentes ao reservatório simulado representam o principal aporte hídrico e condiciona a vazão regularizada por tais estruturas.

No caso do reservatório da barragem Pedra Mulata, foi adotado como série de vazões afluentes, àquela observada na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, guardada as devidas proporções de áreas entra ambas as bacia hidrográficas, tendo, contudo, de preencher os períodos sem observações verificados na série histórica da estação Fazenda Jucuruaba.

Para tanto, adotou-se como base a série de vazões observada na estação fluviométrica Córrego do Galo, cujo período de dados observados é capaz de preencher as falhas na série de vazões da estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba a partir do ano de 1969.

A adoção da estação Córrego do Galo no preenchimento das falhas da estação Fazenda Jucuruaba foi motivada, além da hipótese de semelhanças hidrológicas entre as bacias das duas estações, pela semelhança na vazão específica de ambas as estações, cuja ordem de grande é 15 l/s/km².

Para confirmar a possibilidade de utilização da estação fluviométrica Córrego do Galo no preenchimento dos meses com falha nos registros observados na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, procedeu-se a plotagem de uma curva dupla massa acumulada das vazões específicas registradas em períodos comum para ambas as estações, a fim de se verificar mudanças bruscas na tendência na curva obtida, o que levaria a descartar a utilização da estação Córrego do Galo para preenchimento da estação Fazenda Jucuruaba, já que a hipótese de semelhanças hidrológicas formulada não se confirmaria.

A Figura 3.3 mostra a curva dupla massa acumulada das vazões específicas entre as estações fluviométricas Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba.

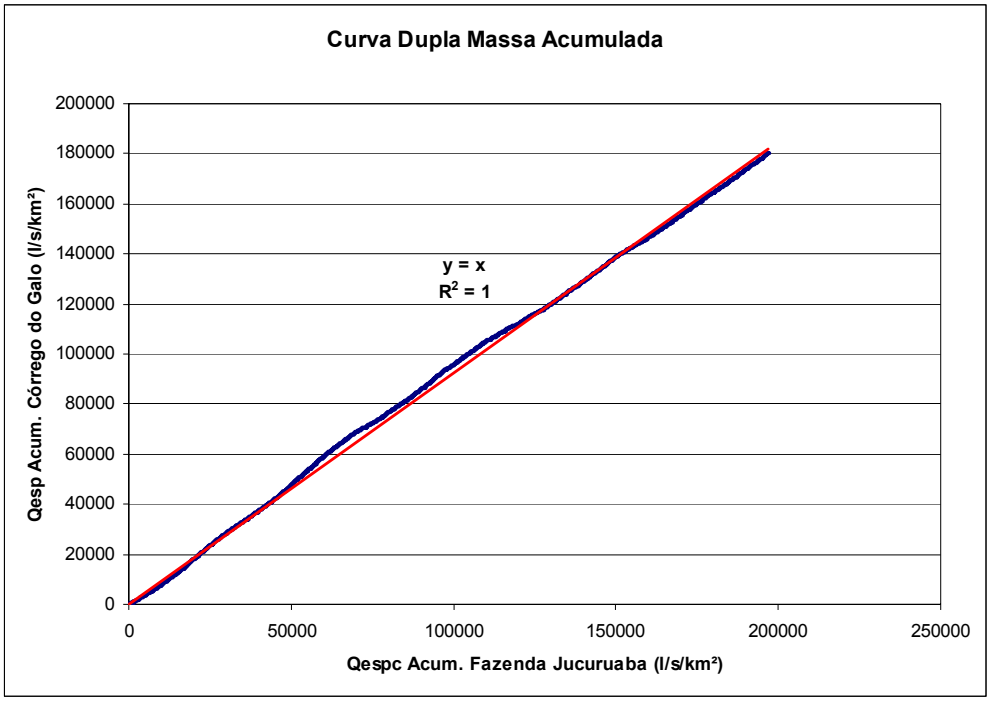


Figura 3.3. Curva dupla massa acumulada das vazões específicas observadas nas estações fluviométricas Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba

Como se verifica na curva dupla massa acumulada mostrada acima, a relação entre os registros específicos (cumulativos) de vazões observadas entre as estações fluviométricas Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba mostrou um ajuste satisfatório, não havendo mudanças bruscas de inclinação na curva plotada, o que vem a corroborar na hipótese de semelhanças hidrológicas entre as bacias hidrográficas de ambas as estações.

Assim, para o preenchimento dos períodos sem dados de vazões na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba com os dados de vazões observados na estação Córrego do Galo, basta multiplicar as vazões desta última no período desejado pelo fator de proporcionalidade de área entre ambas as estações, obtendo a série média mensal contínua para Fazenda Jucuruaba apresentada na Tabela 3.2, a partir da qual foi obtida a série de vazões base para determinação da capacidade de regularizar vazões da Barragem Pedra Mulata mostrada na Tabela 3.3.

Tabela 3.2. Série contínua de vazões médias mensais na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba

Série de fluviometria (m³/s) - Fazenda Jucuruaba - 57230000													
Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1969	23,37	28,38	20,06	16,64	14,45	22,21	15,81	13,18	11,58	13,72	30,98	38,25	20,72
1970	55,47	36,64	24,49	25,02	17,99	15,13	20,18	17,23	16,53	26,53	59,41	60,08	31,22
1971	22,51	21,64	24,90	17,39	15,52	16,14	16,43	22,60	31,70	30,04	80,47	73,02	31,03
1972	36,59	31,77	30,65	30,45	30,14	21,22	22,06	19,48	23,31	24,59	30,75	39,86	28,40
1973	36,95	34,75	65,05	48,23	32,70	25,89	22,76	19,85	18,80	27,18	22,83	34,64	32,47
1974	46,05	32,09	40,97	36,92	27,10	22,14	18,16	14,77	16,52	22,04	21,66	27,50	27,16
1975	40,54	46,83	31,36	25,97	23,46	21,41	19,83	16,22	19,78	33,30	33,29	23,72	27,98
1976	15,79	15,08	14,95	14,10	16,27	12,84	15,26	11,35	15,36	16,13	32,57	40,04	18,31
1977	33,90	19,89	17,50	18,79	18,63	14,14	11,97	9,40	11,24	17,47	30,74	37,29	20,08
1978	32,32	28,86	21,29	22,08	20,33	15,29	29,18	18,58	19,88	25,90	20,89	27,22	23,48
1979	63,08	101,40	59,59	46,86	32,95	27,13	24,65	21,99	20,36	18,74	26,18	36,73	39,97
1980	54,09	32,72	22,60	43,17	29,81	22,07	18,39	17,21	13,71	14,23	15,54	38,15	26,81
1981	20,94	16,88	24,87	26,31	23,67	18,97	15,67	16,67	15,26	18,90	44,13	32,45	22,89
1982	41,18	25,33	55,24	40,55	28,64	22,15	19,01	26,93	18,01	16,01	13,47	21,57	27,34
1983	50,09	33,82	23,33	29,73	27,38	20,53	17,07	14,69	26,13	45,14	57,14	66,61	34,30
1984	38,75	29,19	29,06	33,78	22,92	18,12	15,44	15,62	16,53	20,66	30,53	63,63	27,85
1985	109,89	63,42	58,89	39,27	31,15	25,07	24,17	21,49	26,60	26,60	37,05	47,10	42,56
1986	32,72	24,91	19,19	18,03	16,44	15,25	15,55	15,00	14,14	12,34	15,04	26,94	18,80
1987	25,49	19,11	33,63	28,00	18,46	16,61	13,66	11,27	12,72	11,55	45,39	42,21	23,17
1988	39,44	24,54	24,21	21,93	16,56	14,81	13,33	12,97	13,07	20,52	21,73	22,02	20,43
1989	17,36	14,32	23,39	17,08	14,91	15,14	11,53	12,41	10,83	10,43	22,96	39,52	17,49
1990	15,37	14,30	13,26	15,09	11,18	8,93	14,25	16,44	10,87	13,66	24,34	17,69	14,61
1991	41,23	26,17	30,86	23,14	17,46	14,94	28,42	34,09	34,37	28,65	21,53	34,86	27,98
1992	37,55	31,80	18,22	21,09	23,14	21,74	30,92	22,10	19,43	27,68	93,10	43,10	32,49
1993	37,91	22,38	21,12	36,06	19,54	25,48	18,91	17,33	15,84	15,56	14,62	30,81	22,96
1994	68,60	25,48	68,44	45,62	46,02	30,33	24,75	19,63	16,66	16,96	18,56	29,93	34,25
1995	15,36	13,72	14,64	18,80	14,50	10,58	12,02	11,32	9,88	12,92	29,30	50,92	17,83
1996	38,00	17,21	16,66	14,91	14,08	12,42	9,96	9,01	14,31	15,88	68,40	52,25	23,59
1997	48,36	27,13	50,87	32,37	24,54	18,77	15,94	14,26	14,20	18,75	26,58	51,92	28,64
1998	28,83	25,02	19,78	19,69	15,07	13,55	12,39	13,66	10,32	15,92	34,35	29,91	19,87
1999	29,05	13,51	20,13	16,79	12,85	16,02	13,23	12,75	11,76	14,29	39,83	42,44	20,22
2000	32,21	33,62	29,32	29,50	19,71	17,27	14,26	12,19	14,92	12,38	39,74	50,70	25,48
2001	30,85	20,78	17,07	13,66	12,46	11,94	10,37	10,44	12,89	20,56	67,19	39,44	22,30
2002	44,95	35,00	26,89	21,16	18,88	15,62	15,92	13,60	20,92	13,07	18,83	28,82	22,81
2003	62,94	21,75	18,94	17,99	14,02	10,90	11,38	10,33	8,84	9,46	9,98	28,74	18,77
2004	52,07	45,67	45,51	40,73	24,58	21,39	18,99	17,11	11,86	12,49	13,89	39,72	28,67
2005	29,97	50,47	80,69	32,52	30,69	48,77	29,04	20,15	20,16	16,26	40,68	56,64	38,00
2006	32,43	19,01	49,26	38,87	23,06	20,37	18,21	15,50	16,50	20,26	44,52	50,94	29,08
2007	64,24	29,59	25,87	24,17	19,06	16,39	14,64	13,24	13,98	13,00	16,65	17,29	22,34
Média	**39,65**	**29,59**	**31,61**	**27,24**	**21,55**	**18,91**	**17,79**	**16,21**	**16,66**	**19,23**	**33,71**	**39,35**	**25,96**
Desvio	**18,04**	**15,94**	**17,07**	**10,21**	**7,38**	**6,95**	**5,51**	**5,04**	**5,74**	**7,39**	**19,18**	**13,42**	**6,50**
CV	**0,45**	**0,54**	**0,54**	**0,37**	**0,34**	**0,37**	**0,31**	**0,31**	**0,34**	**0,38**	**0,57**	**0,34**	**0,25**
Máximo	**109,89**	**101,40**	**80,69**	**48,23**	**46,02**	**48,77**	**30,92**	**34,09**	**34,37**	**45,14**	**93,10**	**73,02**	**42,56**
Mínimo	**15,36**	**13,51**	**13,26**	**13,66**	**11,18**	**8,93**	**9,96**	**9,01**	**8,84**	**9,46**	**9,98**	**17,29**	**14,61**

Valores Preenchidos com Córrego do Galo - 57170000
Valor Preenchido com Média Mensal Histórica

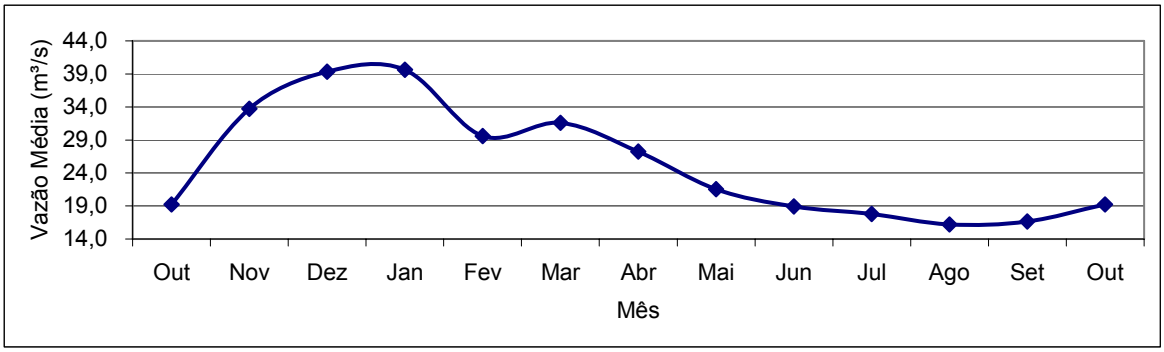
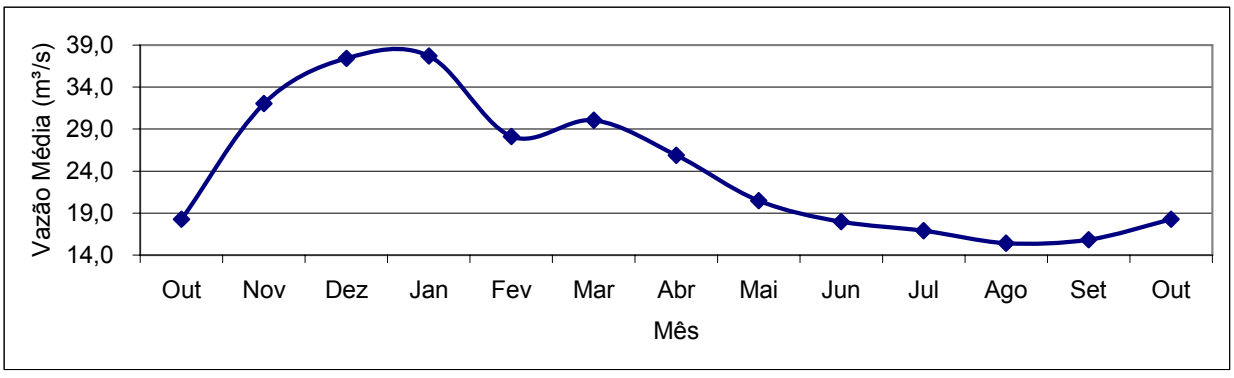


Tabela 3.3. Série de vazões médias mensais afluentes a barragem Pedra Mulata

Série de fluviometria (m³/s) - Barragem Pedra Mulata													
Ano	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1969	22,21	26,98	19,07	15,82	13,73	21,12	15,02	12,53	11,01	13,05	29,45	36,36	19,70
1970	52,74	34,83	23,28	23,78	17,10	14,38	19,19	16,38	15,72	25,22	56,47	57,11	29,68
1971	21,40	20,57	23,67	16,53	14,76	15,35	15,62	21,49	30,13	28,56	76,50	69,41	29,50
1972	34,78	30,20	29,13	28,94	28,65	20,17	20,97	18,52	22,16	23,38	29,23	37,89	27,00
1973	35,12	33,04	61,84	45,85	31,08	24,61	21,63	18,87	17,87	25,84	21,70	32,93	30,87
1974	43,78	30,50	38,95	35,09	25,76	21,04	17,26	14,04	15,70	20,95	20,59	26,14	25,82
1975	38,54	44,52	29,81	24,69	22,30	20,35	18,85	15,42	18,81	31,65	31,65	22,55	26,59
1976	15,01	14,34	14,21	13,40	15,47	12,20	14,51	10,79	14,60	15,34	30,96	38,06	17,41
1977	32,23	18,91	16,63	17,86	17,71	13,44	11,38	8,94	10,69	16,61	29,23	35,45	19,09
1978	30,73	27,43	20,24	20,99	19,32	14,54	27,74	17,66	18,90	24,62	19,86	25,88	22,33
1979	59,96	96,39	56,65	44,55	31,32	25,79	23,44	20,91	19,35	17,81	24,89	34,92	38,00
1980	51,42	31,11	21,48	41,04	28,34	20,98	17,48	16,36	13,03	13,52	14,77	36,26	25,48
1981	19,91	16,05	23,65	25,01	22,50	18,03	14,90	15,84	14,51	17,97	41,95	30,84	21,76
1982	39,15	24,08	52,51	38,55	27,22	21,05	18,07	25,60	17,12	15,22	12,81	20,50	25,99
1983	47,61	32,15	22,17	28,27	26,03	19,52	16,23	13,97	24,84	42,91	54,32	63,32	32,61
1984	36,83	27,75	27,63	32,11	21,78	17,22	14,68	14,84	15,72	19,64	29,02	60,49	26,48
1985	104,46	60,29	55,99	37,34	29,62	23,83	22,97	20,43	25,28	25,29	35,22	44,77	40,46
1986	31,10	23,68	18,24	17,14	15,62	14,50	14,78	14,26	13,44	11,73	14,30	25,61	17,87
1987	24,23	18,17	31,97	26,62	17,54	15,79	12,98	10,71	12,09	10,98	43,15	40,13	22,03
1988	37,49	23,33	23,02	20,85	15,74	14,08	12,67	12,33	12,42	19,50	20,66	20,93	19,42
1989	16,50	13,61	22,24	16,24	14,18	14,39	10,96	11,80	10,30	9,91	21,82	37,56	16,63
1990	14,61	13,60	12,60	14,35	10,62	8,49	13,55	15,63	10,33	12,99	23,14	16,81	13,89
1991	39,20	24,88	29,34	22,00	16,59	14,20	27,02	32,41	32,67	27,24	20,47	33,14	26,60
1992	35,69	30,23	17,32	20,05	22,00	20,67	29,39	21,01	18,47	26,32	88,51	40,97	30,89
1993	36,04	21,28	20,08	34,28	18,57	24,22	17,97	16,48	15,06	14,79	13,90	29,29	21,83
1994	65,21	24,22	65,06	43,36	43,75	28,84	23,53	18,66	15,83	16,13	17,64	28,45	32,56
1995	14,60	13,05	13,92	17,87	13,79	10,06	11,43	10,76	9,40	12,29	27,85	48,41	16,95
1996	36,13	16,36	15,84	14,17	13,38	11,80	9,46	8,56	13,60	15,09	65,02	49,67	22,42
1997	45,98	25,79	48,35	30,78	23,33	17,84	15,15	13,56	13,50	17,82	25,27	49,36	27,23
1998	27,41	23,79	18,80	18,72	14,32	12,88	11,78	12,99	9,81	15,13	32,65	28,43	18,89
1999	27,61	12,84	19,13	15,96	12,22	15,23	12,58	12,12	11,18	13,59	37,87	40,34	19,22
2000	30,62	31,96	27,87	28,04	18,73	16,42	13,55	11,59	14,19	11,77	37,78	48,20	24,23
2001	29,32	19,75	16,23	12,99	11,84	11,35	9,86	9,92	12,25	19,54	63,87	37,50	21,20
2002	42,73	33,27	25,56	20,12	17,95	14,85	15,14	12,93	19,88	12,42	17,90	27,40	21,68
2003	59,83	20,67	18,00	17,10	13,33	10,36	10,82	9,82	8,40	8,99	9,48	27,32	17,84
2004	49,50	43,41	43,26	38,72	23,37	20,34	18,05	16,26	11,27	11,88	13,20	37,76	27,25
2005	28,49	47,98	76,70	30,92	29,17	46,36	27,61	19,15	19,17	15,46	38,68	53,84	36,13
2006	30,83	18,07	46,83	36,95	21,92	19,36	17,31	14,74	15,69	19,26	42,32	48,42	27,64
2007	61,07	28,13	24,59	22,97	18,12	15,58	13,91	12,59	13,29	12,36	15,83	16,44	21,24
Média	**37,69**	**28,13**	**30,05**	**25,90**	**20,48**	**17,98**	**16,91**	**15,41**	**15,84**	**18,28**	**32,05**	**37,41**	**24,68**
Desvio	**17,15**	**15,15**	**16,23**	**9,70**	**7,01**	**6,60**	**5,24**	**4,79**	**5,46**	**7,03**	**18,23**	**12,76**	**6,18**
CV	**0,45**	**0,54**	**0,54**	**0,37**	**0,34**	**0,37**	**0,31**	**0,31**	**0,34**	**0,38**	**0,57**	**0,34**	**0,25**
Máximo	**104,46**	**96,39**	**76,70**	**45,85**	**43,75**	**46,36**	**29,39**	**32,41**	**32,67**	**42,91**	**88,51**	**69,41**	**40,46**
Mínimo	**14,60**	**12,84**	**12,60**	**12,99**	**10,62**	**8,49**	**9,46**	**8,56**	**8,40**	**8,99**	**9,48**	**16,44**	**13,89**



3.2.4. Capacidades de Acumulação versus Vazões Regularizadas

A fim de se verificar a resposta do acúmulo hídrico no reservatório formado a partir da barragem Pedra Mulata no que concerne a sua disponibilidade de regularizar vazões, fez-se a simulação da operação deste reservatório para diversas capacidades de acumulação e para os percentuais de garantias de 90%, 95% e 99% da oferta hídrica.

A Figura 3.4 mostra a variação da vazão regularizada em função da capacidade de acumulação do reservatório da barragem Pedra Mulata.

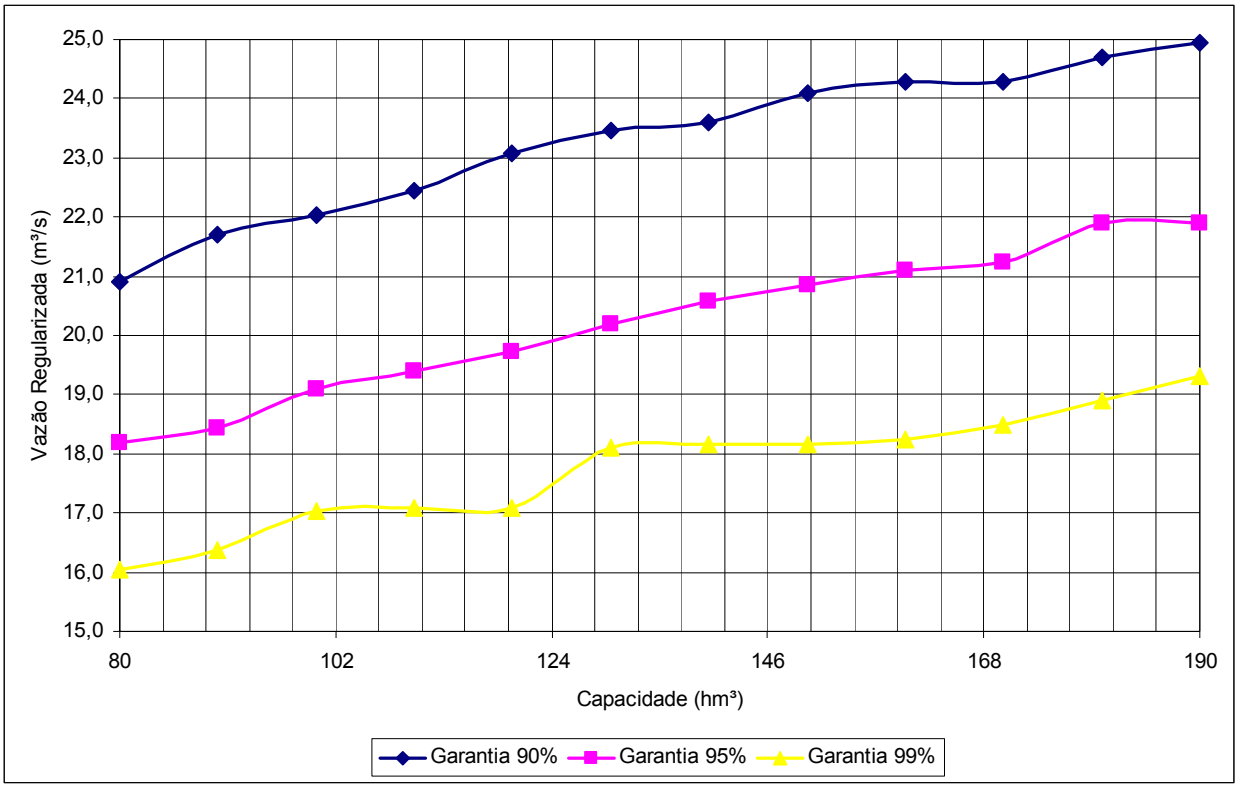


Figura 3.4. Curvas das vazões regularizadas pelo reservatório da barragem Pedra Mulata

Na figura acima, verifica-se que as vazões regularizadas pela barragem Pedra Mulata variam entre 16 m³/s e 25m³/s, dependendo do nível de garantia associado e da capacidade de acumulação do reservatório. Frisa-se que parte desta vazão deve ser fornecida como vazão ecológica, no valor de 8,35 m³/s (equivalente a vazão $Q_{7,10}$ observada na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, no valor de 8,78 m³/s, multiplicada pela relação entre as áreas das bacias hidrográficas da barragem Pedra Mulata e da referida estação fluviométrica).

Considerando o nível de garantia para vazões firmes, com 99% de garantia, e recomendado quando se trata de fornecimento de vazões ecológicas e para

abastecimento urbano, nota-se que há patamares nos quais o aumento da capacidade de acumulação pouco reflete no ganho de vazão regularizada.

Como exemplo disto, verifica-se entre a faixa de volumes acumulados de 100 hm³ a 120 hm³ que a vazão regularizada permanece praticamente inalterada (17 m³/s, aproximadamente), mostrando que, caso o dimensionamento do volume destinado a ofertar vazões regularizadas esteja na referida faixa de capacidades de acumulação, deve-se optar pelo menor valor, de 100 hm³, que permite a construção de uma barragem com menores custos em relação à de 120 hm³.

Aumentando a capacidade de acumulação da barragem Pedra Mulata além dos 120 hm³, verifica-se ainda que é pequeno o ganho de vazão regularizada com garantia de 99%, passando de 17 m³/s para 18 m³/s com um aumento do volume acumulado de 120 hm³ para 160 hm³ e de 18 m³/s para pouco mais de 19 m³/s com um aumento do volume acumulado de 160 hm³ para 190 hm³, ou seja, quase se precisa dobrar a capacidade de armazenamento da barragem, para aumentar em cerca de 10% a vazão regularizada.

Frisa-se que a determinação do volume destinado a regularizar vazões e a respectiva vazão regularizada pela barragem Pedra Mulata só poderá ser determinada após um estudo de sua capacidade no tocante a contenção cheias com recorrências significativas, a ser mostrado no próximo item do presente relatório.

3.3. O controle de cheias

3.3.1. Modelo Adotado

Para o dimensionamento da barragem Pedra Mulata com relação ao controle das cheias do baixo curso do rio Jucu, tomou-se mão do *Software* denominado HEC-HMS (USACE, 2000), o qual foi desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* do *U.S. Army Corps of Engineers* e que permite simular eventos hidrológicos extremos em bacias hidrográficas.

O modelo HEC-HMS é composto de três módulos de entrada de dados, a saber: Representação da Bacia (Basin Model), Distribuição da Precipitação (Precipitation Model) e Especificações de Controle (Control Specification).

O módulo de Representação da Bacia refere-se aos parâmetros físicos e aos elementos topológicos de conexão da rede hidrográfica e da segmentação em sub-bacias, juntamente com as rotinas de perdas iniciais, de escoamento nas sub-bacias e nos cursos de água e as rotinas de reservação.

No módulo de Distribuição da Precipitação, são introduzidas as informações para processamento dos dados pluviométricos, representadas pela distribuição espacial das precipitações sobre as sub-bacias. Esta distribuição pode ser fixada através de fatores de ponderação, onde são introduzidas as percentagens das chuvas sobre cada sub-bacia.

Os intervalos de tempo das variáveis do modelo são introduzidos no módulo de Especificações de Controle.

3.3.2. A Regra de Efluência e o Amortecimento da Onda de Cheia

No caso da barragem Pedra Mulata, procurou-se dimensioná-la de tal forma que fosse capaz de conter uma cheia com recorrência centenária, amortecendo tal evento e reduzindo o pico em, pelo menos, 60%.

O hidrograma referente a um evento com recorrência centenária foi ajustado com base na cheia de mesma recorrência determinada para estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, mostrado no item que relatou sobre a caracterização fluviométrica do rio Jucu.

Primeiramente, partiu-se da consideração de que o volume acumulado para regularizar vazões deve está na faixa de 110 hm³ a 120 hm², sendo o restante que falta para acumular 190 hm³, destinados ao controle de cheias, ou seja, a barragem Pedra Mulata deve ficar com um volume de espera da ordem dos 70 hm³ a 80 hm³ para amortecer significativamente uma cheia com recorrência centenária.

A regra de efluência à barragem seguiu uma equação tipo curva chave, na qual até a capacidade do volume morto adotado (aproximadamente na cota 30, equivalendo a 17 hm³ aproximadamente) não há saída de qualquer vazão. A partir desta cota até a cota correspondente à capacidade do reservatório destinada a regularizar vazões (entre as cotas 55m e 58m, aproximadamente, perfazendo 110 hm^3) é retirada constantemente a vazão regularizada com 99% de garantia. A partir desta cota e até a cota da capacidade máxima, ou cota de vertimento (considerou-se uma cota máxima

de 70m que equivale a 190 hm³ aproximadamente) é ajustada uma vazão que seja capaz de amortecer a cheia centenária sem que haja efluência pelo vertedouro da barragem. Por fim, a vazão de vertimento é controlada pela tradicional equação de vertedouros [Vazão (m³/s) = Coeficiente de Crista x Comprimento (m) x Altura$^{3/2}$ (m)].

Como exemplo do que foi descrito no parágrafo anterior, mostra-se na Figura 3.5 o gráfico da curva chave de efluência para uma capacidade de acumulação da barragem Pedra Mulata de 190 hm³.

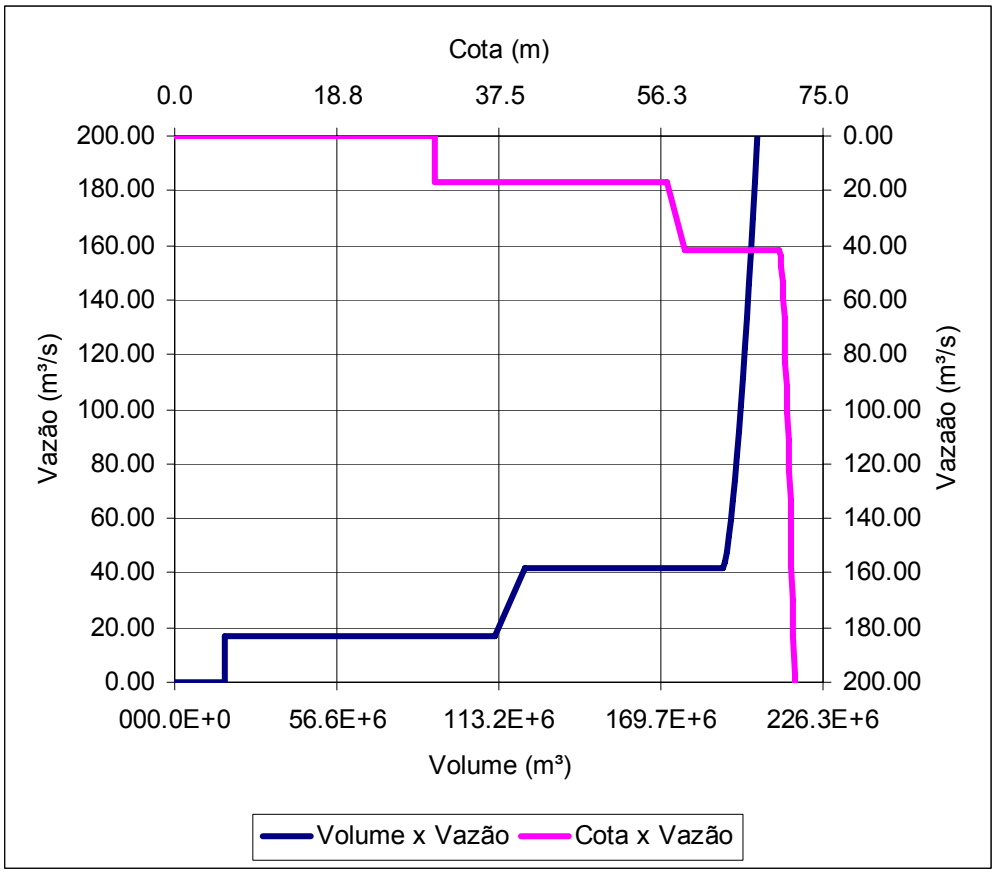


Figura 3.5. Exemplo de curva chave das efluências da barragem Pedra Mulata

Frisa-se que, caso seja atingida a cota de vertimento, o modelo HEC-HMS computa o amortecimento das vazões utilizando o método de Puls, que consiste numa expressão discreta da equação da continuidade concentrada e na relação entre armazenamento e vazão, conforme ilustrado a seguir:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{(I_t + I_{t+1})}{2} - \frac{(Q_t + Q_{t+1})}{2}$$ em que:

- S_t e S_{t+1} = armazenamentos nos tempos t e t+1;

- I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório nos tempos referidos;
- Q_t e Q_{t+1} = vazões efluentes do reservatório nos tempos referidos;
- Δt = intervalo de tempo.

O escoamento em reservatório se caracteriza por linha de água aproximadamente horizontal, grande profundidade e baixa velocidade, sendo os termos dinâmicos do escoamento, em geral, desprezíveis em relação à grande variação do armazenamento. Reorganizando a equação com as variáveis conhecidas do lado direito e as incógnitas do lado esquerdo obtém-se:

$$Q_{t+1} + 2S_{t+1}/\Delta t = I_t + I_{t+1} - Q_t - 2S_t/\Delta t$$

Conhecida a função Q = f(S), é possível construir outra função relacionando Q = f_1.(Q + 2S/Δt), através do procedimento de cálculo a seguir:

1. Estabelecer o volume inicial S_0 que depende dos critérios de estudo. Com base em S_0, determina-se Q_0;
2. Para cada intervalo de tempo seguinte deve-se determinar o termo da direita da equação, uma vez que o hidrograma de entrada ao reservatório deve ser conhecido;
3. Conhecido o termo da direita da referida equação, também é conhecido o termo Q_{t+1} + 2S_{t+1}/Δt. Com este último valor e utilizando a função Q = f_1.(Q + 2S/Δt) é determinado o valor Q_{t+1};
4. Com base no valor de Q_{t+1} determina-se S_{t+1} por S_{t+1}=f_1(Q_{t+1});
5. Os passos 2 e 4 se repetem para cada intervalo de tempo.

3.3.3. Dimensionamento Considerando a Cheia Centenária ocorrendo Isoladamente

Como primeira tentativa de dimensionamento da barragem Pedra Mulata para conter e amortecer significativamente a cheia com recorrência centenária calculada foi estabelecida uma condição inicial da barragem quando a ocorrência do evento extremo acumulando o volume máximo destinado a regularização de vazões, adotado em 112 hm³, na cota 57m (valores médios em relação à faixa ideal entre 100 hm³ e 120 hm³, apresentado anteriormente), podendo ter seu nível elevado até as cotas de vertimento

consideradas para quatro valores distintos, quais sejam: 160 hm³; 170 hm³; 180 hm³ e 190 hm³.

As figuras 3.6 a 3.9 mostram os gráficos do amortecimento da cheia centenária pela barragem Pedra Mulata, para as respectivas capacidades máximas de acumulação de 160 hm³, 170 hm³, 180 hm³ e 190 hm³.

Observa-se nessas figuras que para todas as capacidades máximas adotadas a barragem Pedra Mulata amortece a cheia centenária, cujo pico supera os 350 m³/s, deixando efluir vazões que pouco supera aos 80 m³/s, como é o caso da barragem com uma capacidade máxima de acumulação de 160 hm³.

Já para uma barragem com capacidade máxima de acumulação de 170 hm³, a cheia centenária tem seu pico reduzido para 58,70 m³/s. Para uma capacidade máxima de acumulação de 180 hm³ o pico da cheia centenária é reduzido para 48,60 m³/s e para a maior capacidade de acumulação considerada (190 hm³) o pico desta mesma cheia é reduzido para 41,70 m³/s.

Apesar de, a primeira vista, ter-se verificado que para qualquer uma das capacidades máximas de acumulação da barragem Pedra Mulata consideradas, esta estrutura conseguir conter de forma bastante satisfatória uma cheia centenária, nota-se com uma análise mais criteriosa dos gráficos mostrados que, mesmo após quase um mês da ocorrência do pico da cheia, o reservatório continua acumulando mais do que armazenava no início da simulação (no valor de 112 hm³).

Isto despertou a atenção de que, muito provavelmente, a simulação ideal não seja a ora realizada, onde o evento extremo ocorre de forma isolada, e sim se deva realizar uma simulação contemplando o evento extremo associado a períodos históricos úmidos, uma vez que, caso a cheia centenária venha a ocorrer numa situação na qual a barragem encontre-se acumulando mais que 112 hm³ (situação bem comum durante a quadra chuvosa), talvez não se consiga atenuar a cheia de forma satisfatória para as vazões efluentes máximas até então consideradas como suficientes.

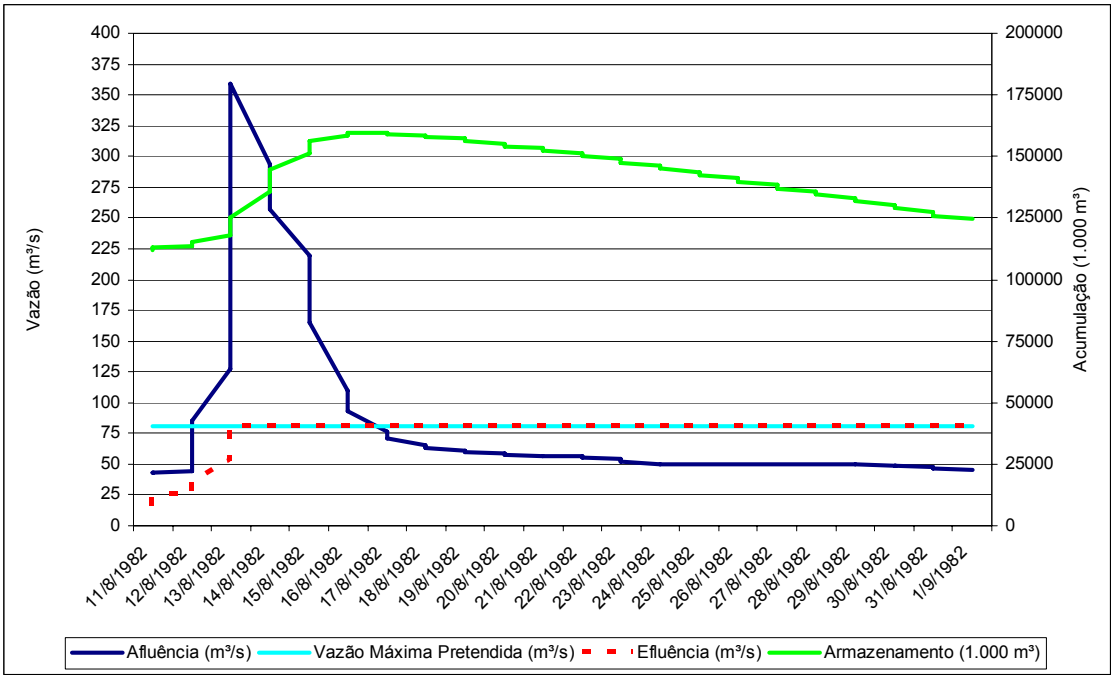


Figura 3.6. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 160 hm³ de capacidade máxima de acumulação

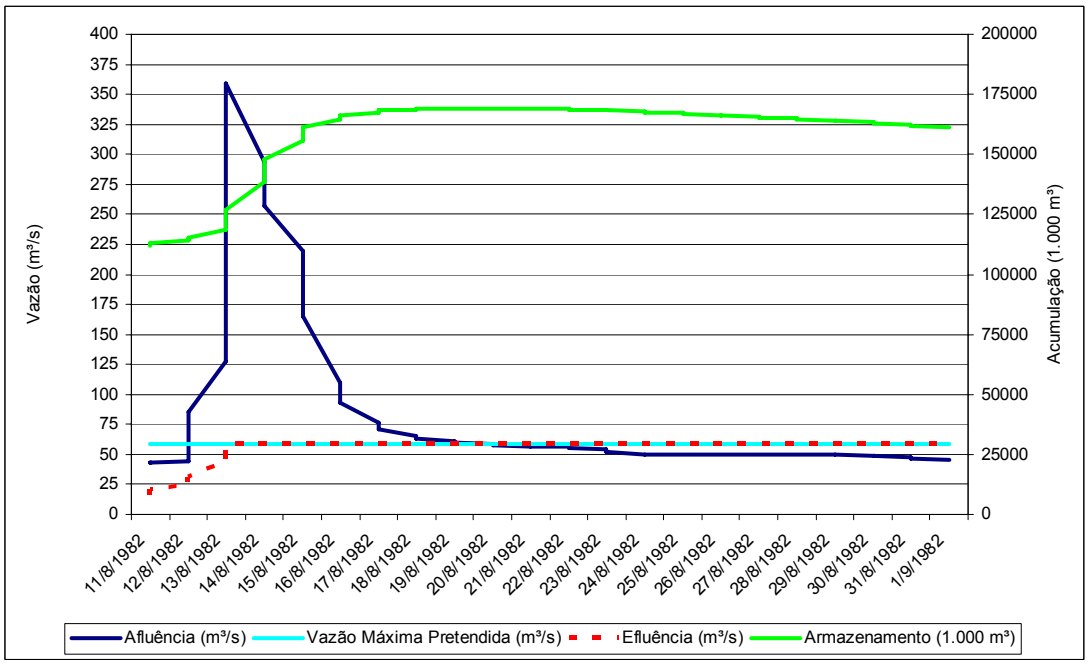


Figura 3.7. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 170 hm³ de capacidade máxima de acumulação

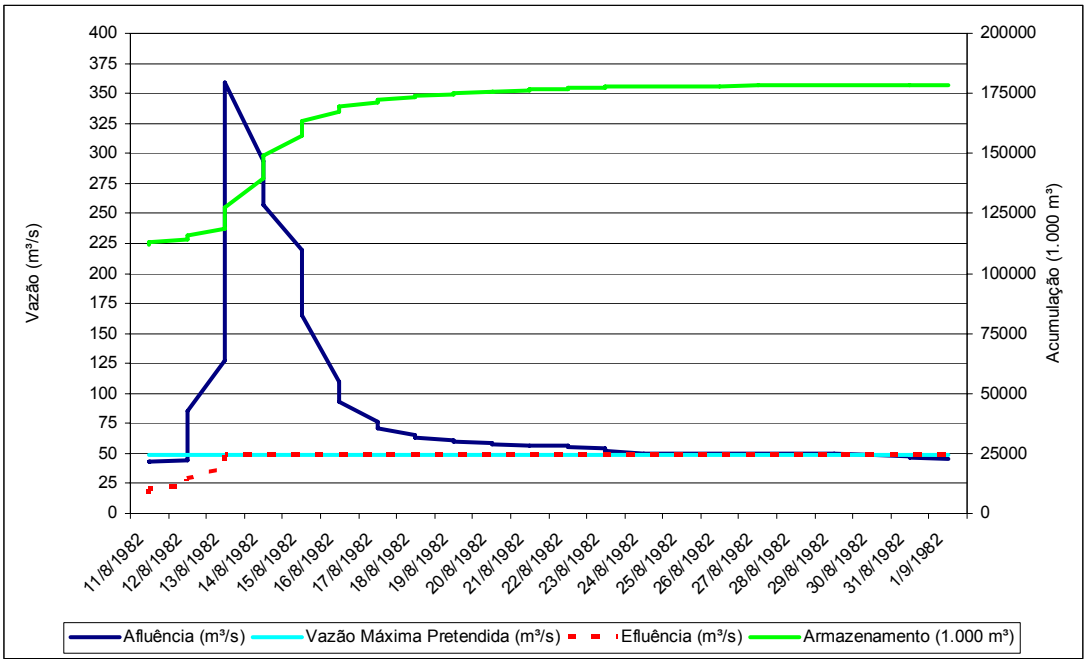


Figura 3.8. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 180 hm³ de capacidade máxima de acumulação

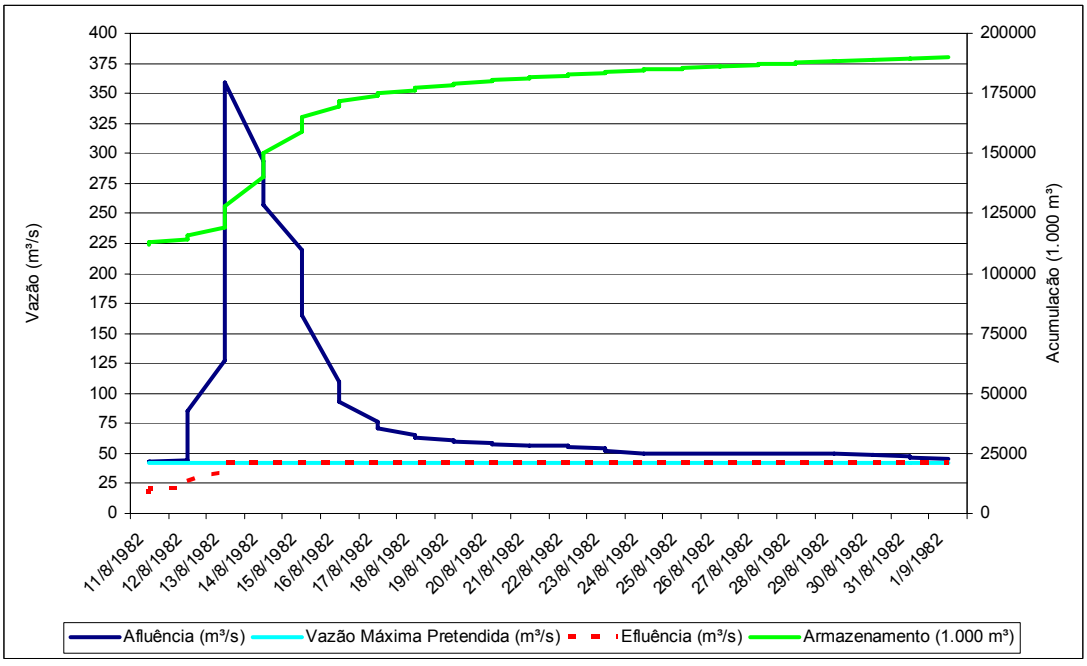


Figura 3.9. Amortecimento da cheia centenária para a barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação

3.3.4. Dimensionamento Considerando a Cheia Centenária ocorrendo durante um Período Úmido

Diante do que foi exposto no item anterior, procurou-se na série de vazões afluentes a barragem Pedra Mulata qual o período consecutivo mais úmido registrado historicamente (com base na série de vazões observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba), tendo sido este período identificado durante o triênio de 1983, 1984 e 1985, cuja média de escoamento neste período chega a superar em mais de 34% a média histórica da série considerada.

Como ponto de partida, verificou-se nos resultados mostrados nas figuras anteriores (simulação da cheia ocorrendo isoladamente) que o dimensionamento da barragem Pedra Mulata para uma capacidade máxima de acumulação de 190 hm³ é a situação mais favorável quanto à efluência necessária para conter a cheia centenária, porém, a que o reservatório demora mais tempo para seu esvaziamento.

Então, simulou-se o comportamento desta barragem para tal capacidade máxima de acumulação, sendo que o evento com recorrência centenária foi introduzido no período 1983 a 1985 logo no segundo ano, ou seja, após ocorrer um período bastante úmido (ano de 1983), no ano seguinte (1984) acontece à cheia centenária e no terceiro ano (1985) continuam ocorrendo vazões bem acima da média.

A Figura 3.10 mostra o gráfico do resultado da simulação para o período úmido 1983 a 1985 associado à cheia centenária.

Nota-se claramente da necessidade de aumentar a capacidade de efluência da barragem, que passou de pouco menos de 50 m³/s anteriormente calculados, para aproximados 90 m³/s, valor este suficiente para evitar que a barragem Pedra Mulata, com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação atinja o vertimento, caso receba uma cheia centenária (com pico que supera os 350 m³/s).

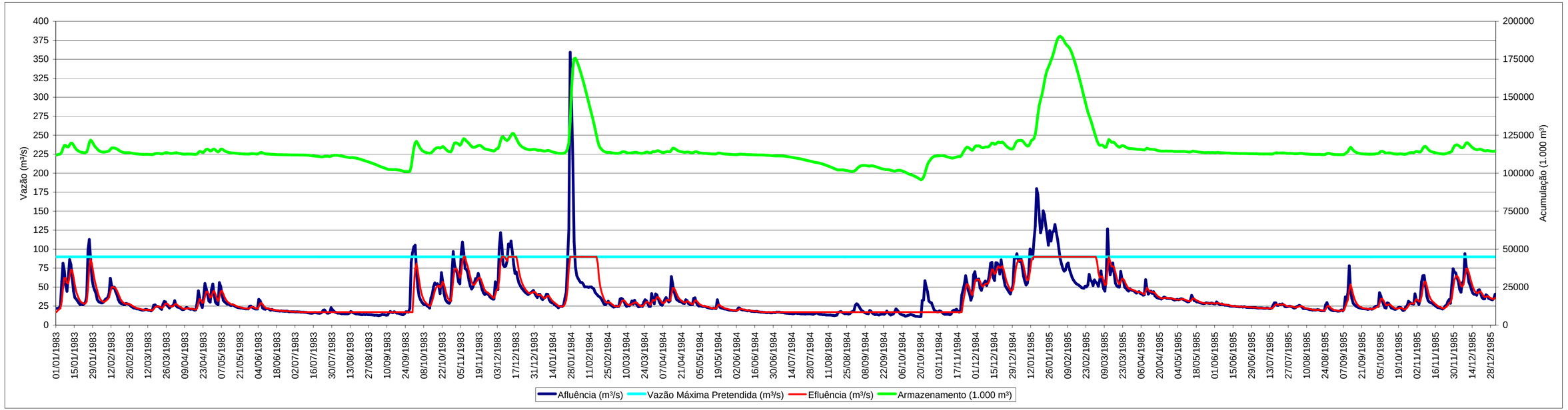


Figura 3.10. Amortecimento da cheia centenária ocorrendo em um período úmido, para a barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação

3.3.5. Dimensionamento Considerando a Série Histórica Completa

Diante do que foi apresentado no tópico anterior, verificou-se que o dimensionamento de uma barragem com capacidade máxima de acumulação de 190 hm³ e com uma tomada d'água que permita uma liberação de até 90 m³/s seria suficiente para controlar uma cheia com recorrência de até 100 anos e pico superior aos 350 m³/s, ocorrida na bacia do rio Jucu a montante de Pedra Mulata.

Assim, caso fosse simulado todo o período histórico de vazões afluentes a barragem Pedra Mulata, cuja maior cheia registrada (com base na série histórica de vazões observadas na estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba) é de pouco mais de 200 m³/s, a vazão efluente de 90 m³/s seria também suficiente para evitar vertimentos da barragem Pedra Mulata.

A Figura 3.11 mostra o resultado da simulação da série histórica de vazões afluentes a barragem Pedra Mulata, conforme descrito no parágrafo anterior.

Pelo resultado mostrado, nota-se que houve a necessidade de aumentar a vazão efluente dos 90 m³/s, até então suficientes, para 98,78 m³/s, valor este que passou a ser necessário para evita o vertimento da barragem Pedra Mulata com uma capacidade de acumulação máxima de 190 hm³, sofrendo as afluências históricas até então observadas.

Este novo resultado sinalizou para a necessidade de outra simulação, considerando a inclusão da cheias centenária estimada não só no contexto do período mais úmido (como anteriormente realizado), porém, conjuntamente com toda a série histórica de vazões afluentes a barragem Pedra Mulata, o que aparenta ser a pior situação dentre as já consideradas para o correto dimensionamento da referida barragem.

Isto será apresentado no próximo item do presente relatório.

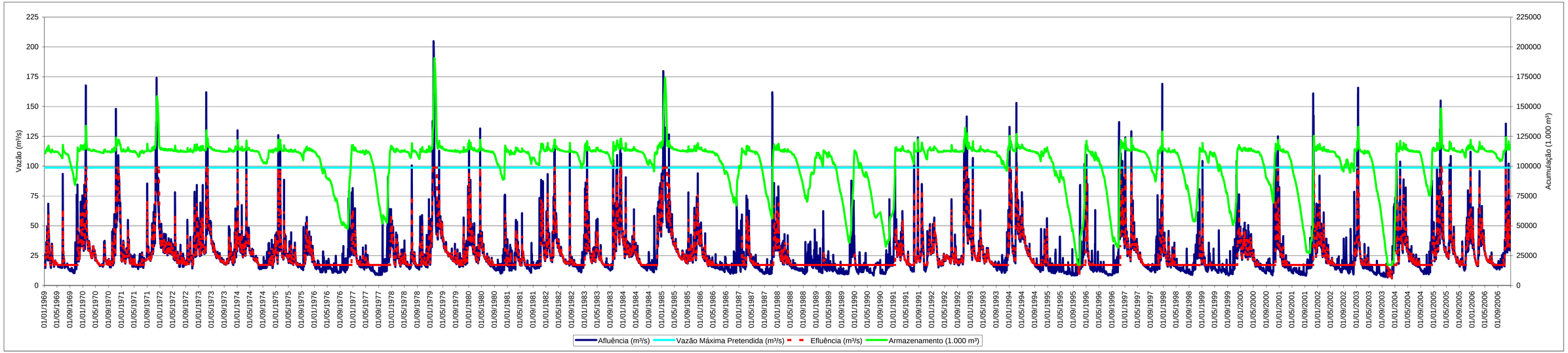


Figura 3.11. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação

3.3.6. Dimensionamento Considerando a Série Histórica Completa, com a Incorporação da Cheia Centenária

Neste dimensionamento final, simulou-se o comportamento da barragem Pedra Mulata recebendo as afluências da série de vazões histórica entre os anos de 1969 e 2007, incorporando-se a cheia estimada de recorrência centenária com o pico de mais de 350 m³/s ocorrendo aproximadamente um mês após o maior evento histórico observado.

Este maior evento histórico observado ocorreu em fevereiro de 1979, com um pico de vazão diária de mais de 200 m³/s. Assim, supôs-se que a cheia centenária ocorreria logo após este evento histórico máximo observado, a fim de se dimensionar qual vazão efluente seria capaz de evitar o vertimento das águas represadas pela barragem Pedra Mulata na situação imaginada.

Este dimensionamento foi realizado ainda para as quatro capacidades máximas de acumulação da barragem Pedra Mulata já consideradas, de 160 hm³, 170 hm³, 180 hm³ e 190 hm³.

As Figuras 3.12 a 3.15 mostram o resultado da simulação considerando a série histórica de afluências à barragem Pedra Mulata juntamente com o evento centenário estimado, para as quatro capacidades máximas de acumulação mencionadas anteriormente.

Considerando a barragem com uma capacidade de acumulação de até 160 hm³, necessita-se de uma vazão efluente de 132,30 m³/s (amortecimento do pico de cheia centenária superior aos 350 m³/s em mais de 60%) para evitar o vertimento da cheia centenária estimada e cuja ocorrência supôs-se logo após o maior evento observado na série histórica de afluência.

Já para a barragem com uma capacidade de acumulação máxima de 170 hm³, a vazão efluente necessária para evitar o vertimento das águas represadas é de 112,90 m³/s (amortecimento do pico de cheia centenária superior aos 350 m³/s em quase 70%).

Para a barragem com uma capacidade de acumulação máxima de 180 hm³, a vazão efluente necessária para evitar o vertimento das águas represadas é de 106,01 m³/s (amortecimento do pico de cheia centenária superior aos 350 m³/s em mais de 70%).

Por fim, para a barragem com uma capacidade de acumulação máxima de 190 hm³, a vazão efluente necessária para evitar o vertimento das águas represadas é de 99,13 m³/s (amortecimento do pico de cheia centenária superior aos 350 m³/s em 72%).

Isto mostra a importância da barragem Pedra Mulata no controle das cheias escoadas em 80% da bacia hidrográfica do rio Jucu, onde, para qualquer das capacidades máximas de acumulação consideradas na simulação crítica de um evento centenário afluindo à barragem Pedra Mulata logo após a maior cheia já registrada na região, é possível reverter um pico de mais de 350 m³/s (com 100 anos de recorrência) para vazões que apresentam, no máximo, recorrência média de 2 anos.

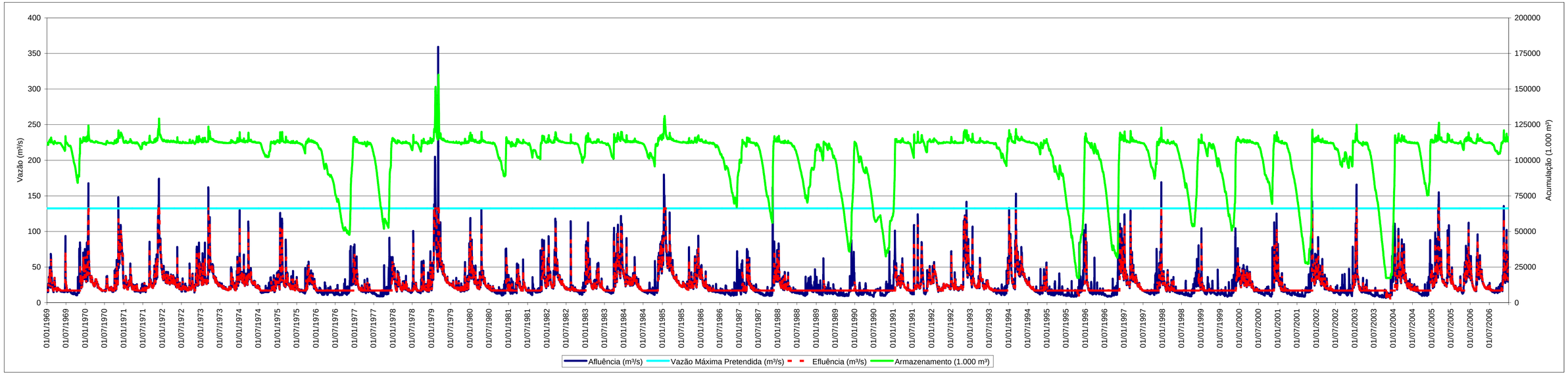


Figura 3.12. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 160 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada

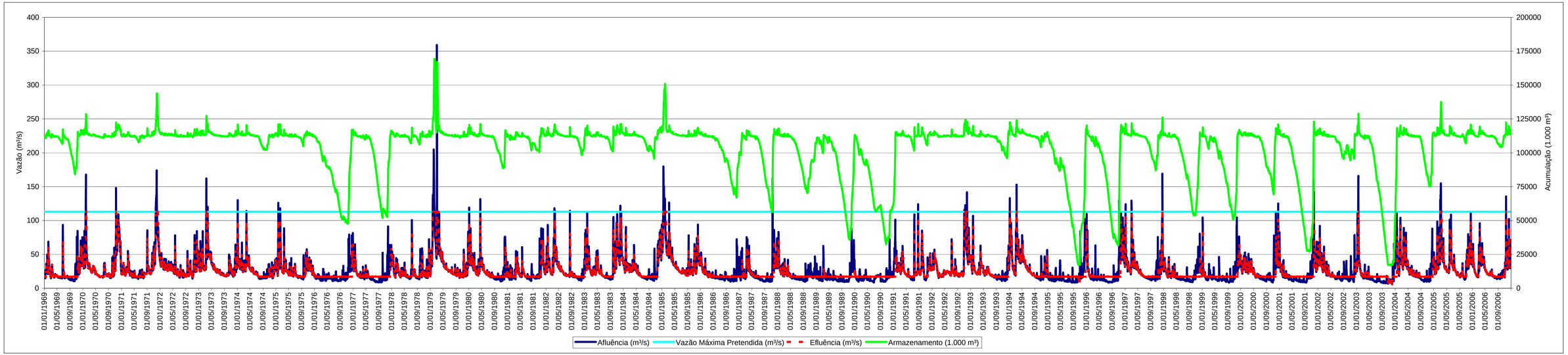


Figura 3.13. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 170 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada

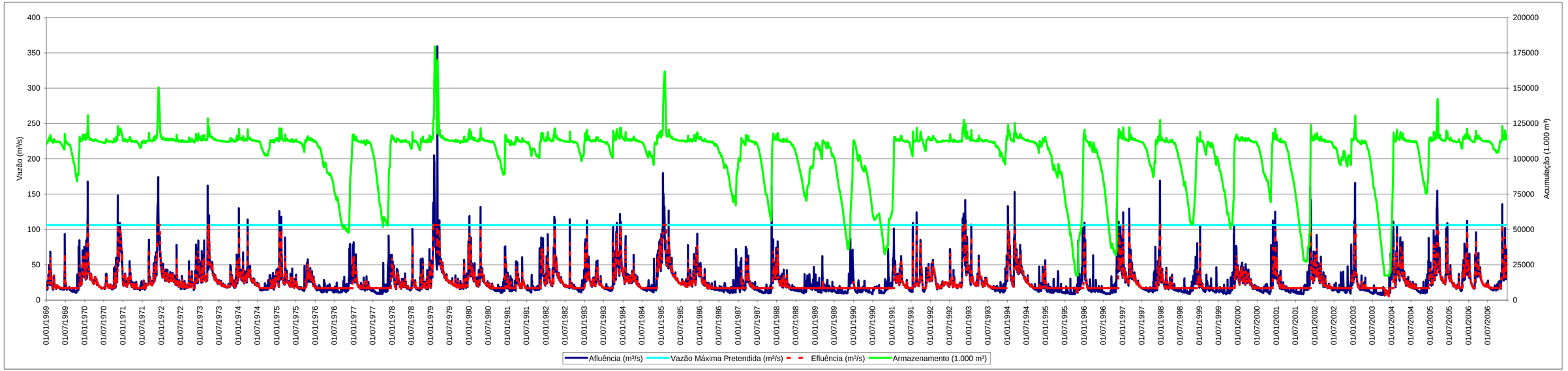


Figura 3.14. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 180 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada

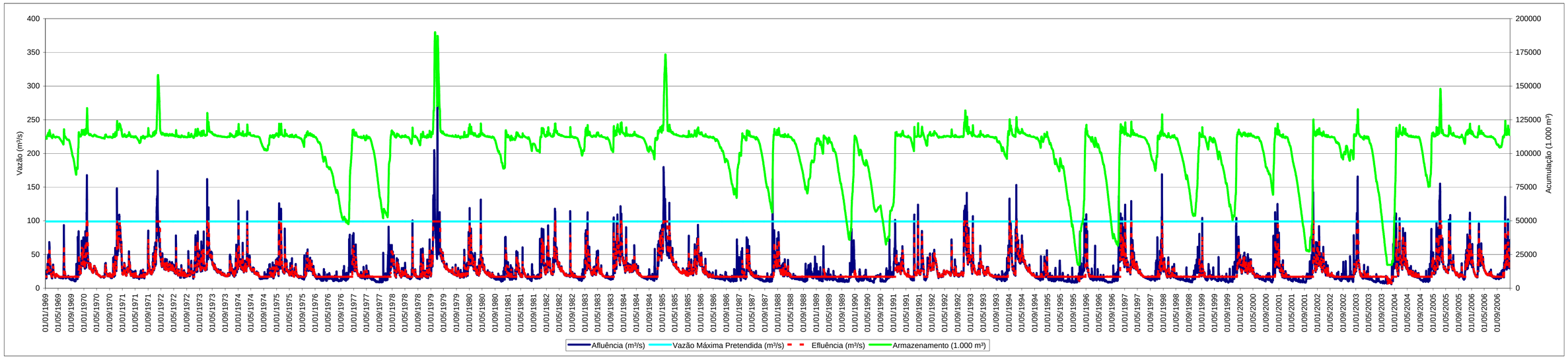


Figura 3.15. Simulação histórica da barragem Pedra Mulata com 190 hm³ de capacidade máxima de acumulação, conjuntamente com a incorporação da cheia centenária estimada

3.4. O uso conjunto do reservatório, a abordagem para o dimensionamento

Como já mencionado anteriormente, os principais usos da barragem Pedra Mulata são: o controle de cheias do baixo curso do rio Jucu e o fornecimento de uma oferta hídrica firme para o abastecimento da Grande Vitória.

Neste contexto, a Tabela 3.4 mostra um resumo das diferentes capacidades de acumulação da barragem Pedra Mulata com suas respectivas capacidades de amortecimento de cheias e regularização de vazões.

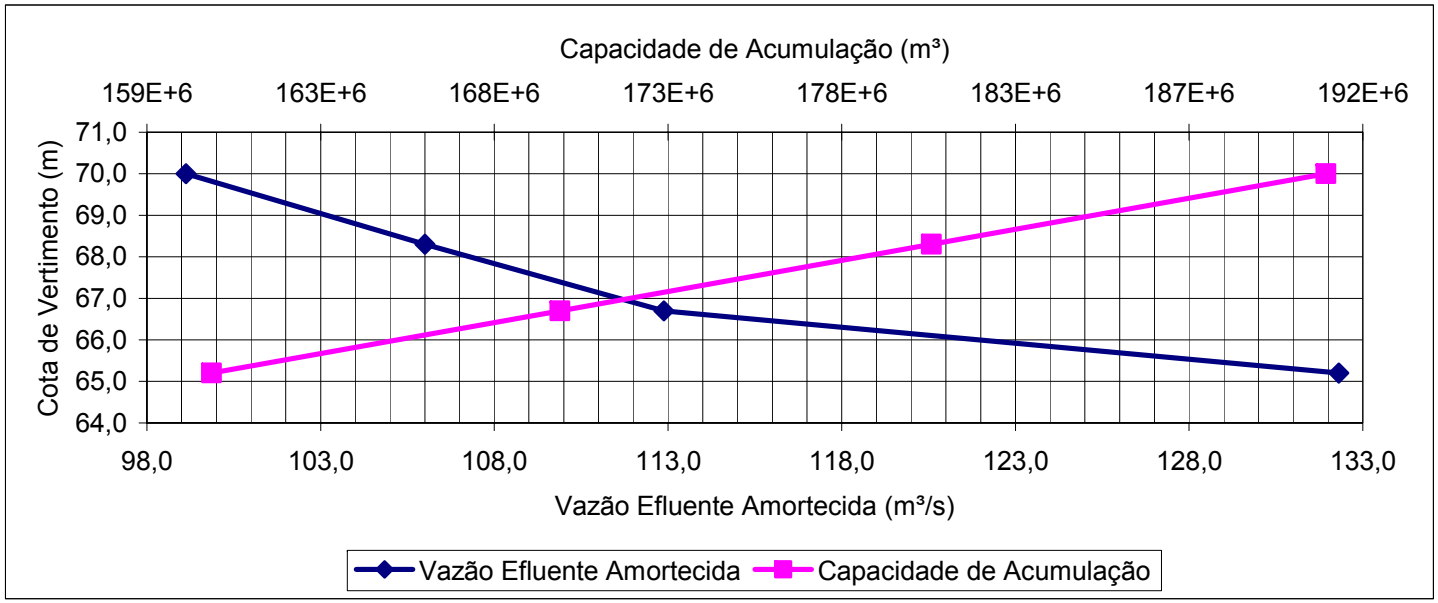
Com a barragem Pedra Mulata destinando 95 hm³ para regularização de vazões, o que corresponde à diferença entre o volume acumulado na cota 57 m (112 hm³) e o volume morto na cota 30 m (17 hm³), a vazão ofertada com 99% de garantia é de 17,08 m³/s, dos quais 8,35 m³/s são destinados a manter a vazão ecológica do rio Jucu a jusante do barramento e os demais 8,73 m³/s destinam-se ao abastecimento da Grande Vitória.

Com relação ao controle de cheias do baixo curso do rio Jucu, observa-se na referida tabela que o cruzamento entre as curvas “Vazão Efluente Amortecida *versus* Cota de Vertimento” e “Capacidade Máxima de Acumulação *versus* Cota de Vertimento” mostram que um valor tido como ponto ideal para o dimensionamento da barragem Pedra Mulata seria em torno dos 171,5 hm³, o que corresponde a cota 67 m, aproximadamente, e necessita de uma tomada d’água que permita uma efluência de 111,5 m³/s.

Na cota 67 m, a barragem Pedra Mulata apresentaria uma altura em torno dos 57 m, com um comprimento não superior aos 900 m, permitindo um amortecimento da cheia centenária, cujo pico supera os 350 m³/s, em quase 70%.

Tabela 3.4. Dimensionamento da barragem Pedra Mulata

Cota de Vertimento (m)	Cota do Volume Morto (m)	Cota Volume de Regularização (m)	Capacidade Máxima de Acumulação (m³)	Volume Morto (m³)	Volume na Cota de Regularização (m³)	Volume para Regularização (m³)	Vazão Regularizada com 99% de Garantia (m³/s)	Volume para Controle de Cheias (m³)	Vazão de Pico da Cheia Centenária (m³/s)	Vazão Efluente Amortecida (m³/s)	Amortecimento
65,2	30,0	57,0	160.506.152	17.207.478	111.941.275	94.733.796	17,08	48.564.878	359,2	132,3	36,8%
66,7			170.061.333					58.120.059		112,9	31,4%
68,3			180.253.526					68.312.251		106,0	29,5%
70,0			191.082.730					79.141.456		99,1	27,6%



3.5. A Geração de Energia

A fim de avaliar a possibilidade da barragem Pedra Mulata ser utilizada, também, para geração de energia elétrica, realizou-se uma análise de freqüência das cotas atingidas pelo reservatório quando das simulações para seu dimensionamento com relação a regularização de vazões e ao controle de cheias.

A Tabela 3.5 mostra a freqüência de ocorrência das cotas de acumulação da barragem Pedra Mulata para as capacidades de acumulação de 160 hm³, 170 hm³, 180 hm³ e 190 hm³.

Para determinação da capacidade de geração de energia pela barragem Pedra Mulata, adotou-se como critério de carga hidráulica disponível, aquela cota que corresponde ao volume que permanece acumulado durante 95% do tempo, percentual este necessário para fins hidroelétricos.

Como se observa na referida tabela, o intervalo entre as cotas 41m e 42m é, para qualquer uma das quatro capacidades de acumulações hídricas máximas consideradas para barragem Pedra Mulata, o que ocorre com uma permanência de 95% do tempo, sendo, então, a cota 42m considerada como o nível hídrico potencial para geração elétrica da referida barragem.

Para se calcular a produção energética que a barragem Pedra Mulata poderia gerar, basta aplicar a fórmula da potência hidráulica máxima, a seguir:

$$\boxed{P = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g}$$

onde:

P = potência (W);

ρ = densidade da água (kg/m³);

Q = Vazão (m³/s);

H = desnível geométrico (m);

g = aceleração da gravidade (m/s²).

Com relação à vazão disponível para geração de energia, foi considerada a vazão regularizada de 17,08 m³/s, a qual está associada a uma garantia de 99%,

assegurando que, em a cota do reservatório atingindo o valor de 42m, haveria sempre disponibilidade da referida vazão para acionar as turbinas geradoras de eletricidade.

Assim, o potencial energético da barragem Pedra Mulata é estimado em 5,4 MW.

Tabela 3.5. Freqüência das cotas atingidas pela barragem Pedra Mulata

Capacidade de 160 hm³			Capacidade de 170 hm³			Capacidade de 180 hm³			Capacidade de 190 hm³		
Intervalo de Cotas	Número de Valores	Percentual	Intervalo de Cotas	Número de Valores	Percentual	Intervalo de Cotas	Número de Valores	Percentual	Intervalo de Cotas	Número de Valores	Percentual
9 ⊢ 30	12	100,2%	9 ⊢ 30	12	100,6%	9 ⊢ 30	12	100,8%	9 ⊢ 30	12	101,1%
30 ⊢ 31	75	100,1%	30 ⊢ 31	75	100,5%	30 ⊢ 31	75	100,7%	30 ⊢ 31	75	101,0%
31 ⊢ 32	12	99,6%	31 ⊢ 32	12	99,9%	31 ⊢ 32	12	100,1%	31 ⊢ 32	12	100,4%
32 ⊢ 33	29	99,5%	32 ⊢ 33	29	99,9%	32 ⊢ 33	29	100,1%	32 ⊢ 33	29	100,4%
33 ⊢ 34	41	99,3%	33 ⊢ 34	41	99,7%	33 ⊢ 34	41	99,8%	33 ⊢ 34	41	100,1%
34 ⊢ 35	52	99,0%	34 ⊢ 35	52	99,4%	34 ⊢ 35	52	99,5%	34 ⊢ 35	52	99,8%
35 ⊢ 36	92	98,6%	35 ⊢ 36	92	99,0%	35 ⊢ 36	92	99,2%	35 ⊢ 36	92	99,5%
36 ⊢ 37	58	98,0%	36 ⊢ 37	58	98,3%	36 ⊢ 37	58	98,5%	36 ⊢ 37	58	98,8%
37 ⊢ 38	53	97,5%	37 ⊢ 38	53	97,9%	37 ⊢ 38	53	98,1%	37 ⊢ 38	53	98,4%
38 ⊢ 39	80	97,2%	38 ⊢ 39	80	97,5%	38 ⊢ 39	80	97,7%	38 ⊢ 39	80	98,0%
39 ⊢ 40	102	96,6%	39 ⊢ 40	102	96,9%	39 ⊢ 40	102	97,1%	39 ⊢ 40	101	97,4%
40 ⊢ 41	140	95,8%	40 ⊢ 41	140	96,2%	40 ⊢ 41	138	96,4%	40 ⊢ 41	138	96,7%
41 ⊢ 42	**167**	**94,8%**	**41 ⊢ 42**	**167**	**95,2%**	**41 ⊢ 42**	**169**	**95,4%**	**41 ⊢ 42**	**170**	**95,7%**
42 ⊢ 43	128	93,6%	42 ⊢ 43	128	94,0%	42 ⊢ 43	127	94,1%	42 ⊢ 43	127	94,4%
43 ⊢ 44	96	92,7%	43 ⊢ 44	96	93,0%	43 ⊢ 44	97	93,2%	43 ⊢ 44	95	93,5%
44 ⊢ 45	92	92,0%	44 ⊢ 45	90	92,3%	44 ⊢ 45	90	92,5%	44 ⊢ 45	92	92,8%
45 ⊢ 46	146	91,3%	45 ⊢ 46	148	91,7%	45 ⊢ 46	148	91,9%	45 ⊢ 46	148	92,1%
46 ⊢ 47	147	90,3%	46 ⊢ 47	147	90,6%	46 ⊢ 47	147	90,8%	46 ⊢ 47	147	91,1%
47 ⊢ 48	146	89,2%	47 ⊢ 48	146	89,5%	47 ⊢ 48	146	89,7%	47 ⊢ 48	146	90,0%
48 ⊢ 49	160	88,2%	48 ⊢ 49	159	88,5%	48 ⊢ 49	158	88,7%	48 ⊢ 49	157	88,9%
49 ⊢ 50	164	87,0%	49 ⊢ 50	165	87,3%	49 ⊢ 50	166	87,5%	49 ⊢ 50	166	87,8%
50 ⊢ 51	281	85,8%	50 ⊢ 51	280	86,1%	50 ⊢ 51	280	86,3%	50 ⊢ 51	281	86,6%
51 ⊢ 52	281	83,8%	51 ⊢ 52	282	84,1%	51 ⊢ 52	281	84,3%	51 ⊢ 52	279	84,5%
52 ⊢ 53	316	81,8%	52 ⊢ 53	315	82,1%	52 ⊢ 53	316	82,2%	52 ⊢ 53	318	82,5%
53 ⊢ 54	374	79,5%	53 ⊢ 54	372	79,8%	53 ⊢ 54	372	79,9%	53 ⊢ 54	371	80,2%
54 ⊢ 55	574	76,8%	54 ⊢ 55	576	77,1%	54 ⊢ 55	575	77,2%	54 ⊢ 55	576	77,5%
55 ⊢ 56	731	72,6%	55 ⊢ 56	726	72,9%	55 ⊢ 56	727	73,1%	55 ⊢ 56	727	73,3%
56 ⊢ 57	2.908	67,4%	56 ⊢ 57	2.636	67,7%	56 ⊢ 57	2.554	67,8%	56 ⊢ 57	2.452	68,0%
57 ⊢ 58	6.090	46,4%	57 ⊢ 58	6.206	48,6%	57 ⊢ 58	6.206	49,2%	57 ⊢ 58	6.214	50,1%
58 ⊢ 59	271	2,4%	58 ⊢ 59	364	3,6%	58 ⊢ 59	411	4,2%	58 ⊢ 59	456	4,9%
59 ⊢ 60	31	0,4%	59 ⊢ 60	50	0,9%	59 ⊢ 60	59	1,2%	59 ⊢ 60	66	1,6%
60 ⊢ 61	13	0,2%	60 ⊢ 61	18	0,6%	60 ⊢ 61	22	0,8%	60 ⊢ 61	31	1,1%
61 ⊢ 62	3	0,1%	61 ⊢ 62	17	0,4%	61 ⊢ 62	17	0,6%	61 ⊢ 62	18	0,9%
62 ⊢ 63	5	0,1%	62 ⊢ 63	16	0,3%	62 ⊢ 63	16	0,5%	62 ⊢ 63	19	0,7%
63 ⊢ 64	6	0,1%	63 ⊢ 64	13	0,2%	63 ⊢ 64	17	0,4%	63 ⊢ 64	16	0,6%
64 ⊢ 65	2	0,0%	64 ⊢ 65	3	0,1%	64 ⊢ 65	10	0,2%	64 ⊢ 65	17	0,5%
65 ⊢ 66	1	0,0%	65 ⊢ 66	7	0,1%	65 ⊢ 66	11	0,2%	65 ⊢ 66	11	0,3%
66 ⊢ 67	0	0,0%	66 ⊢ 67	6	0,0%	66 ⊢ 67	5	0,1%	66 ⊢ 67	11	0,3%
67 ⊢ 68	0	0,0%	67 ⊢ 68	0	0,0%	67 ⊢ 68	6	0,1%	67 ⊢ 68	9	0,2%
68 ⊢ 69	0	0,0%	68 ⊢ 69	0	0,0%	68 ⊢ 69	2	0,0%	68 ⊢ 69	7	0,1%
69 ⊢ 70	0	0,0%	69 ⊢ 70	0	0,0%	69 ⊢ 70	0	0,0%	69 ⊢ 70	9	0,1%

3.6. Os Custos Associados

Para estimar os custos de construção da barragem Pedra Mulata, adotou-se o estudo intitulado "*Atualização e Detalhamento do Cálculo do Custo da Água Bruta Disponibilizada por Reservatórios Localizados no Nordeste Setentrional"*, concluído no ano de 2007, para a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE.

O referido estudo estipulou equações paramétricas que, em função do tipo da barragem (em terra, ou em CCR/Alvenaria de Pedra) e da altura e da extensão da barragem, permite avaliar o custo de construção dessas obras. Para tanto, foram avaliados os orçamentos de mais de 89 barragens, atualizando-se os preços para valores presentes e ajustando-se equações paramétricas com elevados coeficientes de correlação.

A Figura 3.16 mostra o gráfico da equação paramétrica ajustada para custos de barragens de terra e a Figura 3.17 para custos barragens de CCR/Alvenaria de Pedra. Salienta-se que estes custos não incluem desapropriação e re-assentamento involuntário da população atingida, muito variável regionalmente e sujeito a negociação com proprietários beneficiados com a oferta hídrica a ser criada.

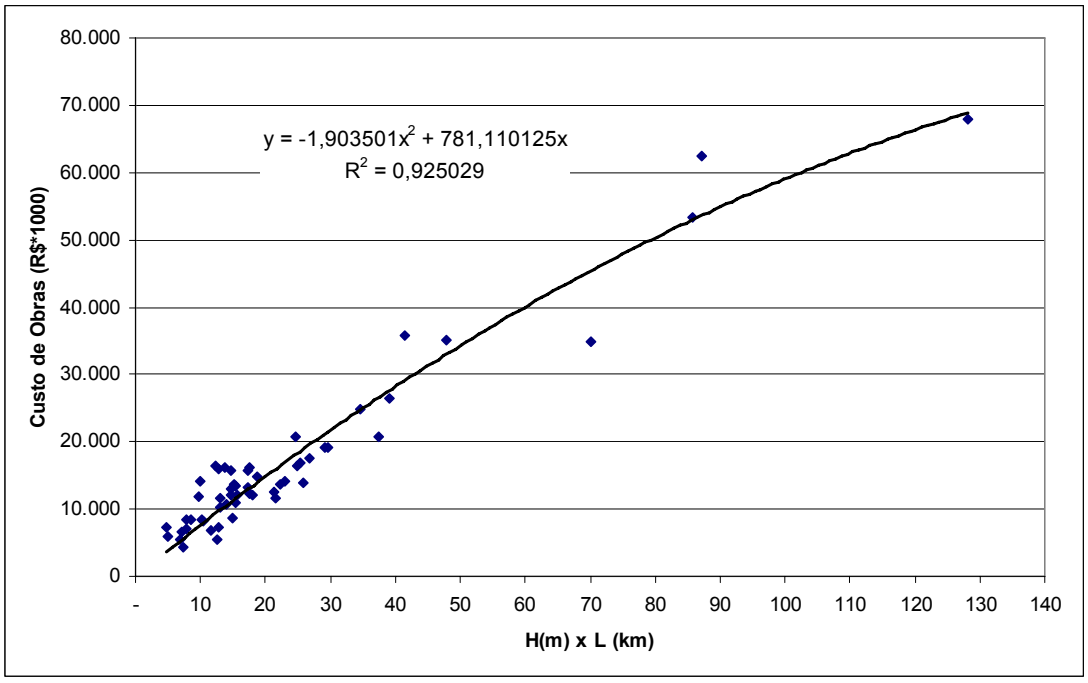


Figura 3.16. Equação Paramétrica para Estimativa de Custos de Barragens de Terra

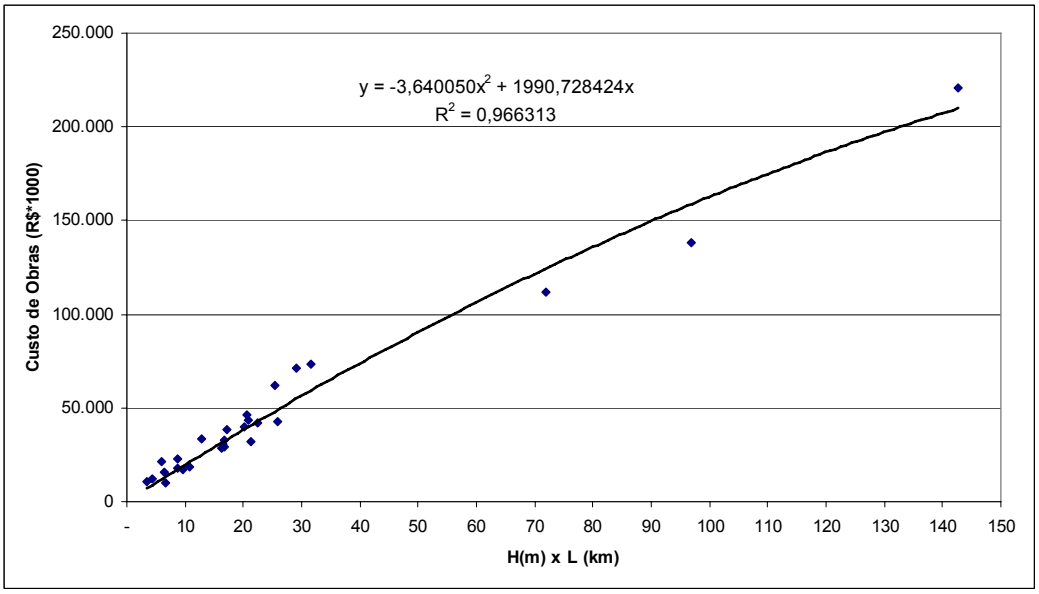


Figura 3.17. Equação Paramétrica para Estimativa de Custos de Barragens de CCR/Alvenaria de Pedra

Destaca-se que, levando em conta a data de realização do trabalho supracitado, faz-se necessária a atualização monetária decorrente das defasagens decorrentes do período abril 2007/ agosto 2008 (agosto é último mês com índices publicados pela revista FGV de outubro). Recorreu-se ao Índice Nacional de Custo da Construção INCC 1A, o qual assinala para esse período um reajuste de 14,36%, sendo este índice aplicado aos resultados obtidos das equações paramétricas mostradas nas figuras anteriores.

A Tabela 3.6 mostra o resultado do cálculo dos custos estimados para construção da barragem Pedra Mulata para as diferentes capacidades de acumulação máxima estudadas.

Tabela 3.6. Custos de construção da barragem Pedra Mulata

Barragem	Capacidade Máxima (hm³)	Altura - H (m)	Comprimento - L (km)	H(m) x L(km)	Custo, Barragem em CCR	Custo, Barragem em Terra
Pedra Mulata	160,5	56,2	0,80	44,96	R$ 93.941.190,17	R$ 35.761.482,72
	170,1	57,7	0,85	49,045	R$ 101.642.545,33	R$ 38.574.590,78
	180,3	59,3	0,90	53,37	R$ 109.644.953,73	R$ 41.473.794,36
	191,1	61	0,95	57,95	R$ 117.949.402,64	R$ 44.455.151,28

Os custos unitários por m^3 de água fornecida, considerando uma vida útil de 50 anos e uma taxa de juros equivalente ´TJLP (Taxa de Juros de Longo Período do Banco Central do Brasil) vigente ao longo de 2008 variam de pouco menos de meio centavo de real para 1,5 centavos de real, segundo a capacidade máxima considerada para a barragem e a técnica construtiva adotada. Valores que se mostram muito atrativos se cotejados com outras alternativas para aumento da oferta hídrica como é o caso de transpor vazões de bacias vizinhas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. B. Modelagem da retenção de sedimentos nos reservatórios do semi-árido. (2001). Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará . Fortaleza, 2001.

ANA. Legislação Estadual

ANA (2008). Banco de Dados HidroWEB.

ARAÚJO, FERNANDES, MACHADO JÚNIOR, OLIVEIRA e SOUSA. Sedimentation of reservoirs in semi -arid Brazil , in: Gaiser, Krol, Frischkom e Araújo (eds.) Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semi-Arid Northeast Brazil. Margraf Verlag (2002a).

ARAÚJO, DõLL, GÜNTNER, KROL, ABREU, HAUSCHILD e MENDIONDO Water. Scarcity Prognosis under Change Scenarios in Brazilian Semi-Arid. Relatório técnico, Programa WAVES. Fortaleza (2002b).

AZEVEDO N., J. M. (2003). Manual de Hidráulica. Ed. Edgard Blücher Ltda. 8ª Edição, 3ª reimpressão. São Paulo / SP, 2003.

BERTONI , J., LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo . 31 ed. São Paulo, Ícone, 1990.

BAPTISTA, M. N., NILO, B. S. (2005). Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre. ABRH. 2005.

BAPTISTA, M. B., CIRILO, J. A., COELHO, M. M. L. P., Hidráulica Aplicada. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, V8. Porto Alegre, RS. 2001.

CANHOLI, A. P. (2005). Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de Textos. São Paulo.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática . CPRM, Rio de Janeiro, 1994.

CHEN, Y.H. (1973). Mathematical Modeling of Water and Sediment Routing in Natural Channels. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO. 1973.

CHOW, V.T. (1964). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Company, Singapore. ISBN: 0-07-085906-X, 1964.

CHOW, V.T. (1973). Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Singapore. ISBN: 0-07-085906-X, 1973.

DAEE/CETESB (1980). Drenagem Urbana: Manual de Projeto. São Paulo: 465p.

DNOS. Estudo Global dos Recursos Hidráulicos de Bacias Hidrográficas do Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, Engenharia Gallioli, 1966.

DUNNE, T. e LEOPOLD, L. B. Water in Environmental Planning, W.H. Freeman e Co, Nova York, 818p, 1995.

ES. Estado do Espírito Santo. Das Águas Superficiais e Subterrâneas. In: ____. Meio Ambiente e Desenvolvimento no Espírito Santo. Relatório Final. Vitória, Comissão Coordenadora Estadual sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992.

ES (2007). Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo – GEOBASES. Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. Espírito Santo – ES, 2007.

ESCELSA. Bacias Hidrográficas do Espírito Santo. Estudos Finais de Inventário Hidrelétrico. Relatório Final. Rio de Janeiro, Engevix, s.d.

FERNANDES, L. Processo Hidrosedimentológico na Bacia do Açude Acarape do Meio, Ceará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, janeiro 2000, 93p.

FISCHER, H.B.; LIST, E.J.; KOH, R.C.Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N.H. (1979). Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, Inc., London.

FRAZÃO, E.P. (2003). Caracterização Hidrodinâmica e Morfo-sedimentar do Estuário Potengi e Áreas Adjacentes: Subsídios para Controle e Recuperação Ambiental no caso de Derrames de Hidrocarboneto. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Exatas e da Terra, UFRN. Natal, RN.

FREITAS et al (2001). Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 2001.

FUNCATE (2007), Atualização e Detalhamento do Cálculo do Custo da Água Bruta Disponibilizada por Reservatórios Localizados no Nordeste Setentrional. Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE. São José dos Campos – SP, 2007.

GALVEAS, HOMERO BONADIMANN, A História da Barra do Jucu, Gênese da Cultura Capixaba. Desenvolvimento Sócio-Cultural da Grande Vitória,1976.

GERENCIAMENTO AMBIENTAL DE DRAGAGEM E DISPOSIÇÃO DO MATERIAL DRAGADO (2002). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio de Janeiro. 2002.

HABTEC (1997). Diagnóstico e plano diretor das bacias dos Rios Santa Maria e Jucu: biodiversidade, região estuarina e espaços territoriais protegidos. Consórcio Intermunicipal das Bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucu, Vitória, ES, 1997.

IBGE (2003). Base Cartográfica Integrada Digital do Brasil ao Milionésimo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, 2003.

IBGE. www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/população/censo.

IEMA (2008). Banner “As Águas da Bacia do Rio Jucu”. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. Espírito Santo, 2008.

INMET (1992). Normais Climatológicas (1961 – 1990). Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, 1992.

KHANBILVARDI, R.M. e ROGOWSKI, A.A. Quantitative evaluation of sediment delivery ratios. Water Resources Bulletin , vol. 20, n.6, p.865-874, 1984.

KINNEL, P.I.A., et ai. The IXEA index as na alternative to the E130 erosivity index. In: Transactions of the ASAE, vol. 37(5): 1449-1456, 1984.

LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria III: Effects of rainfall characteristics. In: Geoderma 16 (5): 389-401, 1976.

LIGGETT, J.A., and CUNGE, J.A. (1975). Numerical Methods of Solution of the Unsteady Flow Equations, in Unsteady Flow in Open Channels, edited by K. Mahmood and V. Yevjevich, Vol. I, Chapter 4, Water Resource Publication, Ft. Collins, CO. 1975.

MAIDMENT, D. R. (2002). ArcHydro – Gis for Water Resources. Redlan, California. 2002.

MUSGRAVE, G.W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation . J. Soil and Water Cons., 1947.

NÓBREGA, M.T. (1998). Simulação do comportamento dos transientes hidráulicos na calha do Rio Cocó. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará.

OTTO PFAFSTETTER (1957). Chuvas Intensas no Brasil. Ministério do Interior. Departamento Nacional de obras de Saneamento. Rio de Janeiro, RJ. 1982.

PINTO, F. R. L. (2003). Equações de intensidade – duração – freqüência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

PORTO, R. M. (1999). Hidráulica Básica. Ed. São Carlos – EESC-USP. São Paulo. 1999.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004.

REINING, Ludger. Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southem central cordillera of Colombia. Margraf, Hohenhein tropical agricultura[series: 1, 1992.

RIGHETTO, A.M. Hidrologia e Recursos Hídricos. EESC/USP, São Carlos-SP, 1998.

RISSE, L.M.; NEARING, A.D.N.;LAFLEN , J.M. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. Soìl Sei. Soc. Am. J. 57: 825-833, 1993.

ROOSE, E.J. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: Greenland , D.J.; Lal (ed.) . Soil conservation and management in the hunid tropics, pp. 177-178. Wiley. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1977.

SALES, M.T.B.F. Caracterização de processos erosivos em áreas florestadas e antropizadas na serra de Baturité-CE. Fortaleza, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado, 1997.

SCHWERTMANN, U. Die Vorausschãtzung des Bodenabtrags in Bayer (Verfahren Wischmeier und Smith). Bayer, 126p. St. Ministerium f. Ernãhrung, Landwirtschaft und Forsten. München, 1981.

SEAMA/COGIRH. Informações sobre as Bacias Hidrográficas do Estado. Coordenadoria de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos. Em preparação.

SEAMA-CVRD-UFES. PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos - Regionalização de Vazões Características Mensais e Diárias no Estado do Espírito Santo. Vitória, 1996.

SMITH, D.D.; WHITT, D.M. Evaluating soil losses froco field areas . Am. Soc. Agr., 1948.

TABORGA TORRICO, J.J. (1974). “Isozonas”, in Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro, RJ, pp. 9-18.

TUCCI, C.E.M. (1987). Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica. Revista Brasileira de Engenharia – RBE. Rio de Janeiro, RJ. 1986.

TUCCI, C.E.M. (1993). Hidrologia – Ciência e Aplicação. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. 1993.

TUCCI, C.E.M. (1995). Drenagem Urbana. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. 1995.

VANNONI, V.A. Sedimentation Engineering . ASCE, New York, 745 p., 1977.

WISCHMEIER, W.H. Rainfall-erosion Tosses from cropland east of the Rocky Mountains. Agricultural Handbook n°. 282. USDA-ARS, 1965.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfalll erosion losses - a guide to conservation planning . U.S. Department of Agricultutre, Agriculture Handbook, n°. 537, Washington D.C., 1978.

USACE (1983). DREDGING AND DREDGED MATERIAL DISPOSAL (1983). Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, 1983.

USACE (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-CA, 2000.

USACE, (2001). River Analysis System HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-C. 2001.

USACE (2004). EVALUATING ENVIRONMENTAL EFFECTS OF DREDGED MATERIAL MANAGEMENT ALTERNATIVES -- A TECHNICAL FRAMEWORK (2004). DEPARTMENT OF THE ARMY United States Army Corps of Engineers Washington, DC. 2004.

Acquatool Consultoria S/S Ltda
Matriz: Rua Calixto Machado, 23. Sala D-007. Pires Façanha - Eusébio
Escritório: Av. Dom Luís, 300 - Sala 708 - Fortaleza
PABX: 85.3264.9700 - www.acquatool.com.br