



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**REINALDO GAMA DE CARVALHO**

**OBTENÇÃO DA CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA (IDF) DE  
CHUVAS INTENSAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ MURUPU,  
BOA VISTA –RR.**

**Boa Vista - RR**

**2007**

**REINALDO GAMA DE CARVALHO**

**OBTENÇÃO DA CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA (IDF) DE  
CHUVAS INTENSAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ MURUPU,  
BOA VISTA –RR.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PRONAT da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa

**Boa Vista - RR**

**2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

C331o Carvalho, Reinaldo Gama de.

Obtenção da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do igarapé Murupu, Boa Vista-RR / Reinaldo Gama de Carvalho. – Boa Vista, 2007.

131f. : il

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais- PRONAT, Mestrado em Recursos Naturais. UFRR.


1 – Hidrologia. 2 – Chuvas intensas. 3 – Chuvas efetiva. 4 – Vazão de projeto. I – Título. II – Costa, José Augusto Vieira.


CDU – 556.12

**REINALDO GAMA DE CARVALHO**


**Obtenção da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, Boa Vista-RR.**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 26 de novembro de 2007 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa  
Orientador/UFRR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luiz Antônio Cândido  
Membro/INPA

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Wellington Farias Araújo  
Membro/UFRR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Renato Augusto de Oliveira Evangelista  
Membro/UFRR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jaime de Agostinho  
Membro/UFRR

À minha querida esposa Áurea  
pela compreensão e apoio nos momentos difíceis  
dessa longa caminhada na busca do conhecimento;  
e *in memoriam* aos meus pais,  
Hernani Machado de Carvalho e Oscarina Gama de Carvalho,  
que nunca mediram esforços para minha educação,  
ao meu irmão Ronaldo Gama de Carvalho, Professor Doutor da USP e  
à minha querida irmã Regina  
dedico este trabalho de pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Após a conclusão deste trabalho de pesquisa é com grande satisfação que agradeço:

- Ao Grande Arquiteto do Universo, que tudo pode e nos fortalece;
- Ao Estado Brasileiro que sempre me proporcionou subir nos degraus do conhecimento graças ao ensino gratuito;
- A Universidade Federal de Roraima – UFRR que me dá essa chance de realização profissional, através do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – PRONAT;
- A todos os professores do PRONAT e convidados que me ajudaram na construção da visão do Desenvolvimento Sustentável do Estado de Roraima;
- Ao professor Doutor José Augusto Vieira Costa, orientador deste trabalho de pesquisa;
- Aos colegas da segunda turma do PRONAT, em especial ao colega Raimundo Alves dos Reis Neto pela ajuda nas medições de campo e operação do ArcView 3.2;
- Aos funcionários da Universidade Federal de Roraima – UFRR através da abnegada servidora pública Sra. Maria Inácia Ferreira;
- Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET pela presteza no fornecimento de dados de chuva da Estação Meteorológica de Boa Vista – RR;
- Ao Instituto Nacional de Colonização e reforma Agrária – INCRA pelo acesso às informações do Projeto de Assentamento Nova Amazônia;
- À Prefeitura Municipal de Boa Vista pelas informações prestadas do atual Plano Diretor Estratégico de Boa Vista - RR;
- À empresa Ouro Verde Agrossilvopastoril – OVA pelas informações prestadas sobre o seu Plano de Manejo Florestal.

*Bem-aventurado o homem que acha sabedoria,  
e o homem que adquire conhecimento. Prov.3.13.*

## RESUMO

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal a obtenção da curva Intensidade–Duração–Frequência – IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR, tendo em vista ser esta cidade uma das raras capitais brasileiras desprovidas dessa ferramenta fundamental, para o dimensionamento de obras do tipo: pontes, bueiros, represas, canalização urbana ou rural, irrigação, controle de erosão, dentre outras. A metodologia adotada, conhecida como *desagregação* da chuva de “1 DIA”, utilizou dados pluviométricos disponíveis da série histórica de 34 anos, observados de 1961 a 2007 pelo INMET na estação Boa Vista. Os objetivos específicos são as estimativas da chuva efetiva e da vazão de projeto, da bacia hidrográfica do igarapé Murupu com área de 790,6253 km<sup>2</sup>, realizadas com base nos modelos do *Soil Conservation Service – SCS*, consagrados internacionalmente, que utilizam parâmetros fisiográficos da bacia onde se destaca o CN chamado *Curve Number* (Número da Curva) que reflete a taxa de infiltração do solo, na hipótese do solo com umidade média ou equivalente a capacidade de campo. A curva Intensidade–Duração–Frequência – IDF de Boa Vista – RR obtida foi  $i_m = 951,57 \cdot T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$ , cujos resultados apresentaram coerência com os dados de origem, calculados com o modelo de Gumbel-Chow, e com os das curvas IDF das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá -MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ e São Luiz – MA, para períodos de retorno de 5 a 100 anos. A verificação das estimativas da chuva efetiva e vazão de projeto da bacia do igarapé Murupu exigem medições de campo que não foram realizadas. Por isso seus resultados têm suas aplicações práticas limitadas.

Palavras-chaves: Hidrologia; Chuvas Intensas; Chuva Efetiva; Vazão de Projeto.



## ABSTRACT

This research work has as main objective the definition of the curve Intensity–Duration–Frequency - IDF of intense rains of Boa Vista - RR, tends in view to be this city one of the rare without Brazilian capitals that fundamental tool to define the dimensions of works of the type: bridges, gutters, dams, canalization urban or rural, irrigation, erosion control, among others. The methodology known as *disaggregation* of the rain of "1 DAY" that left of given available pluviometer data of a 34 year-old historical series, observed from 1961 to 2007 for INMET in the station Boa Vista. The specific objectives was the estimates of the effective rainfall and of the design flood, of the river basin of the Murupu, with area of 790.6253 km<sup>2</sup>, estimates with base in the model of *Soil Conservation Service - SCS*, consecrated internationally, that uses physiographic parameters of the basin where stands out the CN call *Curve Number* (Number of the Curve) that reflects the tax of infiltration of the soil, in the hypothesis corresponding to the soils with humidity medium or equivalent the field capacity. The expression of curve Intensity–Duration–Frequency - IDF found for Boa Vista – RR was  $i_m = 951.57 \cdot T^{0.161} / (t + 12)^{0.76}$ , whose results presented coherence with the origin data, made calculations with the model of Gumbel-Chow and for the curve IDF of the cities of São Paulo - SP, Cuiabá - MT, Goiânia - GO, Belém - PA, Manaus - AM, Rio de Janeiro - RJ and São Luiz - MA, for return periods from 5 to 100 years. The verification of the estimates of effective rainfall and of the design flood of the basin of the river basin Murupu demand measurements of field that was not possible. Therefore their results, even without discrepancies, they have its limited practical applications.

Key words: Hydrology; Intense Rains; Effective Rainfall; Design Flood.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vistas do mesmo local da margem do rio Cauamé no limite do perímetro urbano de Boa Vista – RR sob efeito da estiagem (A) e da cheia (B), fenômenos que ocorrem também na margem do igarapé Murupu.....	16
Figura 2: O Ciclo Hidrológico.....	18
Figura 3: Pluviômetro, instrumento de medição de chuva, em mm em “1 DIA”.....	18
Figura 4: Pluviógrafo, instrumento que registra o gráfico de chuva, utilizado na determinação da sua intensidade, em mm/hora ou outra unidade conveniente.....	19
Figura 5: Fatores Porcentuais de Redução de Área do Weather Bureau, em função da área de abrangência da chuva (A) em km <sup>2</sup> e de sua duração, adaptados de Marcellini (1994).....	20
Figura 6: Mapa das 8 (oito) Isozonas do Brasil, conforme Pontes e Fernandes [2005?].....	31
Figura 7: Hietograma e Hidrograma de Cheia, segundo Sartori (2004).....	33
Figura 8: Separação dos escoamentos superficial e básico e definição do ponto C (fim do Escoamento Superficial), segundo Sartori (2004).....	34
Figura 9: Princípio da Constância do Tempo de Base do Hidrograma Unitário.....	35
Figura 10: Princípio da Proporcionalidade das Descargas do Hidrograma Unitário.....	35
Figura 11: Princípio da Aditividade do Hidrograma Unitário.....	36
Figura 12: Curva S, conforme Sartori (2004).....	36
Figura 13: Hidrograma Unitário Curvilíneo - HUC, Hidrograma Unitário Triangular - HUT e respectivas Curvas de Massa – do <i>Soil Conservation Service</i> - SCS, conforme McCuem (1898 apud SARTORI, 2004).....	38
Figura 14: Exemplo de representação gráfica do Hietograma de Projeto segundo método dos blocos alternados apresentado em Marcellini (1994).....	41
Figura 15: Localização da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima.....	44
Figura 16: Acessos rodoviários na bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima.....	45
Figura 17: <i>Inselberg</i> (serra do Murupu) (A) e colinas residuais na região das serras Nova Olinda (B) na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima, segundo Costa (2006).....	46

Figura 18: Vista do igarapé Murupu a jusante (A) e a montante (B) da ponte na BR-174, distante 20km de Boa Vista na direção de Pacaraima, mostrando a cor verde da água como sinal de rio de água clara segundo Sioli (1991).....	47
Figura 19: Padrões de Drenagem da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima, conforme Zernitz (1932 apud HOWARD, 1967).....	48
Figura 20: Quadro das unidades litoestratigráficas na região do igarapé Murupu de autoria de Costa (2006).....	49
Figura 21: Perfil esquemático de um modelo evolutivo para formação de inselbergs na região centro-oeste do Estado de Roraima segundo Costa (2006).....	49
Figura 22: Mapa de solo da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima, segundo Vale Júnior (2006).....	51
Figura 23: Paisagens (A) e (B) de Savana tipo Gramíneo-lenhosa que predomina na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.....	52
Figura 24: Plantação de <i>Acácia mangium</i> na margem da estrada (A) e ao pé da serra do Murupu (B), na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima, em 2007.....	53
Figura 25: Localização das quatro áreas da OVA no entorno da capital Boa Vista (A) e detalhe da Área 3 pertencente à bacia do Igarapé Murupu (B), conforme Ouro Verde Agrossilvopastoril (2007).....	54
Figura 26: Vistas da Amazônia Mucajai Mineração na sua entrada pela BR 174 (A) e exploração de basalto (B), distante 17km de Boa Vista na direção de Pacaraima.....	55
Figura 27: Uso múltiplo dos recursos hídricos praticados na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima: Aqüicultura (A) e Recreação (B)..	56
Figura 28: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central de Roraima com destaque para a Área 3 do projeto Ouro Verde e Projeto de Assentamento Nova Amazônia.....	57
Figura 29: Transformação das curvas “i x t” em retas por tentativas de anamorfose para b=20 ou fator “t +20” na curva IDF, conforme Vieira, Lombard e Santos (1998).....	59
Figura 30: Precipitação Máxima (x) em mm/dia de Boa Vista no eixo das ordenadas em função da variável reduzida (y) no eixo das abscissas, confirmando o aspecto linear dessa relação segundo estudos de Gumbel (1958).....	71
Figura 31: Família de curvas Intensidade-Duração-Frequência - IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR com base nos logaritmos neperianos dos dados da tabela 13 tendo-se no eixo das abscissas o <i>ln</i> das durações e no eixo das ordenadas o <i>ln</i> das intensidades. Cada curva é relativa ao seu período de retorno.....	73

Figura 32: Reta correspondente a curva Intensidade-Duração-Freqüência - IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR para período de retorno de 5 anos com base nos logaritmos neperianos dos dados da tabela 13 tendo-se no eixo das abscissas o $\ln$ das durações + 12 e no eixo das ordenadas o $\ln$ das intensidades.....	75
Figura 33: Curvas Intensidade-Duração-Freqüência - IDF de chuvas intensas das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá -MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ, São Luiz – MA e Boa Vista – RR para Período de Retorno de 2 anos.....	79
Figura 34: Hidrograma Unitário Triangular do <i>Soil Conservation Service</i> – SCS para $T_r = 2$ anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.....	88
Figura 35: Hidrograma de Projeto do <i>Soil Conservation Service</i> – SCS para $T_r = 2$ anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.....	91
Figura 36: Hidrogramas de Projeto do <i>Soil Conservation Service</i> – SCS para $T_r = (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100)$ anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Umidade no solo conforme Collischonn (2001).....	22
Tabela 2 Períodos de retorno em função dos tipos de obra e ocupação do solo, sugeridos pelo DAEE e CETESB do Estado de São Paulo, conforme Zuffo (2004).....	25
Tabela 3: Relação entre as alturas pluviométricas - valores médios obtidos dos fatores de desagregação obtidos com pesquisas nacionais e internacionais.....	29
Tabela 4: Relações entre as precipitações de durações 1 hora e 6 min por 24 horas .....	31
Tabela 5: Relações porcentuais entre durações 1 hora / 24 horas, obtidas pelos Métodos da Desagregação e das Isozonas, relativas a cada período de retorno para Boa Vista, conforme Pontes e Fernandes [2005?]......	32
Tabela 6: Limites de Duração Unitária em horas propostos por Sherman conforme Genovez (2001 apud SARTORI, 2004).....	37
Tabela 7: Coordenadas do Hidrograma Unitário Curvilíneo do <i>Soil Conservation Service</i> (HUC-SCS), conforme Genovez (2001 apud SARTORI, 2004).....	38
Tabela 8: Exemplo de um hietograma de projeto determinado pelo método dos blocos alternados, conforme Marcellini (1994).....	41
Tabela 9: Fazendas Bamerindus do Projeto de Assentamento Nova Amazônia, situadas parcialmente na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.....	52
Tabela 10: Fatores de desagregação de chuva de “1 DIA” conforme Cardoso, Ullmann e Bertol (1998).....	58
Tabela 11: Todos os dados de chuva máxima diária, fornecidos pelo INMET, tabulados em ordem cronológica. (Continuação).....	65
Tabela 12: Série selecionada de 34 anos de chuvas máximas diárias de Boa Vista - RR, conforme dados do INMET período de 1961 a 2007, em ordem cronológica.....	67
Tabela 13: Série selecionada de 34 anos de chuvas máximas diárias de Boa Vista - RR, conforme dados do INMET período de 1961 a 2007, em ordem cronológica usada na distribuição de Gumbel para definição dos períodos de retorno.....	67
Tabela 14: Média e desvio padrão da variável reduzida (y) em função do número de observações, conforme Gumbel (1958).....	68
Tabela 15: Definição dos períodos de retorno com Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de "1DIA" de Boa Vista – RR, no período de 1961 a 2007.....	69

Tabela 16: Chuvas máximas de "1 DIA" de Boa Vista - RR para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, calculadas com base em Gumbel (1958).....	71
Tabela 17: Desagregação de chuvas máximas de "1DIA" em mm/dia de Boa Vista – RR para os períodos de retornos de 5 a 100 anos e durações selecionados.....	72
Tabela 18: Desagregação de chuvas máximas de "1DIA" em mm/h de Boa Vista – RR para os períodos de retornos de 5 a 100 anos e durações selecionados.....	73
Tabela 19: Durações utilizadas nas tentativas do processo de anamorfose para definição do parâmetro $b$ da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista.....	74
Tabela 20: Estimativa por regressão linear de $c = 0,76$ da curva IDF de Boa Vista com base na reta $Y = a' \cdot X + b' + v$ , onde $a' = -c$ e $b' = \log C$ , para período de retorno 2 anos.....	76
Tabela 21: Estimativas por regressão linear de $a = 0,161$ e $K = 951,57$ da curva IDF de Boa Vista com base na reta $Y = a' \cdot X + b' + v$ , onde $a' = a$ e $b' = \log K$ , para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 anos.....	76
Tabela 22: Intensidades máximas médias de chuva em mm/h estimadas com fator de desagregação e Gumbel comparadas com as estimadas com a curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR para as mesmas condições de duração e período de retorno.....	78
Tabela 23: Intensidades de chuvas intensas das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá -MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ, São Luiz – MA e Boa Vista – RR para Período de Retorno de 2 anos.....	79
Tabela 24: $CN_{med}$ como média ponderada dos $CN$ dos solos da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.....	80
Tabela 25: Enquadramento das atuais classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo conforme Sartori (2004).....	81
Tabela 26: Número da curva de escoamento superficial para usos agrícolas ( $I_a = 0,2S$ ), condição II de umidade antecedente e condição hidrológica superficial média conforme Sartori (2004).....	82
Tabela 27: Chuva Efetiva conforme Hidrograma Unitário Triangular do <i>Soil Conservation Service</i> (HUT – SCS), $T_r = 2$ anos da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.....	87
Tabela 28: Vazão de Projeto da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, $A = 790,6253\text{km}^2$ e $T_r = 2$ anos, na região central do Estado de Roraima.....	91
Tabela 29: Vazões de Projeto da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, $A = 790,6253\text{km}^2$ , $T_r = 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100$ anos, na região central do Estado de Roraima.....	92

## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 HIDROLOGIA GERAL.....	17
1.1.1 <i>O ciclo hidrológico</i> .....	17
1.1.2 <i>Precipitação</i> .....	18
1.1.3 <i>Infiltração</i> .....	20
1.1.4 <i>Umidade do solo</i> .....	21
1.1.5 <i>Água do solo</i> .....	22
1.1.6 <i>Perdas de água</i> .....	23
1.1.7 <i>Escoamento Superficial</i> .....	23
1.1.8 <i>Bacia hidrográfica</i> .....	24
1.1.9 <i>Medições Diretas de Vazão e Chuva</i> .....	24
1.1.10 <i>Medições Sintéticas de Vazão e Chuva</i> .....	24
1.2 CURVA IDF DE CHUVAS INTENSAS.....	24
1.2.1 <i>Espacialização</i> .....	27
1.2.2 <i>Desagregação</i> .....	27
1.2.3 <i>Isozonas</i> .....	30
1.3 ESTUDO DAS CHEIAS.....	32
1.3.1 <i>Hidrograma</i> .....	32
1.3.2 <i>Hidrograma Unitário HU</i> .....	34
1.3.3 <i>Hidrogramas Unitários do Soil Conservation Service (SCS)</i> .....	37
1.3.4 <i>Distribuição dos blocos alternados</i> .....	40
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	42
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
3.1 MATERIAL.....	43
3.1.1 <i>Imagens Landsat TM-5</i> .....	43
3.1.2 <i>Cartas do DSG</i> .....	43
3.1.3 <i>Cartas temáticas</i> .....	43

3.1.4 <i>Dados de Precipitação Pluviométrica</i> .....	43
3.1.5 <i>Bacia hidrográfica do igarapé Murupu</i> .....	43
3.2 MÉTODOS.....	57
3.2.1 <i>Desagregação de chuva de “1DIA”</i> .....	57
3.2.2 <i>Anamorfose</i> .....	58
3.2.3 <i>Mínimos Quadrados</i> .....	59
3.2.4 <i>Metodologia geral para curva IDF</i> .....	59
3.2.5 <i>Soil Conservation Service – Chuva Efetiva</i> .....	61
3.2.6 <i>Soil Conservation Service- Vazão de Projeto</i> .....	63
3.2.7 <i>Convolução</i> .....	64
3.2.8 <i>Geoprocessamento e Planilha Eletrônica</i> .....	64
3.2.9 <i>Hidrologia Sintética</i> .....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1 CURVA IDF DE CHUVAS INTENSAS DE BOA VISTA-RR.....	65
4.1.1 <i>Dados de chuva do INMET</i> .....	65
4.1.2 <i>Ordenamento dos dados de chuva do INMET</i> .....	66
4.1.3 <i>Período de Retorno conforme Gumbel</i> .....	68
4.1.4 <i>Chuva máxima de “1 DIA”para <math>T_r</math> de (2 a 100) anos</i> .....	70
4.1.5 <i>Desagregação da chuva máxima de “1 DIA”de Boa Vista-RR</i> .....	72
4.1.6 <i>Parâmetros da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR</i> .....	74
4.1.7 <i>Curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR</i> .....	77
4.1.8 <i>Verificação da coerência da Curva IDF de Boa Vista-RR</i> .....	80
4.2 CHUVA EFETIVA: IGARAPÉ MURUPU.....	80
4.2.1 <i>Formulário</i> .....	84
4.2.2 <i>Dados de entrada</i> .....	85
4.2.3 <i>Chuva Efetiva</i> .....	84
4.3 VAZÃO DE PROJETO: IGARAPÉ MURUPU.....	87
4.3.1 <i>Formulário</i> .....	88
4.3.2 <i>Dados de entrada</i> .....	89
4.3.3 <i>Vazão de Projeto</i> .....	89
4.3.4 <i>Verificação da coerência da Chuva Efetiva e Vazão de Projeto</i> .....	93
4.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94



<b>REFERÊNCIAS</b> .....	96
<b>APÊNDICE A</b> .....	101
<b>APÊNDICE B</b> .....	106
<b>APÊNDICE C</b> .....	114
<b>APÊNDICE D</b> .....	117
<b>ANEXO A</b> .....	125

## 1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos de cheia e estiagem que acontecem normalmente nos rios e igarapés como ilustrado na figura 1, podem se tornar críticos tanto no setor urbano quanto no setor rural em função do uso do solo, tendo-se como tendência o aumento da amplitude entre os resultados dos níveis d'água de cheia e estiagem. No contexto das cheias se insere o presente trabalho tendo em vista a sua importância no dimensionamento criterioso e econômico de obras do tipo: pontes, bueiros, represas, canalização urbana ou rural, irrigação, controle de erosão, dentre outras.



Figura 1: Vistas do mesmo local da margem do rio Cauamé no limite do perímetro urbano de Boa Vista – RR sob efeito da estiagem (A) e da cheia (B), fenômenos que ocorrem também na margem do igarapé Murupu.

Este estudo visa a obtenção da curva Intensidade-Duração-Frequência – IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR considerando que a sua região não dispõe de dados de pluviógrafos, considerados imprescindíveis na definição desta curva pelo método tradicional, já aplicado na maioria das capitais brasileiras.

Para o dimensionamento das obras acima referidas, destacam-se os cálculos das chuvas efetivas e vazões de projeto. Por esse motivo este trabalho se estendeu às estimativas dessas duas grandezas da bacia hidrográfica do igarapé Murupu que foi considerada na mesma zona climática onde é válida a aplicação da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR.

Neste capítulo serão apresentados conceitos hidrológicos relacionados ao ciclo hidrológico e as chuvas intensas, inclusive estudo das cheias.

## 1.1 HIDROLOGIA GERAL

Conforme Wisler e Brater (1964), a hidrologia é a ciência que se ocupa dos processos que regulam o enchimento e o esvaziamento dos recursos de água na parte sólida do globo terrestre. Tem por tema o transporte da água no ar, na superfície da Terra e através das camadas da terra. Sua aplicação além da engenharia se estende a silvicultura, a agricultura e outros ramos das ciências naturais.

Os problemas de vazão que a hidrologia resolve podem ser divididos em três categorias: a) determinação da máxima cheia que se pode esperar com uma dada frequência; b) determinação da vazão média mensal, por estação, anual ou em longo prazo, que pode ser prevista para uma dada bacia e c) determinação da vazão mínima que na maioria das vezes está associada à vida aquática é por isso é chamada de vazão ecológica. Para solução de cada um desses problemas, são empregadas técnicas inteiramente diferentes.

Para o cálculo da vazão máxima (caso do presente trabalho) é necessário um estudo detalhado das características do hidrograma do escoamento superficial da bacia hidrográfica, juntamente com o conhecimento da capacidade de infiltração e suas variações. A evaporação, a transpiração ou ambas (evapotranspiração) e outras perdas são ignoradas, por causa do curto período durante o qual elas são perceptíveis. Para solução dos problemas que envolvem vazão média e principalmente a mínima, a importância relativa de todos esses dados é relevante.

### 1.1.1 *O ciclo hidrológico*

A água existe no globo terrestre em toda parte e se concentra nos oceanos e é escassa nos desertos. Sua quantidade global é constante, porém sua distribuição nas fases sólida, líquida e gasosa está em constante mudança que é conhecida como o *ciclo hidrológico* que pode ser representado de forma esquemática pela figura 2 (adaptada de Brasil (2001)), onde os números estão expressos em  $\text{km}^3/\text{ano}$  de água nas seguintes fases:  $P_c$  = precipitação nos continentes;  $E_{vpc}$  = evapotranspiração nos continentes;  $ES_s$  = escoamento superficial;  $ES_b$  = escoamento básico ou subterrâneo;  $P_o$  = precipitação nos oceanos;  $E_o$  = evaporação nos oceanos. Note-se que os balanços da precipitação com a evaporação nos oceanos e da precipitação com a evapotranspiração nos continentes são iguais ao volume de  $44.800 \text{ km}^3/\text{ano}$  da água que esco dos continentes para os oceanos fechando o ciclo.

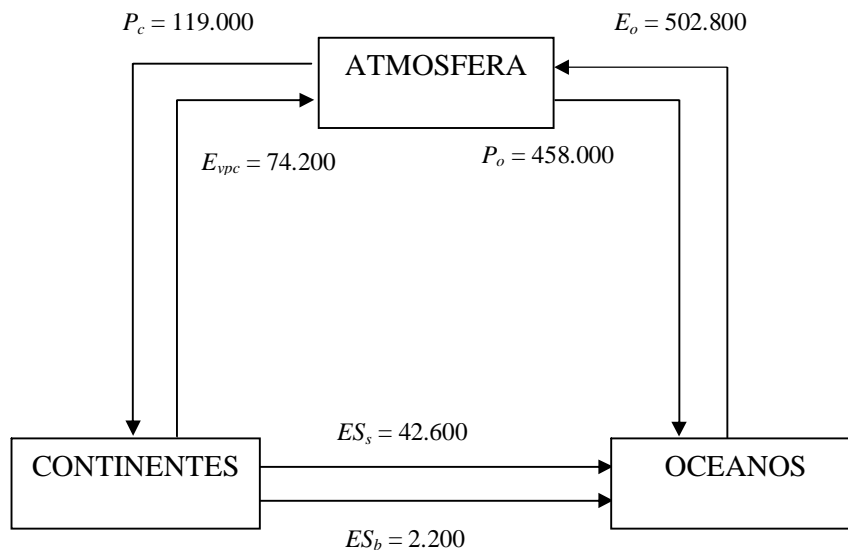


Figura 2 Ciclo Hidrológico médio anual da Terra. Adaptado de Brasil (2001)

Embora este trabalho de pesquisa seja restrito as fases de precipitação e escoamento superficial desse ciclo hidrológico, será abordada a seguir a precipitação pluviométrica, inclusive suas forma de medição, distribuição espacial e temporal. Também serão abordados os temas: infiltração, umidade de água do solo, perdas de água e escoamento superficial.

1.1.2 **Precipitação:** A precipitação pluviométrica é medida utilizando-se o pluviômetro (figura 3) ou de forma mais completa pelo pluviógrafo (figura 4) que permite através do gráfico definir a altura em mm e duração da precipitação em hora e correspondente intensidade em mm/hora.



Figura 3: Pluviômetro, instrumento de medição de chuva, em mm em “1 DIA”.



Figura 4: Pluviógrafo, instrumento que registra as precipitações ocorridas.

A experiência com utilização de rede de pluviógrafo comprova que uma chuva não se mantém na mesma intensidade em toda sua área de ação. Em regiões mais críticas como a Amazônia e, em especial, o Estado de Roraima, pobres em rede de pesquisa hidrometeorológica, qualquer estudo que procure levar em consideração a variação da intensidade da chuva no espaço torna-se difícil. Marcellini (1994) apresenta os fatores de redução de área estabelecidos pelo órgão americano Weather Bureau para bacias hidrográficas entre 25 até 1.000 km<sup>2</sup>. Conforme se pode constatar na figura 5, tomando-se como exemplo uma área de 700 km<sup>2</sup>, a chuva de 1 hora sofrerá uma redução para aproximadamente 66% enquanto que para chuva de 24 horas esse fator é de aproximadamente 92%. Na prática os cálculos para esses casos seriam efetuados para 462 km<sup>2</sup> e 644 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Além dos dados constantes em rede de pluviógrafos, dados de radar meteorológico podem ser utilizados para estudar o fenômeno de redução espacial da chuva, porém essas pesquisas ainda são incipientes, faltando séries históricas para sua inferência estatística consistente.

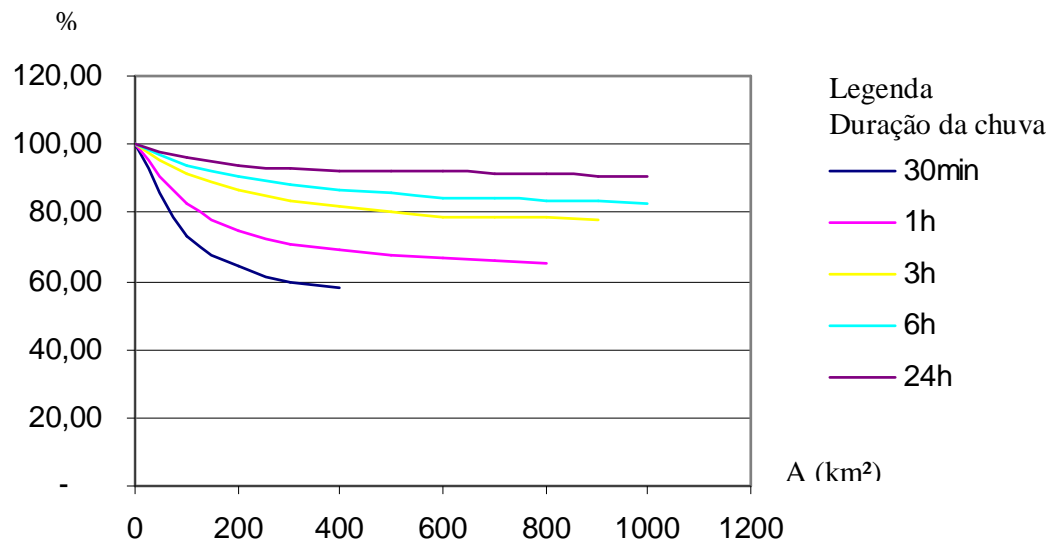


Figura 5: Fatores percentuais de redução de área do Weather Bureau, em função da área de abrangência da chuva (A) em km<sup>2</sup> e de sua duração, adaptados de Marcellini (1994)

1.1.3 **Infiltração:** Segundo Wisler e Brater (1964), dentre os fatores que influenciam a capacidade de infiltração, destacam-se: a) altura da retenção superficial e espessura da camada saturada, b) umidade do solo, c) compactação devida à chuva, d) infiltração de materiais finos, e) compactação devida ao homem e aos animais, f) macro-estrutura do terreno, g) cobertura vegetal, h) temperatura, i) efeito de congelamento, j) ar retido. Pode-se afirmar que a taxa de infiltração depende das estações do ano pelo fato delas incorporarem alguns desses fatores. Do mesmo modo ela varia a cada ano hidrológico.

Ainda conforme Wisler e Brater (1964) a combinação da intensidade de chuva e respectivo *run-off* fornecem uma base excelente para determinação da capacidade de infiltração. As experiências de R.E. Horton concluíram que a capacidade de infiltração ( $f$ ) varia com o tempo conforme a seguinte expressão:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt}$$

Onde

$f$  = capacidade de infiltração, mm/h,

$f_o$  = valor inicial de  $f$ ,

$f_c$  = valor de tendência horizontal da curva,

$e$  = base dos logaritmos Neperianos,

$t$  = tempo em hora,

$k$  = constante para uma dada curva.

1.1.4 **Umidade do Solo:** A Umidade do Solo é a água retida no solo pela atração molecular, formando uma película em torno das partículas e preenchendo os pequenos vazios, podendo encher completamente os espaços menores.

Pela importância que a umidade do solo tem no ecossistema convém ilustrar as suas diversas formas e os relacionamentos entre si. Para isso reproduzimos a seguir a tabela 1 apresentada por Collischonn (2001), que relaciona a umidade do solo para cada tipo de solo, classificado de acordo com a sua textura granulométrica, cabendo esclarecer:

A umidade do solo influi no balanço hídrico, porque o volume de água retido no solo permanece disponível para evapotranspiração ao longo do tempo, sem haver drenagem por escoamento sub-superficial ou subterrâneo;

A umidade do solo depende do tipo de solo (porosidade) e sua utilização pela vegetação depende da raiz;

A capacidade de armazenamento no conceito agrônômico é a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha. É a porção d'água disponível para as plantas, quando alcançada pelas suas raízes;

A capacidade de armazenamento no conceito hidrológico é a diferença entre a porosidade e o ponto de murcha. É a porção d'água que provoca o escoamento superficial, na hipótese da intensidade da precipitação ser superior a taxa de infiltração;

O ponto de murcha nos solos argilosos é maior que os arenosos;

A água disponível no ponto de murcha não é utilizada pelas plantas.

Tabela 1: Umidade no solo conforme Collischonn (2001).

<b>Tipo De Solo</b>	<b>Porosidade Total (mm)</b>	<b>Capacidade de Campo (mm)</b>	<b>Ponto de Murcha (mm)</b>	<b>Capac. de Armaz.(*) (mm)</b>	<b>Capac.de Armaz.(**) (mm)</b>
Areia	437	91	33	58	405
Areia franca	437	125	55	70	382
Franco arenoso	453	207	95	112	358
Franco	463	270	117	153	346

Tabela 1: Umidade no solo conforme Collischonn (2001).(continuação)

<b>Tipo De Solo</b>	<b>Porosidade Total (mm)</b>	<b>Capacidade de Campo (mm)</b>	<b>Ponto de Murcha (mm)</b>	<b>Capac. de Armaz.(*)(mm)</b>	<b>Capac.de Armaz.(**)(mm)</b>
Franco siltoso	501	330	133	197	368
Franco areno argiloso	398	255	148	107	250
Franco argiloso	464	318	197	121	267
Franco silto argiloso	471	366	208	158	263
Areno argiloso	430	339	239	100	191
Silto argiloso	479	387	250	137	229
Argila	475	396	272	124	203

(\*) Diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha. Na agronomia é a porção d'água disponível para as plantas, quando alcançada pelas suas raízes;

(\*\*) Diferença entre a porosidade e o ponto de murcha. Na hidrologia é a porção d'água que provoca o escoamento superficial, na hipótese da intensidade da precipitação ser superior a taxa de infiltração;

1.1.5 *Água do Solo*: A crença equivocada de que as reservas de águas subterrâneas são inesgotáveis levou ao desenvolvimento de métodos de conhecimento da realidade dessas águas de modo a utilizá-las de forma prudente. Nesse sentido, foram desenvolvidos conceitos geológicos para facilitar o entendimento da circulação da água entre os interstícios do solo. Assim sendo cabe destacar os seguintes conceitos:

- *Porosidade*: É a propriedade física do solo que define o grau dos interstícios em percentual de volume de vazios em relação ao volume total. Pode atingir até 50% embora seja raro a partir de 40%. Pode-se considerar uma porosidade superior a 20% como grande, entre 5 e 20% como média e menor que 5% como pequena. A expressão  $p = 100(b - a)$  onde  $a$  é o peso específico da amostra seca e  $b$  o peso específico da amostra saturada é usada no cálculo da porosidade que sofre alteração pelas ações antrópicas.
- *Vazão específica*: É o volume escoado na unidade de tempo, do solo saturado pela drenagem sob ação da gravidade que somado ao volume de água retida *retenção específica* ou *capacidade de campo* equivale à porosidade acima definida. Segundo Wisler e Brater (1964) quanto maior for a superfície total dos interstícios de uma rocha ou material não consolidado, maior será sua retenção específica. A área da superfície total exposta aumenta como acréscimo das dimensões do grão.



- *Coefficiente de permeabilidade (P)*: É a taxa de escoamento da água em litros por dia, através de uma seção transversal de área de  $1 \text{ m}^2$ , sob o gradiente de  $1 \text{ m/m}$ , à temperatura de  $16^\circ \text{ C}$ .
- *Coefficiente de transmissibilidade (T)*: É o escoamento de água em litros por dia, através de uma faixa vertical de lençol de  $1 \text{ cm}$  de largura e estendendo-se por toda a altura saturada, sob um gradiente de  $100\%$  (o mesmo que  $1 \text{ m/m}$ ), à temperatura de  $16^\circ \text{ C}$ .
- *Camada aquífera*: É um extrato ou formação de material permeável que debitará, por gravidade, água do solo em quantidade apreciável. Se houver confinamento por camada impermeável e a água de um poço nela perfurado jorrar acima do fundo do leito a camada é chamada de *artesianas*.

Nas rochas cristalinas, a água é encontrada até  $100\text{m}$  abaixo da superfície. Nas rochas sedimentares, tais como calcário ou arenito, encontram-se, em alguns lugares, zonas porosas que fornecem facilmente água, a profundidades de mais de  $1.800\text{m}$ , apesar da maioria dos poços, abertos nesses extratos encontrarem pouca água abaixo de  $600\text{m}$  de profundidade.

**1.1.6 Perdas de Água:** As perdas de água são entendidas pelos engenheiros como a diferença entre a precipitação e o escoamento superficial de uma dada área. Para os Agrônomos que estão mais interessados na água disponível para a transpiração de suas culturas definirá as perdas como a diferença entre a precipitação e a transpiração.

**1.1.7 Escoamento superficial:** Conforme Wisler e Brater (1964), quando a chuva começa a cair numa área mais ou menos permeável, podem-se prever que uma parte escoará para as depressões formando o que conhecido como *acumulação de depressão ou armazenamento superficial* que é de difícil quantificação que por esse motivo o *Soil Conservation Service (SCS)* propôs uma metodologia chamada *Curve Number* (Número da Curva) para quantificá-la junto com a interceptação. Toda essa acumulação ou é evaporada ou é utilizada pela vegetação ou se infiltra no solo, nada aparecendo como escoamento superficial.

Se a chuva prosseguir com intensidade superior a capacidade de infiltração do solo haverá o que se denomina *excesso de chuva* ou *suprimento*. Inicialmente haverá acúmulo na superfície do solo, como *retenção superficial* e, em seguida, haverá escoamento na superfície do terreno em direção aos leitos dos cursos d'água, constituindo o *escoamento superficial*.

1.1.8 **Bacia hidrográfica:** Segundo Christofolletti (1999), a bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema cujos elementos componentes básicos são as suas vertentes e sua rede de canais fluviais, delimitados por uma área física.

1.1.9 **Medições Diretas de Vazão e Chuva:** O processo mais confiável de se fazer o estudo das cheias de um curso d'água é medindo-se as vazões em um dada seção combinadas com as medições de chuva e outros parâmetros, como o tempo de concentração, área, declividade e comprimento do talvegue da bacia. Utiliza-se, portanto, dados históricos de chuva e de vazão coletados ao longo do tempo - Método Direto. Lamentavelmente no Brasil e, mais ainda, no Estado de Roraima são poucas as bacias hidrográficas monitoradas o suficiente para se ter elementos básicos da sua hidrologia como, por exemplo, sua curva chave que relaciona a altura da lâmina d'água de seu dreno principal com a vazão.

1.1.10 **Medições Sintéticas de Vazão e Chuva:** Ao contrário do método acima exposto, o Método Sintético, embora se utilize de parâmetros oriundos de métodos diretos, apresenta em sua essência o uso da estatística na construção de modelos hidrológicos que expliquem o comportamento de uma determinada bacia hidrográfica. Por exemplo, esse método utilizou o hidrograma, unitário, triangular e adimensional do Soil Conservation Service (SCS) e os Blocos Alternados apresentados por Macellini (1994).

## 1.2 CURVAS IDF DE CHUVAS INTENSAS

Conforme Pruski et al. (2006), a equação que relaciona as grandezas intensidade, duração e freqüência (IDF) das chuvas intensas apresenta a seguinte forma:

$$i_m = K.T^a/(t + b)^c$$

Onde:

$i_m$  = intensidade máxima média de precipitação, em mm/h;

$T$  = período de retorno ou de recorrência, em ano;

$t$  = duração da precipitação, em min; e

$K, a, b, c$  = parâmetros relativos à localidade.

O período de retorno ou de recorrência às vezes abreviado por  $T_r$  é uma medida de probabilidade do tempo em que a intensidade de precipitação para uma determinada duração é igualada ou superada. Sendo um parâmetro de alta sensibilidade no modelo acima, ele serve

de referência nos estudos hidrológicos ligados à drenagem, entre outros. Os órgãos Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB do Estado de São Paulo sugerem o uso dos períodos de retorno em função dos tipos de obra e ocupação do solo mostrados na tabela 2 apresentada a seguir.

Tabela 2 Períodos de retorno em função dos tipos de obra e ocupação do solo, sugeridos pelo DAEE e CETESB do Estado de São Paulo, conforme Zuffo (2004).

<b>Tipo de Obra</b>	<b>Tipo do Solo</b>	<b>T (ano)</b>
	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
Micro drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
Macro drenagem	Áreas de importância específica	500

A equação de chuvas intensas relaciona as grandezas Intensidade, Duração e Frequência, identificada pela sigla IDF são imprescindíveis ao dimensionamento de obras hidráulicas e pontes para resistirem uma vazão máxima cuja probabilidade de ocorrência é associada ao período de retorno  $T_r$ .

A definição da referida equação depende de dados registrados em pluviógrafo donde são extraídas as intensidades máximas anuais de chuva que recebem um tratamento estatístico adequado. No procedimento de escolha dessas intensidades máximas é considerada a sua duração que varia de 5 minutos até 24 horas.

No Brasil, o estudo das chuvas intensas vem sendo realizado há 50 anos, iniciando com a obra pioneira de Pfafstetter (1957). Depois desse marco inicial, muitos trabalhos surgiram onde destacamos a primeira equação de chuvas intensas da cidade de São Paulo de autoria do engenheiro Paulo Sampaio Wilken e publicada em Wilken (1973). São raras as capitais brasileiras desprovidas de sua equação de chuvas intensas. Boa Vista - RR é uma dessas raras capitais.

Não obstante o uso tradicional da equação de chuvas intensas da cidade de Campinas, Zuffo (2004), motivado pela chuva excepcional de 99,13mm que ocorreu no dia 16 de fevereiro de 2002 nos Distritos de Sousas e Joaquim Egídio em Campinas, efetuou pesquisa para explicar o recente aumento da frequência de chuvas intensas na Região Metropolitana de

Campinas – RMC. A região é composta de 19 municípios que vêm experimentando crescimento demográfico e urbano acima da média nacional.

Zuffo (2004) argumenta que o efeito hidrometeorológico local da explosão urbana não foi marcante nos dados de chuva do período de 1946 a 1978, trabalhados por Vieira, Lombard e Santos (1998) na definição da atual equação de chuvas de Campinas.

Os resultados da pesquisa de Zuffo (2004) foram os seguintes:

- a) a urbanização alterou para mais os registros pluviométricos na região de Campinas;
- b) as precipitações mais intensas e superiores a 100 mm/dia ocorreram nos anos mais recentes, ou seja, sete entre nove ocorreram a partir de 1983;
- c) se 120 mm/dia esse percentual sobe para 80%;
- d) a curva IDF existente reduz a vazão de projeto aumentando o risco de enchente.

Pode-se concluir que as urbanizações e mais ainda a conurbação alteram o micro clima das cidades, provocando condições mais favoráveis às chuvas convectivas causadoras de inundações que se agravam nas cidades impermeabilizadas e desprovidas de rede de drenagem eficaz.

Na definição da curva IDF de chuvas intensas de Mococa, SP, de autoria de Vieira, Lombard e Santos (1998) foram analisados os dados pluviográficos de 21 anos. Dos pluviogramas analisados referentes ao período de 1970 a 1990 foram extraídas as maiores chuvas de cada ano nas durações de: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos. Com esses valores dessa série histórica foram calculadas as intensidades pluviais correspondentes em termos de média e desvio padrão.

A análise de frequência desses dados foi feita pelo método de Gumbel-Chow, descrito por Garcez (1967), Cardoso, Ullmann e Bertol (1998), Silva, Pinto e Pinto (1999), dentre outros. Este método parte da função de distribuição da probabilidade na forma exponencial apresentada abaixo.

$$P = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Onde:

P = probabilidade teórica esperada de uma variável aleatória X ser igual ou superior a um valor extremo xi;

e = base dos logaritmos neperianos;

y = variável reduzida de Gumbel, tabelada em função do tamanho (n) da amostra.

Com base na equação acima foram calculados os valores de intensidade de chuva para os mesmos parâmetros de duração e período de retorno, escolhidos nos cálculos iniciais que se mostraram bem próximos daqueles calculados pelo modelo de Gumbel-Chow e assim julgados satisfatórios.

Dessa forma, Vieira, Lombard e Santos (1998) concluíram que a equação obtida permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de recorrência, com a aproximação adequada a projetos de engenharia.

**1.2.1 Espacialização:** A evolução dos estudos hidrológicos ligados a equação da curva IDF de chuvas intensas teve seu primeiro marco significativo no Brasil com a obra de Pfafstetter (1957) que apresenta um modelo empírico para determinar graficamente a precipitação máxima em 98 estações distribuídas em todo o Brasil, em função da duração e período de retorno.

Os estudos de Silva, Pinto e Pinto (1999) para os Estados do Rio de Janeiro (RJ) e Espírito Santo (ES), e os de Costa e Prado (2003) para os Estados de Goiás (GO), Tocantins (TO) e Mato Grosso (MT) são dois exemplos de aplicação da técnica da espacialização ou regionalização na definição de curva IDF de chuvas intensas.

Silva, Pinto e Pinto (1999) apresentam como conclusão de que: o modelo Gumbel foi o que apresentou melhor ajuste pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no nível de 20% de probabilidade; que os parâmetros das equações IDF apresentaram alta variabilidade; que com a espacialização dos parâmetros da equação IDF, para cada localidade dos Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, é possível a obtenção das respectivas equações.

Uma característica do primeiro estudo (GO-TO-MT) que diferencia do segundo caso (RJ-ES) é o uso de duas curvas IDF sendo uma válida para o intervalo de 1 ano  $\leq T \leq 8$  anos e outra para o intervalo 8 anos  $\leq T \leq 100$  anos de período de retorno. Houve também a inclusão de mais parâmetros, chamados parâmetros regionais constantes, presentes na equação do intervalo 1 ano  $\leq T \leq 8$  anos. Foi observado que a primeira equação descreve trecho curvilíneo do relacionamento, enquanto que a segunda descreve um trecho reto, em papel di-log.

**1.2.2 Desagregação:** Tem-se enfatizado a importância da equação ou curva Intensidade-Duração-Frequência – IDF das chuvas intensas no dimensionamento econômico das obras hidráulicas urbanas e rurais, inclusive aquelas de controle de erosão do solo. As equações IDF originaram-se do tratamento estatístico de dados de intensidade de chuva instantânea que só foram obtidos inicialmente através dos gráficos produzidos pelos pluviógrafos. Desse modo,

as localidades servidas por estações com esses aparelhos tiveram suas equações IDF definidas.

Na prática, entretanto temos o caso de localidades desprovidas de estações meteorológicas, porém relativamente próximas das estações monitoradas com pluviógrafos. Temos também o caso mais crítico das localidades distantes daquelas estações, porém servidas de pluviômetros que fornecem os resultados das chuvas a cada 24 horas. Na primeira situação, a espacialização ou regionalização tem metodologia consagrada para definir a curva IDF local. Para a segunda situação parte-se das chuvas diárias e se chega à curva IDF com uso da função de desagregação oriunda de longos estudos pluviométricos.

A *desagregação da chuva* foi aplicada em estudos realizados nos Estados de: São Paulo, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Goiás, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, dentre outros.

De qualquer maneira, cabe ressaltar que os dados de pluviógrafos e pluviômetros foram imprescindíveis na definição do *fator de conversão* que aplicado na chuva de “1 DIA” produz a chuva para uma dada duração e **independente do período de retorno**. Esse fator, por exemplo, para chuva de 24 horas é de 1,143. Para as demais durações, Zuffo (2004) compara esse fator de diversas fontes e assim mostra que se trata de um **parâmetro universal de pequena variância**, conforme se vê na tabela 3. Mesmo assim, Zuffo (2004) observa que esses parâmetros não substituem àqueles oriundos de dados pluviográficos.

No caso em estudo que se refere a região de Boa Vista-RR, a desagregação foi feita com base nos parâmetros constantes da coluna DNOS da citada tabela, tendo em vista que a mesma apresenta esses parâmetros para todas as durações normalmente utilizadas nos estudos de chuvas intensas. Esta opção está também baseada também no seu largo emprego na literatura técnica especializada.

O modelo desagregação, aplicado por Machado et.al. [1992?] no Estado do Rio de Janeiro e por Robaina (1996) no Estado do Rio Grande do Sul, e por Cardoso, Ullmann e Bertol (1998) em Santa Catarina, também é conhecido como Gumbel-Chow porque seus fundamentos repousam na estatística dos extremos formuladas por Gumbel e aplicada pelo hidrólogo de renome internacional Vem Te Chow.

Tabela 3: Relação entre as alturas pluviométricas ou valores médios dos fatores de desagregação obtidos com pesquisas nacionais e internacionais.

Referência	Duração	DNOS (médios)	Weather Bureau	Adotados em Denver	Genovez et al. (1994)
01	05 min/30min	0,34	0,37	0,42	
02	10 min/30 mim	0,54	0,57	0,63	0,49
03	15 min/20 min	0,70	0,72	0,75	
04	20 min/30 min	0,81		0,84	
05	25 min/30 min	0,91		0,92	
06	30 min/1 hora	0,74	0,79		0,78
07	01 h/24 horas	0,42			0,50
08	06 h/24 horas	0,72			0,80
09	08 h/24 horas	0,78			
10	10 h/24 horas	0,82			
11	12 h/ 24 horas	0,85			0,89

A formula básica do modelo é:

$$P(t,T) = P(t) + K_T.s$$

Onde:

$P(t,T)$  é a precipitação máxima anual média de duração  $t$  e período de retorno  $T$ ;

$P(t)$  é a precipitação máxima anual média de duração  $t$ ;

$s$  é o desvio padrão das máximas precipitações anuais de duração  $t$ ;

$K_T$  é o fator de frequência da distribuição de Gumbel que é a distribuição que melhor se ajusta ao fenômeno de chuvas intensas e é calculado pela seguinte expressão:

$$K_T = 0,7797\{-\ln[-\ln(1 - 1/T)]\} - 0,45$$

Onde  $\ln$  é a notação dos logaritmos neperianos e  $T$  o período de retorno já definido.

A função de desagregação  $FI(t)$  é por definição a relação entre a precipitação máxima anual média  $P(t)$  e a precipitação máxima anual média com tempo de duração de 24 horas  $P(24)$ . Assim teremos  $FI(t) = P(t)/P(24)$ .

A expressão inicial  $P(t,T) = P(t) + K_T.s$ , quando dividida por  $P(t)$  resulta:

$$P(t,T)/P(t) = P(t)/P(t) + K_{T.s}/P(t) = 1 + K_{T.s}/P(t)$$

Fazendo  $1 + K_{T.s}/P(t) = F2(T)$  que é chamada de *função período de retorno*, chega-se a expressão  $P(t,T) = P(t) \cdot F2(T)$  que substituindo  $P(t)$  por  $P(24)$ .  $F1(t)$ , tirado da expressão  $F1(t) = P(t)/P(24)$  resulta finalmente na expressão:

$$P(t,T) = F1(t) \cdot F2(T) \cdot P(24)$$

Essa expressão final serve para calcular a precipitação máxima  $P(t,T)$  de duração  $t$  e período de retorno  $T$  em função da precipitação máxima anual média  $P(24)$  e das funções  $F1(t)$  e  $F2(T)$ , acima definidas.

1.2.3 **Isozonas**: Oliveira et. al. (2000) em pesquisa com emprego de chuva de “1DIA” para o Estado de Goiás mencionam a metodologia conhecida como *Isozonas* para obtenção da curva IDF de chuvas intensas. Esta metodologia, segundo Pontes e Fernandes (2001) é de autoria de José Jaime Taborda Torrico que mapeou o território brasileiro em 8 (oito) zonas climáticas ilustradas na figura 6, identificadas pelas letras A, B, C, D, E, F, G e H e definiu, para cada zona, as relações entre as precipitações de durações 1 hora por 24 horas e 6 min por 24 horas que **variam em função do período de retorno** mostradas na tabela 4.

Pontes e Fernandes (2001) aplicaram o Método das Isozonas para a Região Amazônica onde definiram a equação da curva IDF de Boa Vista, com base nos dados da estação COMAER 82022. Este método levou em conta os dados paramétricos das relações entre chuvas de uma hora e de 6 minutos em relação a chuva máxima de 24 horas (1 DIA), para as diversas zonas e períodos de recorrência, mostrados na tabela 4.



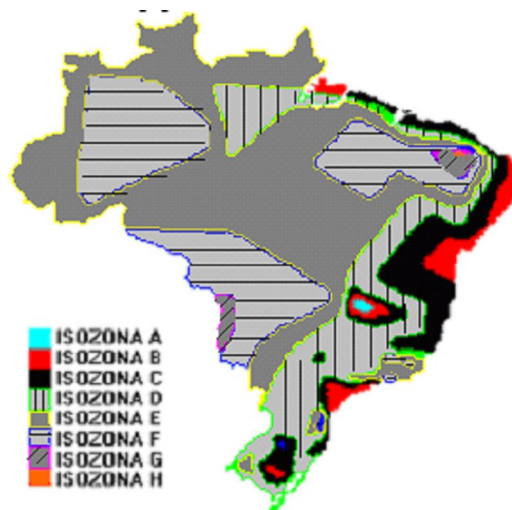


Figura 6: Mapa das 8 (oito) Isozonas do Brasil, conforme Pontes e Fernandes (2001).

Tabela 4: Relações entre as precipitações de durações 1 hora e 6 min por 24 horas para as respectivas zonas e períodos de retorno, conforme Pontes e Fernandes (2001).

ISO- ZONA	PERÍODO DE RETORNO (ANOS)								
	1 h / 24 h							6 min / 24 h	
	5	10	15	20	25	50	100	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,0	34,7	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	38,8	38,4	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	40,7	40,3	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,6	42,2	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,5	44,1	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,4	45,9	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,3	47,8	16,7	14,9

Os resultados obtidos por Pontes e Fernandes (2001) para Boa Vista, das chuvas máximas de 24 horas e de 1 hora para os diversos períodos de retorno são apresentados na tabela 5 onde foram registradas as relações 1h/24h em percentual. Essas relações percentuais para o Método da Desagregação e Método das Isozonas foram comparadas e se detectou que os resultados do último método estão subestimados em no mínimo de 9 %, confirmando a tendência mostrada nos estudos de Costa e Rodrigues (1999) e de Oliveira et. al. (2000).

Tabela 5: Relações percentuais entre durações 1 hora / 24 horas, obtidas pelos Métodos da Desagregação e das Isozonas, relativas a cada período retorno para Boa Vista, conforme Pontes e Fernandes (2001).

MÉTODO	PERÍODO DE RETORNO (ANOS)				
	5	10	20	50	100
Desagregação	39,8	39,6	39,6	39,5	39,5
Isozonas	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0

Pontes e Fernandes (2001) obtiveram para Boa Vista as seguintes equações de chuvas intensas:

$$x = 110,23 + 32,28 * k \text{ para chuvas de 24 horas e}$$

$$x = 44,26 + 12,49 * k \text{ para chuvas de 1 hora.}$$

O parâmetro estatístico  $k$  é tabelado em função do tamanho da amostra de dados e do período de retorno. Para o estudo de Pontes e Fernandes (2001) a variação deste parâmetro foi de 1,03 a 3,55 para o período de retorno variando de 5 a 50 anos.

Oliveira et. al. (2000) mencionam pesquisa de Costa e Rodrigues (1999) que encontraram desvios entre 7,5 a 54% nos resultados obtidos pelo Método das Isozonas, comparados com os obtidos por meio das equações IDF existentes de chuvas intensas.

Com base nesses desvios Oliveira et. al. (2000) efetuaram estudo na mesma região e concluíram que os resultados com aplicação do Método de Desagregação apresentaram desvios relativos médios entre 5,6 e 14,4% e, por isso, sugerem a sua aplicação em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviométricos.

**1.3 ESTUDO DAS CHEIAS:** O escoamento superficial provoca elevação do nível da superfície d'água dos rios gerando as cheias e inundações. A diferença entre esses dois fenômenos não é rígida, mas se pode afirmar que as inundações são cheias excepcionais que extravasam as calhas dos rios. A representação geométrica na forma de gráfico cartesiano da elevação desse nível da superfície conhecido como hidrograma é a principal ferramenta no estudo das cheias e por isso será abordado a seguir.

**1.3.1 Hidrograma:** Também chamado de fluviograma ou hidrógrafa é um gráfico cartesiano que representa o comportamento da vazão proveniente de uma chuva ao longo do tempo em uma seção de um curso d'água. A parte achuriada na parte inferior da figura 7 ilustra esse fenômeno onde o segmento de reta A-B representaria o trecho da curva de recessão do curso

d'água, se não houvesse a precipitação. Conforme se percebe a curva de recessão vem reduzindo sua ordenada, vazão básica, até que ocorra a chuva representada na parte superior da figura 7, entendido como hietograma. Não imediatamente após a chuva, para a maioria dos casos, o escoamento superficial chega a calha principal do curso d'água e assim começa o fenômeno da cheia que inicia no ponto A indo até o ponto C, passando pelo seu pico em E. O ponto C está em cota superior a do ponto inicial A pela recarga do lençol que retoma o escoamento básico do curso d'água. Cabe aqui destacar as seguintes características desse hidrograma de cheias:

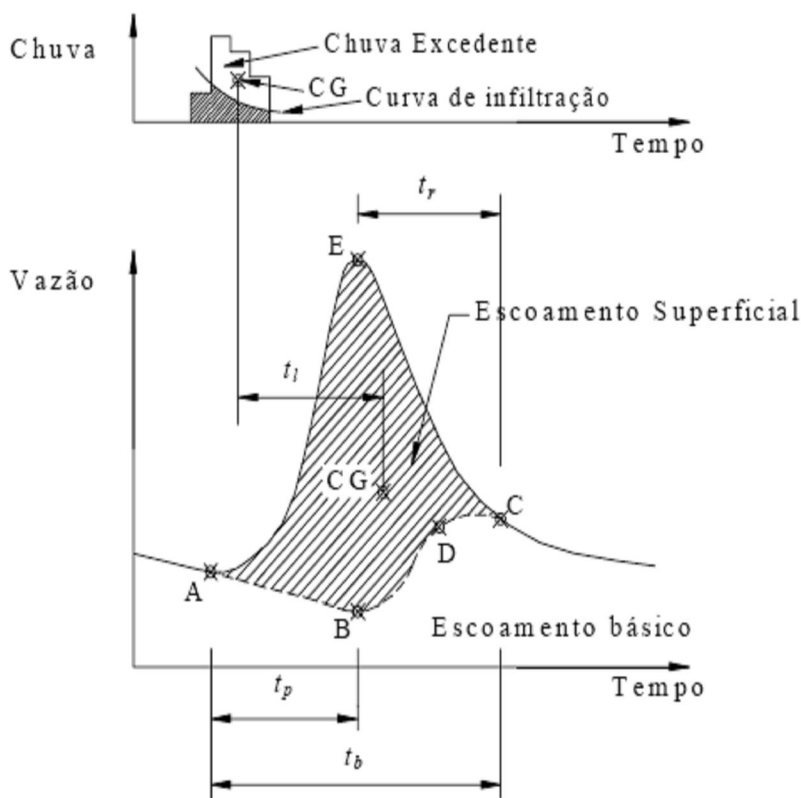


Figura 7: Hietograma e Hidrograma de Cheia, segundo Sartori (2004)

- O tempo de retardamento  $t_1$  é medido pela distância horizontal entre o centro de gravidade da chuva efetiva do hietograma e do centro de gravidade do hidrograma. Uma medida prática quando se trata de hidrograma unitário simplificado é mudar esse segundo ponto para o pico do hidrograma.
- O tempo de pico  $t_p$  é o tempo decorrido entre o início da cheia (ponto A) e o seu pico (ponto E);

- O *tempo de recessão*  $t_r$  é tempo decorrido entre o pico da cheia (ponto E) e término do escoamento superficial (ponto C);
- O *tempo de base*  $t_b$  é o tempo decorrido entre o início (ponto A) e o fim (ponto C) do escoamento superficial.

Sartori (2004) apresenta a solução da separação dos escoamentos com a utilização de um método gráfico de aproximação, unindo os pontos A, B e C, por segmentos de reta que junto com a parte em curva do hidrograma servem para cálculo de sua área. A determinação do ponto C é feita graficamente com auxílio de papel log que acusa o ponto C na mudança de direção da reta transformada, conforme ilustrado na parte superior da figura 8.

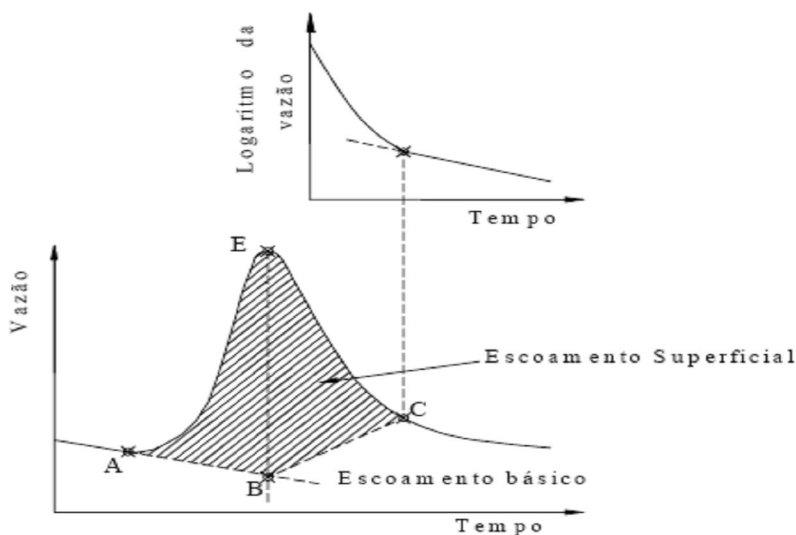


Figura 8: Separação dos escoamentos superficial e básico e definição do ponto C (fim do Escoamento Superficial), segundo Sartori (2004)

1.3.2 *Hidrograma Unitário HU*: Conforme Wisler e Brater (1964), em 1932 LeRoy K. Sherman apresentou sua teoria da hidrógrafa unitária com três princípios que Wilken (1971) assim sintetizou:

- *Princípio da constância do tempo de base*, ou seja; a duração do escoamento superficial consecutivo a diferentes chuvas, caracterizado pela intensidade ou altura de chuva efetiva e apresentando **a mesma distribuição no espaço e no tempo** é independente da intensidade da chuva, contanto que a duração dessas chuvas seja suficientemente **inferior ao tempo de concentração** da bacia; tais chuvas são chamadas “chuvas unitárias” e os

hidrogramas correspondentes definem a relação chuva-deflúvio da bacia contribuinte estudada, conforme ilustrado na figura 9.

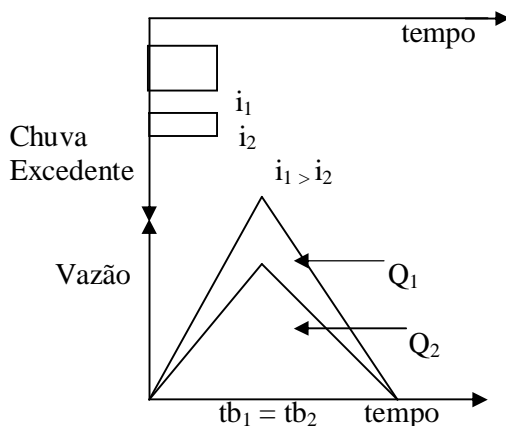


Figura 9: Princípio da Constância do Tempo de Base do Hidrograma Unitário.

- *Princípio das proporcionalidades das descargas* que, mantidas as condições acima apresentadas é válido a proporção  $Q_1/Q_2 = V_1/V_2 = h_1/h_2$ , para um mesmo instante  $t$  sendo  $Q$  e  $V$  vazão e volume medidos no hidrograma unitário e  $h$  a altura de chuva medida no hietograma, conforme ilustrado na figura 10.

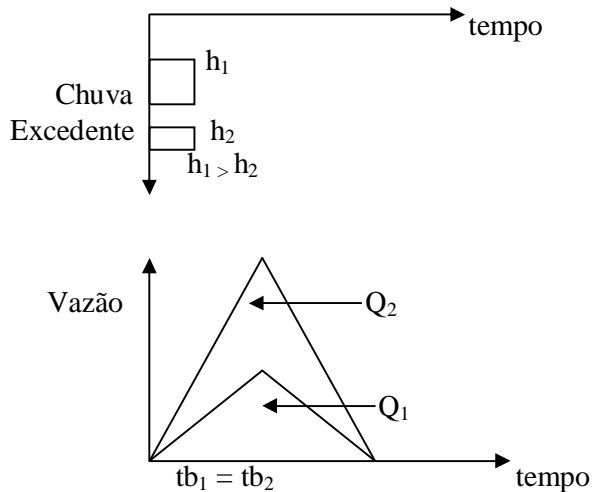


Figura 10: Princípio da Proporcionalidade das Descargas do Hidrograma Unitário.

- *Princípio da Aditividade dos deflúvios simultâneos* que afirma que o tempo de escoamento de uma determinada chuva independe do deflúvio direto provocado por uma chuva anterior, conforme ilustrado na figura 11.

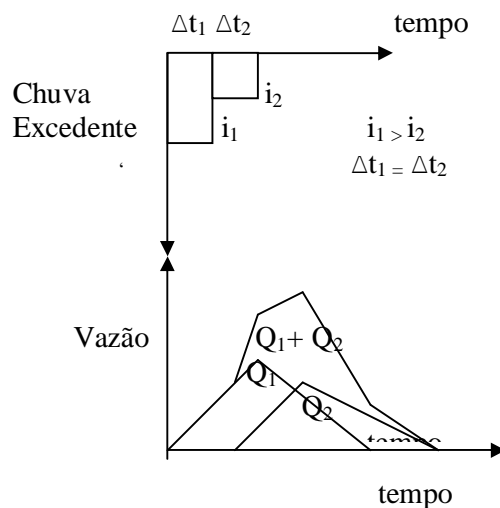


Figura 11: Princípio da Aditividade do Hidrograma Unitário.

Na hipótese de se precisar definir o hidrograma unitário para uma duração diferente da duração unitária ( $D$ ) da chuva efetiva é comum o uso da hidrógrafa-S ou curva-S obtida pela soma das infinitas séries do hidrograma unitário definido para  $D$ , conforme ilustrado na figura 12.

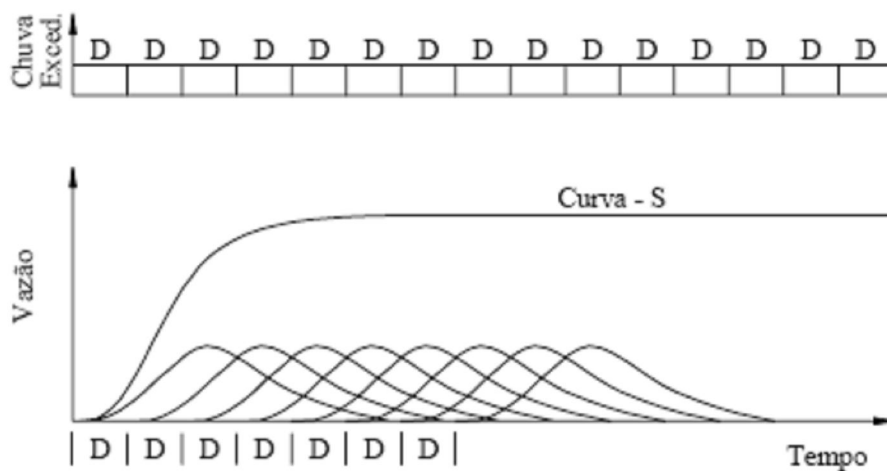


Figura 12: Curva S, segundo Sartori (2004)

A estimativa de D, chamada de duração unitária, é necessária para o cálculo da chuva efetiva e conseqüente vazão de projeto que no modelo do SCS é função do tempo de concentração da bacia. Segundo experiências pioneiras a Duração Unitária pode ser preliminarmente estimada com base nos parâmetros apresentados a seguir na tabela 6.

Tabela 6: Limites de Sherman conforme Sartori (2004) para Duração Unitária (D).

Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Duração Unitária (hora)
> 2.600	12 a 24
260 a 2.600	6, 8 ou 12
50	2
< 50	1/3 a 1/4 de $t_c$

1.3.3 *Hidrogramas Unitários do Soil Conservation Service (SCS)*: A seguir são descritas as características dos hidrogramas unitário curvilíneo e triangular do SCS antecipando que este último foi escolhido para as estimativas neste trabalho.

- *Hidrograma Unitário Curvilíneo do Soil Conservation Service (HUC-SCS)*: Este hidrograma foi obtido com base nas experiências dos hidrólogos em pequenas bacias hidrográficas dos Estados Unidos da América e seu uso é recomendado para bacias até 2.600km<sup>2</sup> conforme Genovez (1991 apud SARTORI, 2004) e tem as seguintes características básicas:

Possui o tempo de base  $t_b$  igual a cinco vezes o tempo de pico  $t_p$ ;

Cerca de 3/8 (37,5%) do volume total escoado superficialmente ocorre antes do tempo de pico;

Seu ponto de inflexão, já identificado como ponto C na figura 7, ocorre aproximadamente no tempo de  $1,7t_p$ ;

A forma de apresentação de suas coordenadas é adimensional tanto na abscissa medida em  $t/t_p$ , de 0,0 a 5,0, quanto na ordenada medida pela razão de vazão  $q/q_p$  ou razão de volume acumulado  $Q_a/Q_p$ , cujos máximos são atingidos para  $t/t_p$  igual a 1,0 e 5,0, respectivamente, conforme ilustrados na tabela 7 e figura 13, apresentados a seguir onde  $q$  é a vazão no tempo  $t$ ;  $q_p$  é a vazão de pico;  $Q_a$  é o volume acumulado no tempo  $t$ ;  $Q$  é o volume total;  $t_p$  é o tempo de pico do hidrograma.

Tabela 7: Coordenadas do Hidrograma Unitário Curvilíneo do *Soil Conservation Service* (HUC-SCS), conforme Sartori (2004).

$t/t_p$	$q/q_p$	$Q_a/Q_p$	$t/t_p$	$q/q_p$	$Q_a/Q_p$	$t/t_p$	$q/q_p$	$Q_a/Q_p$
0,0	0,000	0,000	1,1	0,990	0,450	2,4	0,147	0,934
0,1	0,030	0,001	1,2	0,930	0,522	2,6	0,107	0,953
0,2	0,100	0,006	1,3	0,860	0,589	2,8	0,077	0,967
0,3	0,190	0,012	1,4	0,780	0,650	3,0	0,055	0,977
0,4	0,310	0,035	1,5	0,680	0,700	3,2	0,040	0,984
0,5	0,470	0,065	1,6	0,560	0,751	3,4	0,029	0,989
0,6	0,660	0,107	1,7	0,460	0,790	3,6	0,021	0,993
0,7	0,820	0,163	1,8	0,390	0,822	3,8	0,015	0,995
0,8	0,930	0,228	1,9	0,330	0,849	4,0	0,011	0,997
0,9	0,990	0,300	2,0	0,280	0,871	4,5	0,005	0,999
1,0	1,000	0,375	2,2	0,207	0,908	5,0	0,000	1,000

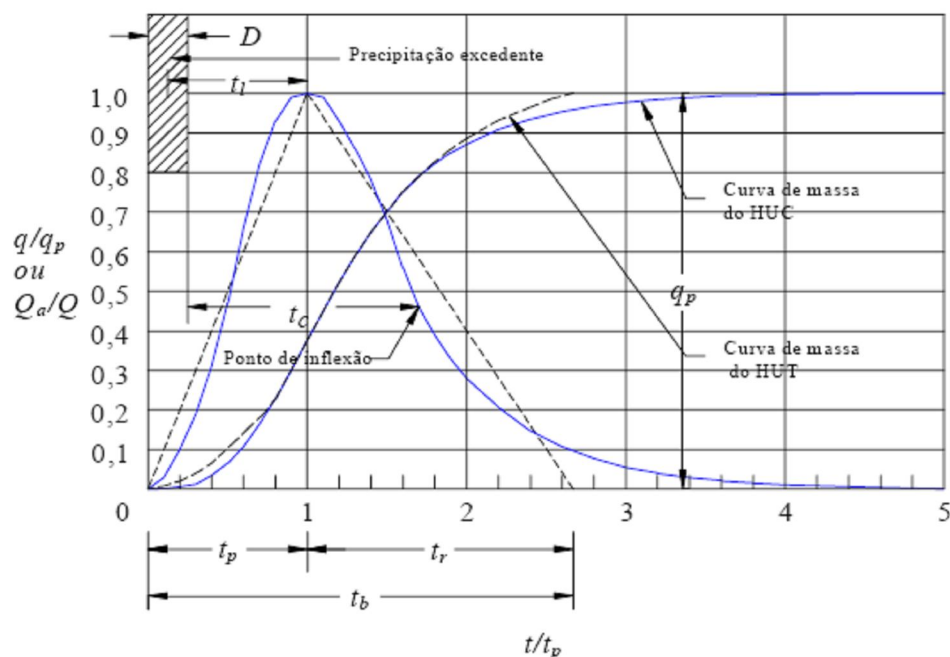


Figura 13: Hidrograma Unitário Curvilíneo - HUC, Hidrograma Unitário Triangular - HUT e respectivas Curvas de Massa – do *Soil Conservation Service* - SCS, conforme Sartori (2004).



- *Hidrograma Unitário Triangular (HUT-SCS)*: Quanto ao Hidrograma Unitário Triangular pode-se afirmar:

O HUT-SCS foi aproximado em função do HUC-SCS;

A área antes de  $t_p$  é considerada a mesma para os dois hidrogramas;

O tempo de base  $t_b$  do HUT-SCS =  $8/3$  de  $t_p = 2,67t_p < 5t_p$ ;

HUT-SCS encerra um volume de  $3/8$  (37,5%) do volume total, antes do pico;

Esse volume pode ser calculado pela expressão:  $Q = (1/2).q_p.(t_p + t_r)$ ;

Pela transformação algébrica isolando  $q_p$  chega-se a expressão  $q_p = (Q/t_p).[2/(1 + t_r/t_p)]$  e fazendo  $K = 2/(1 + t_r/t_p)$  chega-se a nova expressão  $q_p = K.(Q/t_p)$ ;

O valor  $t_r/t_p$  é uma constante da bacia hidrográfica, obtido através de hidrogramas registrados ou adotado seu valor médio de  $5/3$  ou  $1,67$ ;

Adotado o valor médio  $5/3$  para a relação  $t_r/t_p$  chega-se ao valor aproximado de  $K = 3/4$ ;

Se a pretensão é obter  $q_p$  em  $m^3/s$ , usando  $t_p$  em hora,  $Q$  em  $cm$  e  $A$  em  $km^2$  a fórmula acima se converte em  $q_p = 2,083.A.(Q/t_p)$ ;

Segundo McCuen (1989 apud SARTORI, 2004), a constante  $2,083$  ( $25/12$ ) foi definida para bacias com HUT-SCS que satisfazem a condição de  $3/8$  (37,5%) do volume total escoado superficialmente e ocorre antes do tempo de pico. Essa constante deve ser alterada para  $2,582 = (625/242)$  ou  $1,291 = (625/484)$  conforme se tratar de bacias localizadas completamente ou parcialmente em regiões montanhosas ou bacias planas, em áreas de brejo ou alagadas (banhadas), respectivamente;

O tempo de retardamento  $t_l$  e o tempo de recessão  $t_r$  nos hidrogramas do SCS conforme Genovez (2001 apud SARTORI, 2004), podem ser estimados pelas expressões  $t_l = 0,6.t_c$  e  $t_r = 1,67 t_p$ , respectivamente;

Conforme figura 14, pode-se obter o sistema formado pelas equações  $t_c + D = 1,7.t_p$  e  $D/2 + 0,6.t_c = t_p$ , cuja solução é  $D = 0,133.t_c$ ;

Com base nesse valor de  $D$  o valor de  $t_p$  em função de  $t_c$  é  $t_p = (2/3).t_c$ ;

A expressão  $q_p = 2,083.A.(Q/t_p)$ , apresentada acima, pode ter nova forma em função de  $t_c$  com uso da expressão  $t_p = (2/3).t_c$  ou seja:  $q_p = 3,125.A.Q/t_c$ , cabendo aqui as mesmas observações sobre as unidades e os coeficientes  $2,582$  ( $625/242$ ) ou  $1,291$  ( $625/484$ ) substitutos de  $2,083$  e assim ter-se-ia as fórmulas variantes:  $q_p = 3,873.A.Q/t_c$  e  $q_p = 1,937.A.Q/t_c$ , para os casos de bacia com relevo acidentado e bacia plana, respectivamente.

Neste trabalho será utilizada a fórmula  $q_p = 0,1291.A.(Q/t_p)$  cabendo esclarecer que o fator  $0,1291$ , escolhido pela topografia plana da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, resulta

da divisão do fator original escolhido 1,291 por 10 porque a unidade de medida de Q na fórmula original é cm enquanto que neste trabalho Q é medido em mm.

**1.3.4 Distribuição dos blocos alternados:** Conforme Macellini (1994) os modelos de distribuição temporal são construídos a partir de séries históricas ou das relações Intensidade-Duração-Frequência. O modelo adotado neste trabalho é o de Distribuição de Blocos Alternados que tem como procedimento:

Seleciona-se a duração total da tormenta ( $t_d$ ) e o intervalo de discretização ( $\Delta t$ );

Obtêm-se as intensidades de chuva para cada duração com a curva IDF;

Calculam-se as alturas de chuva acumuladas até o último intervalo de tempo;

Calculam-se as variações dos totais acumulados por intervalo;

Essas variações ou blocos são rearranjados numa seqüência tal, que no centro da duração da tormenta, situe-se o bloco maior, e em seguida os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, iniciando-se pela direita do elemento central e prosseguindo à sua esquerda, alternadamente até o último e menor elemento.

Para melhor entendimento desse modelo são reproduzidos a seguir os valores na tabela 8 e figura 14 do hietograma de projeto do exemplo encontrado no trabalho de Macellini (1994).

Observa-se que referido método procura centralizar o valor máximo da precipitação pluviométrica e distribuí-la de forma equilibrada em parcelas de chuva. Trata-se portanto de um modelo simplificado da realidade, pois o centro de intensidade máxima da chuva pode acontecer antes ou depois do meio de sua duração. Isso na prática tem significado na repercussão do valor da vazão de pico.

Tabela 8: Exemplo de um hietograma de projeto determinado pelo método dos blocos alternados, conforme Macellini (1994).

Duração (min)	Intensidade da Chuva (mm/min)	Chuva acumulada (mm)	Incremento da chuva (mm)	Intervalo considerado (mm)	Hietograma de projeto (mm)
10	2,12	21,2	21,2	0 – 10	1,0
20	1,63	32,6	11,4	10 – 20	1,2
30	1,33	39,8	7,2	20 – 30	3,9
40	1,12	44,9	5,1	30 – 40	7,2
50	0,98	48,8	3,9	40 – 50	21,2
60	0,86	51,8	3,0	50 – 60	11,4
70	0,75	52,7	0,9	60 – 70	5,1
80	0,67	53,9	1,2	70 – 80	3,0
90	0,61	55,1	1,2	80 – 90	1,2
100	0,56	56,1	1,0	90 - 100	0,9

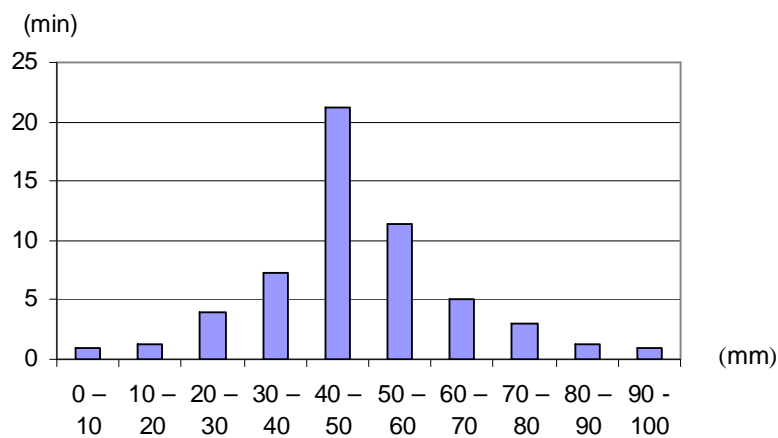


Figura 14: Exemplo de representação gráfica do Hietograma de Projeto segundo método dos blocos alternados apresentado em Marcellini (1994).

## 2 OBJETIVOS

2.1 GERAL: Obter a *Curva Intensidade – Duração – Frequência - IDF* de chuvas intensas de Boa Vista pelo método da desagregação que utiliza os dados de precipitação pluviométrica que refletem as alturas de chuva, em mm, de “1DIA”.

### 2.2 ESPECÍFICOS:

Estimar a *Chuva Efetiva* da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu com base no método do *Soil Conservation Service – SCS* que utiliza os parâmetros fisiográficos da bacia em estudo, notadamente: precipitação, tipo de solo, uso do solo, vegetação e topografia;

Estimar a *Vazão de Projeto* da bacia do Igarapé Murupu com utilização do método do *Soil Conservation Service – SCS* com a opção do hidrograma unitário triangular (HUT – SCS) e a chuva efetiva em mm, seguindo a praxe da hidrologia brasileira.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 MATERIAL

3.1.1 **Imagem Landsat TM-5:** Neste trabalho foi utilizada imagem Landsat TM-5 correspondente à órbita / ponto 232 – 058 nas bandas 3, 4 e 5, com cobertura em março de 2004.

3.1.2 **Cartas do DSG:** As cartas plani-altimétricas foram utilizadas na escala de 1:100.000, identificadas por MI-40 (Serra da Moça) e MI-54 (Boa Vista), da Diretoria de Serviço Geográfico do Departamento de Engenharia e Comunicações do Exército Brasileiro.

3.1.3 **Cartas temáticas:** Dentre vários Mapas temáticos utilizados neste trabalho, merecem destaque: a) Mapa de tipo de solo elaborado no Plano Diretor Estratégico de Boa Vista; b) Mapa de glebas do plano de manejo florestal da empresa Ouro Verde Agrossilvopastoril; c) Mapa da área do projeto PA Nova Amazônia (INCRA) e d) Levantamento efetuado pelo 6<sup>a</sup> BEC na região do Taiano para fins de eletrificação rural.

3.1.4 **Dados de Precipitação Pluviométrica:** Considerando a sua importância neste trabalho foi abordado apenas o fator precipitação pluviométrica cujos dados da estação Boa Vista foram processados por Araújo et al. (2001) que apresentam os seguintes resultados:

Máxima precipitação anual = 2.554,6 mm;

Média precipitação anual = 1.678,6 mm;

Mínima precipitação anual = 994,7 mm.

Conforme os autores supracitados, nos meses de junho e julho ocorrem as maiores precipitações do ano com médias superiores a 330 mm e que só no quadrimestre de maio à agosto a precipitação atende às demandas hídricas das culturas, sem necessidade de irrigação

### 3.1.5 **Bacia hidrográfica do igarapé Murupu**

Pela natureza deste trabalho foi necessária a elaboração de um breve diagnóstico físico da bacia hidrográfica do igarapé Murupu onde se destacam as suas características fisiográficas e uso do solo, com base nas informações colhidas em órgãos públicos, notadamente a Prefeitura Municipal de Boa Vista – PMBV que forneceu cópia do seu mais recente Plano Diretor, do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA que permitiu acesso ao Projeto de Assentamento Nova Amazônia que na sua maior parte acha-se inserido na bacia hidrográfica estudada. Na área da iniciativa privada além das ocupações tradicionais

de sítios e fazendas destaca-se o Plano de Manejo Florestal do Projeto Ouro Verde Agropastoril (OVA) que tem como principal objetivo o florestamento com a espécie *Acácia mangium* na região da serra do Murupu, pertencente a bacia hidrográfica em estudo.

- *Localização*

A bacia hidrográfica do Igarapé Murupu localizada nas proximidades da capital Boa Vista mostrada na figura 15 é uma sub-bacia do rio Cauamé, afluente da margem direita do rio Branco. Seu uso de solo predominante rural com abundância de sítios e fazendas.

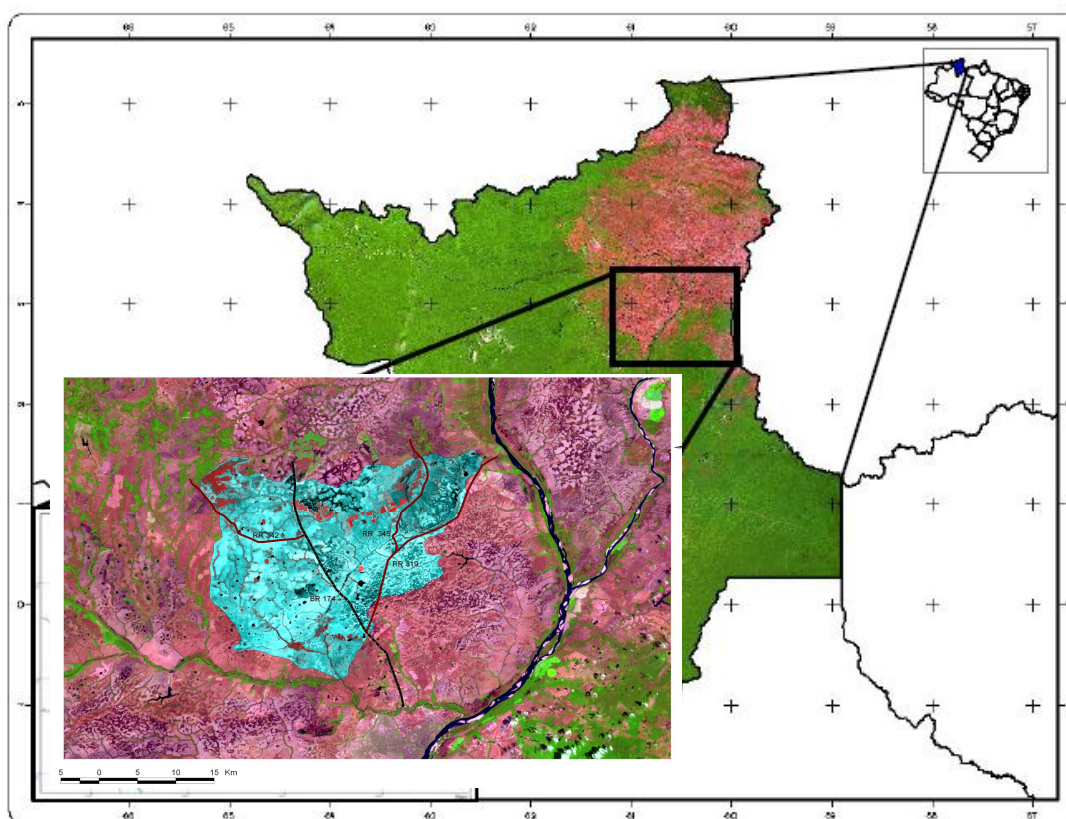


Figura 15: Localização da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima.

- *Acesso*

A figura 16 ilustra a localização da rodovia BR-174 e as rodovias estaduais RR-319, RR-345 e RR-342 que compõem a malha rodoviária principal da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu.

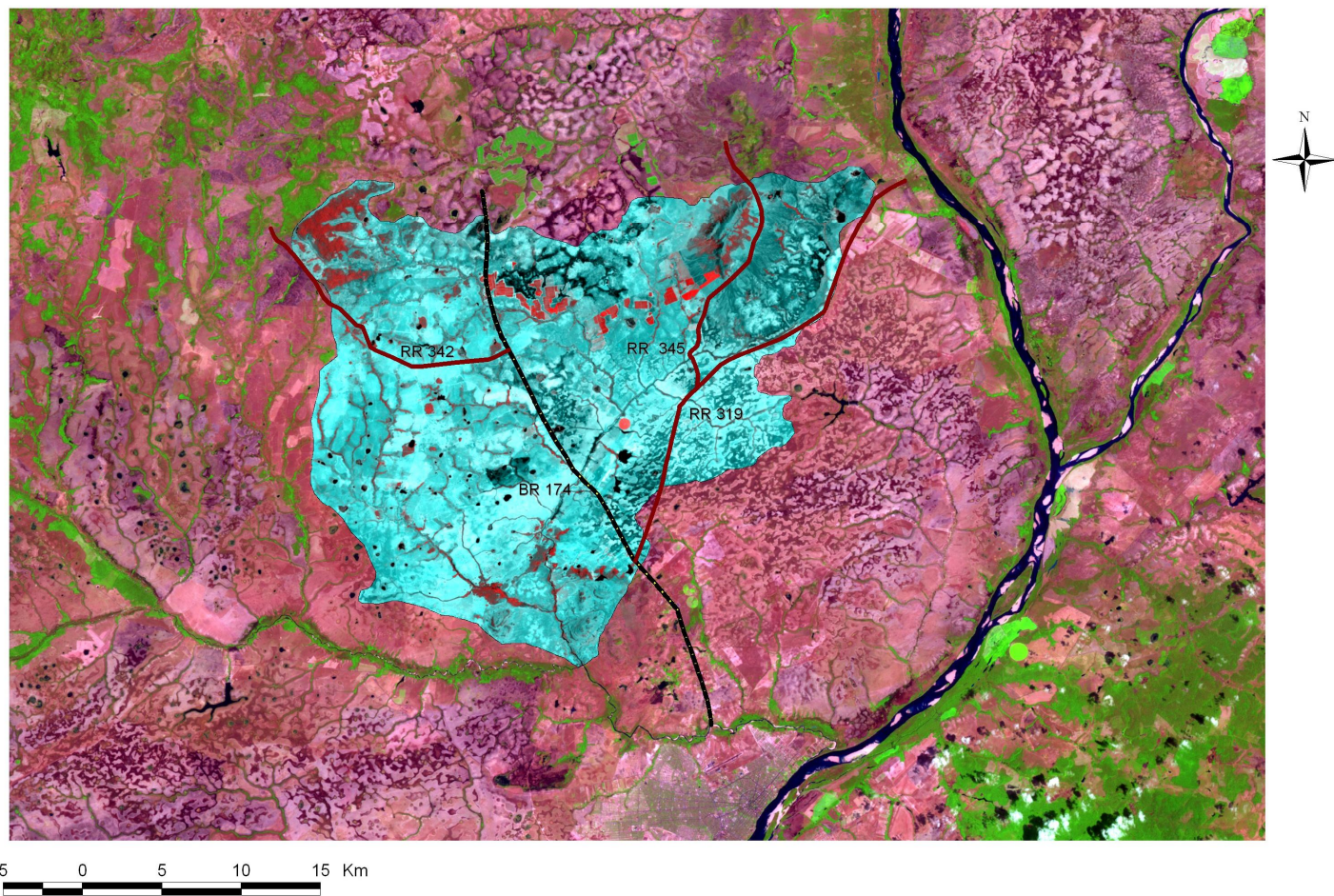


Figura 16: Acessos rodoviários na bacia hidrográfica do igarapé Murupí na região central do Estado de Roraima.

- *Geomorfologia*

O estudo para caracterização da bacia do igarapé Murupu se limitou no seguinte:

*Relevo:* A bacia do igarapé Murupu é predominantemente plana salvo as regiões das nascentes de sua calha principal e de seu maior afluente Jacitara, além das colinas residuais das serras de Nova Olinda, mostradas na figura 17.

*Forma:* A calha principal do igarapé Murupu flui no sentido de NE para SW sendo a sua margem direita provida de maior número de afluentes definindo uma forte assimetria entre suas margens.

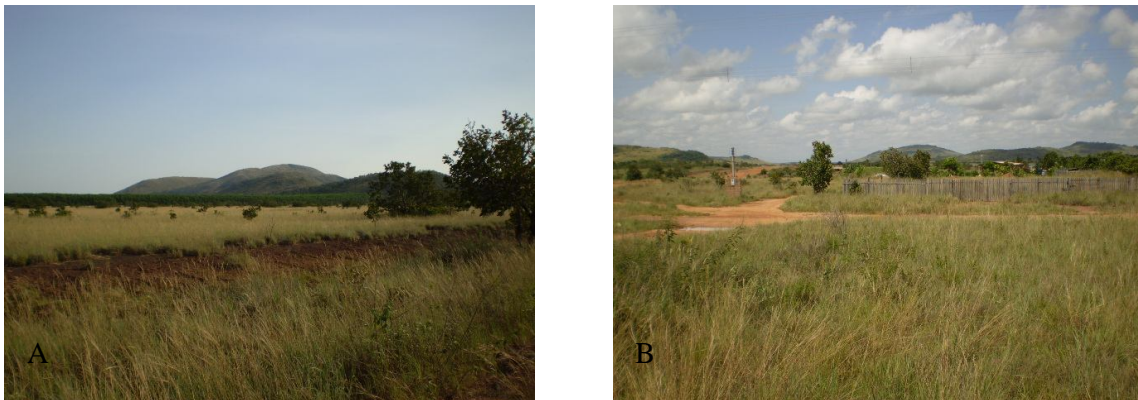


Figura 17: *Inselberg* (serra do Murupu) (A) e colinas residuais na região das serras Nova Olinda (B) na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima, segundo Costa (2006).

*Cor d'água:* Os estudos de rios da Amazônia por Sioli (1991) consideram os rios de água barrenta amarelada, turva, cujas profundidades limites de visibilidade vão de menos de 10 à aproximadamente 50cm e de águas de transparência cristalina, sem matéria em suspensão, com profundidade limites de visibilidade superior a 4m no disco de Seechi e coloração esverdeada. Por fim, os estudos de Sioli (1991) consideram os rios portadores de águas “pretas” que se assemelham, no leito fluvial, a café preto e, no copo, a chá fraco, com profundidades limites de visibilidade variando de 1,5 a 2,5m, como o rio Negro, por exemplo. Em resumo, Sioli (1991) classifica os tipos de rios em função da cor de suas águas em: rio de água branca (água barrenta), rio de água clara e rio de água preta.

Dentro da classificação de Sioli (1991) o rio Branco é de água branca, seu afluente Cauamé é rio de água clara, mesma categoria do igarapé Murupu conforme ilustrado na figura 18.

*Índice de Compacidade ( $K_c$ ):* Relação entre o perímetro de uma bacia hidrográfica e a circunferência de círculo de área igual a da bacia. O menor valor deste índice é 1 que corresponde a uma bacia ideal circular. Naturalmente este índice é maior que 1 como acontece



com a bacia hidrográfica de qualquer rio. Quanto menor valor de  $K_c$ , maior o potencial de ocorrência de picos de cheias elevadas. Para a bacia hidrográfica em estudo foi definido o *Índice de Compacidade* =  $145,424/99,65 = 1,46$ .

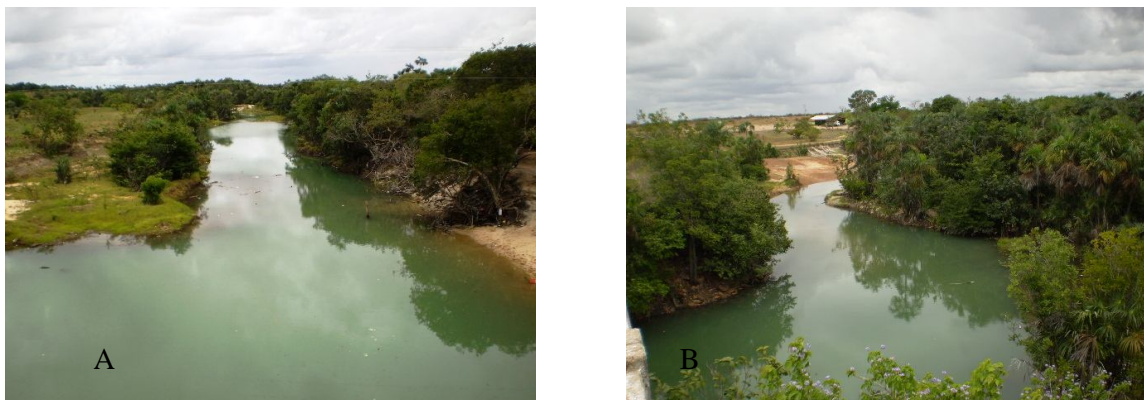


Figura 18: Vista do igarapé Murupu a jusante (A) e a montante (B) da ponte na BR-174, distante 20km de Boa Vista na direção de Pacaraima, mostrando a cor verde da água como sinal de rio de água clara segundo Sioli (1991)

*Padrões de Drenagem:* A bacia do igarapé Murupu apresenta três dos padrões básicos de drenagem de Zernitz (1932 apud HOWARD, 1967), que são ilustrados na figura 19. Esses padrões básicos são os seguintes: *Dendrítico* (1) que lembra uma árvore frondosa tipo castanheira, em vista da ramificação irregular de sua drenagem em todas as direções, não indicando em princípio qualquer controle geológico-estrutural ou mesmo estratigráfico do conjunto litológico; *Paralelo* (2) cujo nome reflete o paralelismo de suas drenagens, em uma extensão relativamente grande; *Retangular* (3) cuja forma resulta de juntas ou falhas geológicas.

*Dimensões:* Para o desenvolvimento deste trabalho e com auxílio do ArcView 3.2 foram levantados os seguintes parâmetros:

- área = 790,6253 km<sup>2</sup>; perímetro = 145,424 km;
- talvegue principal = 50,981 km;
- talvegue do principal afluente (Jacitara) = 32,981 km;
- talvegue do segundo maior afluente (Samauma) = 30,148 km;
- talvegue do terceiro maior afluente (Sucuriju) = 14,442 km;
- foz do Jacitara até a foz do Murupu = 22,740 km;
- talvegue principal pelo Jacitara = 32,981 + 22,740 = 55.721 km;
- cota da margem da nascente do Murupu = 108,00 m;
- cota da margem da nascente do Jacitara = 158,00 m;
- cota da margem do exutório do Murupu = 85,00 m.

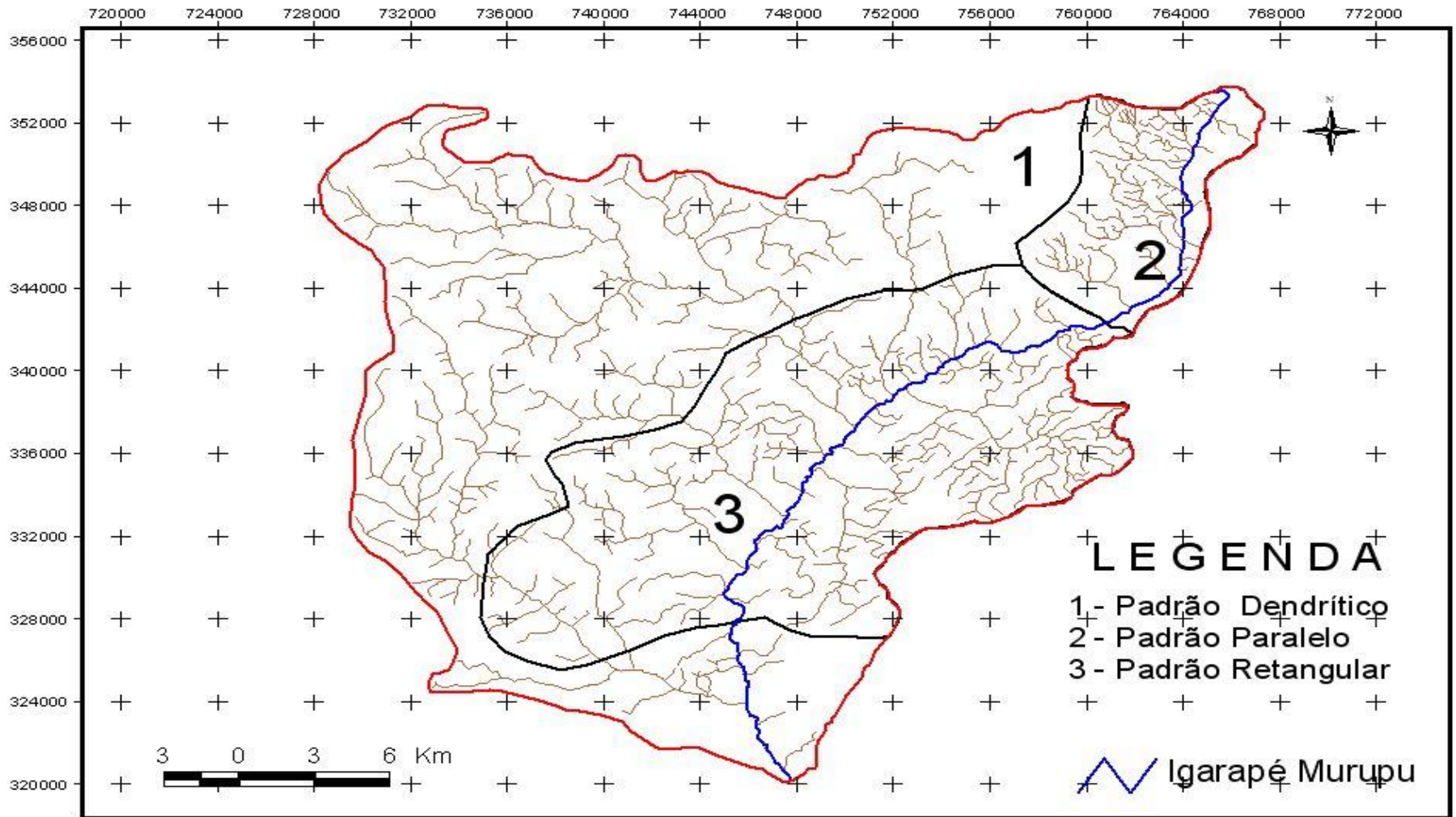


Figura 19: Padrões de Drenagem da bacia hidrográfica do igarapé Murupú na região central do Estado de Roraima, conforme Zernitz (1932 apud HOWARD, 1967).

- *Geologia:* Segundo o diagnóstico físico, parte integrante dos estudos que subsidiaram o mais recente Plano Diretor Estratégico de Boa Vista – RR encontrado em IBAM (2006), o Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima realizados pela Companhia de Recursos Minerais, encontrado em BRASIL (2002), trouxe maior aprofundamento nos estudos da Geologia e Geomorfologia do Estado de Roraima de autoria de Costa (2006). No referido Plano Diretor consta o quadro estratigráfico síntese das unidades geológicas e perfil esquemático para formação de inselbergs na região centro-oeste do Estado de Roraima, reproduzidos respectivamente nas figuras 20 e 21.

ERA	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICO	Cobertura Recente Formação Boa Vista	Sedimentação moderna Areias e argilas semi-consolidadas
MESOZÓICO	Complexo Vulcânico Apoteri	Basaltos, andesitos e diques básicos
MESOPROTEROZÓICO	Suíte Intrusiva Serra da Prata	Granitóides e gnaisses variados
PALEOPROTEROZÓICO	Suíte Metamórfica Rio Urubu Grupo Cauarane	Biotita gnaisses e metagranitóides Xistos básicos, metacherts, paragnaisses, anfibolitos e gnaisses kinzigíticos

Figura 20: Quadro das unidades litoestratigráficas na região do igarapé Murupu de autoria de Costa (2006)

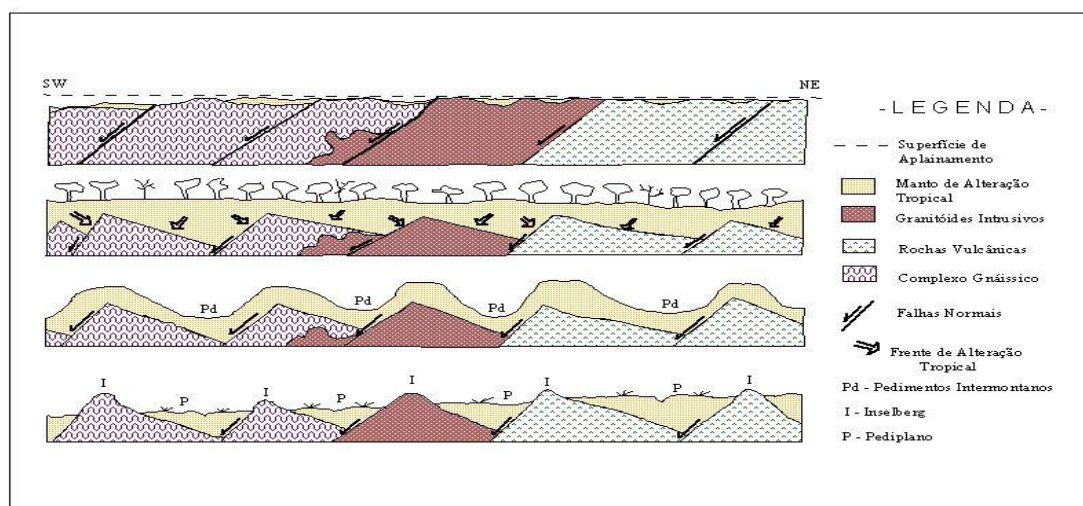


Figura 21: Perfil esquemático de um modelo evolutivo para formação de inselbergs na região centro-oeste do Estado de Roraima segundo Costa (2006).

- *Solo*: Segundo diagnóstico físico, parte integrante dos estudos mais atualizados que subsidiaram o mais recente Plano Diretor Estratégico de Boa Vista – RR encontrado em IBAM (2006), houve maior aprofundamento no estudo do solo do município de Boa Vista e dessa forma se pode utilizá-los na bacia hidrográfica do igarapé Murupu. O mapa de solo apresentado no Plano Diretor Estratégico de Boa Vista – RR contempla 10 (dez) agrupamentos de tipos de solo, onde 7 (sete) são encontrados na bacia do igarapé Murupu que são apresentados a seguir com suas siglas e breve descrição. Os resultados de quatro análises e classificação de solo onde duas tratam especificamente dos tipos de solo da bacia do igarapé Murupu, são apresentados no Anexo A deste trabalho. A figura 22 ilustra esses tipos de solo na bacia hidrográfica do igarapé Murupu.

**RQg1** – NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórfico Plíntico Distrófico + ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico + GLEISSOLOS HÁPLICO Tb Distrófico Plíntico vegetação de savana relevo plano.

**LAd1** – LATOSSOLO AMARELO Distrófico Típico A moderado textura média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico Distrófico vegetação de savana relevo plano.

**LVAd1** – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionários Distrófico léptico textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico vegetação savana relevo ondulado

**LVAd3** – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura argilosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionários Distrófico letivo textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico Típico A moderado textura média vegetação savana relevo ondulado

**RLd** – NEOSSOLOS LITOLICOS Distrófico Típico textura indiscriminada + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico + Afloramento rochosos.

**RQg2** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Hidromórficos Distrófico + PLINTOSSOLOS HÁPLICO Distrófico típico + GLEISSOLOS HÁPLICO Tb Distrófico Plíntico, vegetação de savana e relevo plano a suave ondulado.

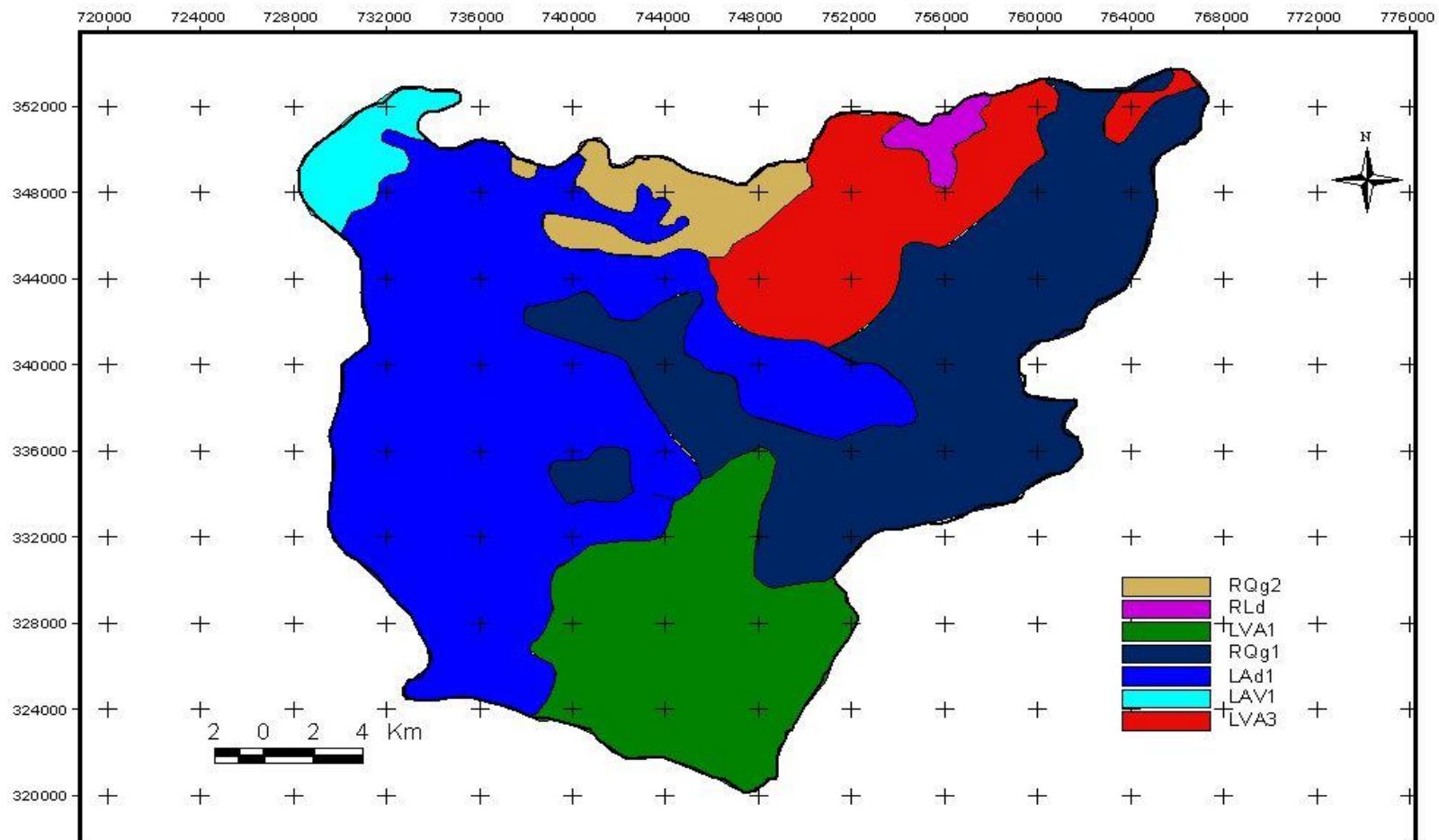


Figura 22: Mapa de solo da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na região central do Estado de Roraima, segundo Vale Júnior (2006).

- *Vegetação:* Conforme Brasil (1975) e Barbosa (2005), a vegetação predominante na bacia do igarapé Murupu é a Savana tipo Gramíneo-lenhosa ilustrada na figura 23. Na serra do Murupu predomina o ecossistema: Floresta Semidecidual de relevo aplainado.

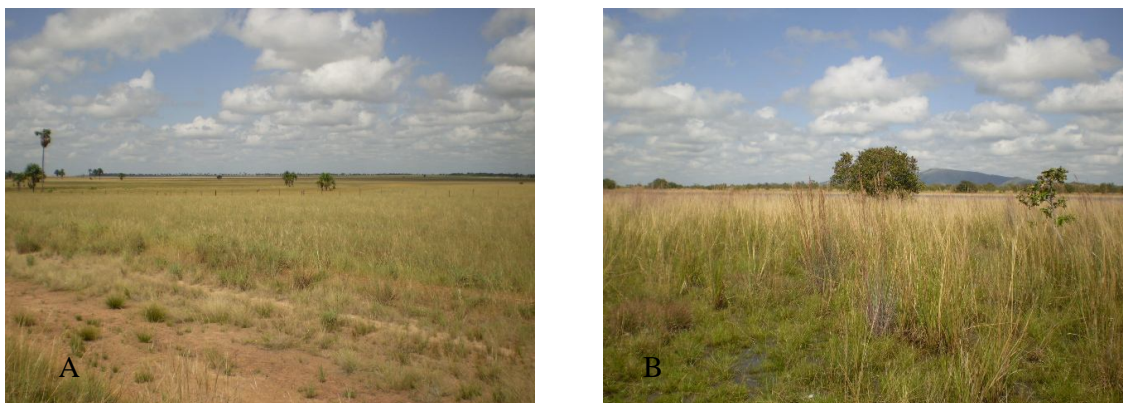


Figura 23: Paisagens (A) e (B) de Savana tipo Gramíneo-lenhosa que predomina na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.

- *Uso do Solo:* Além dos sítios e fazendas, destacam-se na economia da bacia o igarapé Murupu os seguintes empreendimentos:

*Projeto Nova Amazônia:* De acordo com informações em BRASIL (2001), este projeto visa a reforma agrária nos imóveis rurais denominados Fazendas Murupu, Caumé e Truaru (Morrinho, Arame, Carmo e Livramento) ou simplesmente Fazendas Bamerindus, situadas no município de Boa Vista, cujo alcance social é previsto para 800 (oitocentas) famílias. Este projeto teve seu marco inicial com a Portaria/Incrá/P/nº 585 de 02 de julho de 2001 que criou a Comissão Técnica Interinstitucional responsável em promover as ações necessárias ao planejamento de sua implantação.

Conforme Relatório Preliminar que antecede a referida portaria, esse projeto tem como área física as glebas discriminadas na tabela 9.

Tabela 9: Fazendas Bamerindus do Projeto de Assentamento Nova Amazônia, situadas parcialmente na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.

FAZENDAS	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO	CÓDIGO INCRA
Murupu	21.983,00	Boa Vista - RR	031.011.005.789-9
Caumé	20.643,00	Boa Vista - RR	031.011.047.503-9
Truaru	35.062,38	Boa Vista - RR	031.011.047.503-9

Embora a área total do projeto atinja 77.688,38 ha, por questão de continuidade, a mesma foi tratada como duas grandes áreas sendo a primeira, designada Área 1, formada pela fazenda Truaru com 35.062,38ha e a segunda, denominada Área 2, formada pelas fazendas Murupu e Caumé que juntas atingem a área de 42.626,00 ha. A grande importância da Área 2 é o fato dela ter sua maior parte pertencente a bacia hidrográfica do igarapé Murupu.

*Projeto Ouro Verde Agrossilvopastoril (OVA):* Este é o maior projeto da iniciativa privada ligado à bacia hidrográfica do igarapé Murupu, cujas características básicas são descritas a seguir, conforme Ouro Verde Agrossilvopastoril (2007).



Figura 24: Plantação de *Acácia mangium* na margem da estrada (A) e ao pé da serra do Murupu (B), na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima, em 2007.

O Plano de Manejo Florestal que compreende todas as áreas plantadas, como as ilustradas na figura 24 e administradas pela empresa *Ouro Verde Agrossilvopastoril*, tem como objetivo o plantio, a administração da silvicultura e a colheita de 30.000 ha da espécie *Acacia mangium* nas proximidades de Boa Vista-RR.

As florestas, sob este Plano de Manejo Florestal, deverão ser administradas de acordo com os princípios do manejo florestal sustentável, como definidos pelos Princípios, Critérios e Indicadores do Conselho de Manejo Florestal FSC (Forest Stewardship Council) e respectivos padrões de certificação para plantações de florestas desenvolvidas pelo grupo de trabalho brasileiro do FSC. Esse plano de manejo serve como estrutura de manejo para o período de 1º de Janeiro de 2006 a 31 de Dezembro de 2015 e está sujeito a uma revisão intermediária em 2011.

Os objetivos do Manejo Florestal, dentre vários, são: garantir a sustentabilidade econômica, ecológica e social do projeto; produzir mobiliário, fibras de madeira, briquetes, dentre outros produtos.

O Plano de Manejo Florestal é formado por quatro Núcleos ilustrados na figura 25 sendo um deles situado cerca de 40 km ao norte da cidade de Boa Vista, pertencente à bacia hidrográfica do igarapé Murupu. Essa área fica limitada a leste pela serra do Murupu e ao norte pela Terra Indígena “Serra da Moça”. A plantação iniciou-se em 1999 e cessaram em 2003 e reiniciaram em 2006 em áreas próximas à faixa de montanha por causa da ocorrência de sedimentos férteis nesta área.

Embora fique situada fora da bacia do igarapé Murupu, merece registro a construção da Serraria “Mangium Wood Serraria Ltda.” próxima a Boa Vista, sul do Núcleo Santa Cecília, concluída em junho 2007. A serraria esta processando a madeira de baixo diâmetro gerada nas operações de desbaste florestal.

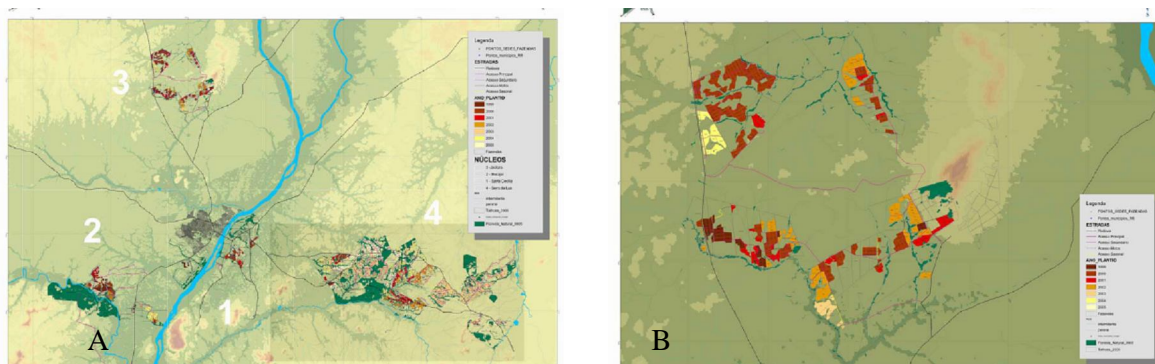


Figura 25: Localização das quatro áreas da OVA no entorno da capital Boa Vista (A) e detalhe da Área 3 pertencente à bacia do Igarapé Murupu (B) (OVA, 2007)

A empresa OVA mantém um bom relacionamento de vizinhança com os moradores da Terra Indígena - TI vizinha, inclusive facilitando o acesso aos recursos naturais tradicionalmente recolhidas pelas comunidades (como folhas e frutas das palmeiras “buriti” etc.) em convênio com a interveniência e apoio da FUNAI.

Uma das mais importantes precondições ambientais para o manejo florestal em larga escala é a realização de um estudo de avaliação do impacto ambiental (EIA/RIMA), que foi desenvolvido pela empresa em 2002/2003. As informações geradas no EIA/RIMA foram desenvolvidas e implementadas em 18 programas básicos ambientais (PBA).



Para poder efetuar um plantio e manejo florestal, todas as áreas da empresa tem que possuir áreas de proteção (APP e Reserva Legal). Essas áreas são documentadas, mapeadas e protocoladas e averbadas no órgão ambiental (FEMACT).

Um sistema de monitoramento e controle por propagação desenfreada de *Acácia mangium*, especialmente ao longo dos cursos de água é implementado por força tarefa da companhia cujo encarregado principal serve como pessoa de contato para relatórios de focos e está autorizado a introduzir medidas defensivas. Além disso, um programa de monitoramento da qualidade da água para águas superficiais e subterrâneas é desenvolvido pela companhia.

*Atividade de Mineração:* Exploração de pedra britada tipo basáltica. A empresa Amazônia Mucajai Mineração ilustrada na figura 26 fica situada aproximadamente a 17km da capital Boa Vista, na margem da rodovia BR-174, em direção a Pacaraima, explora mina de basalto com os seguintes produtos: Pó de Pedra que é utilizado na pavimentação, lajotas, Blokret, acabamentos em geral e agricultura (rochagem); Brita 0 que é utilizada na pavimentação, artefatos de concreto, chapisco e acabamento em geral; Brita 01 que é apropriada para fabricação de concreto, construção de pontes, edificações e grandes lajes. Esses produtos são consumidos pela construção civil, pavimentação, agricultura local.



Figura 26: Vistas da Amazônia Mucajai Mineração na sua entrada pela BR 174 (A) e exploração de basalto (B), distante 17 km de Boa Vista na direção de Pacaraima.

As áreas do Projeto de Assentamento Nova Amazônia (INCRA) e do Projeto Ouro Verde Agrossilvopastoril (OVA) são apresentadas junto com o contorno da bacia hidrográfica do igarapé Murupu na figura 27 de modo a se perceber a grande influência que referidos projetos terão no uso do solo e conseqüentemente na qualidade e quantidade do escoamento superficial de referida bacia hidrográfica, sítio deste trabalho de pesquisa.

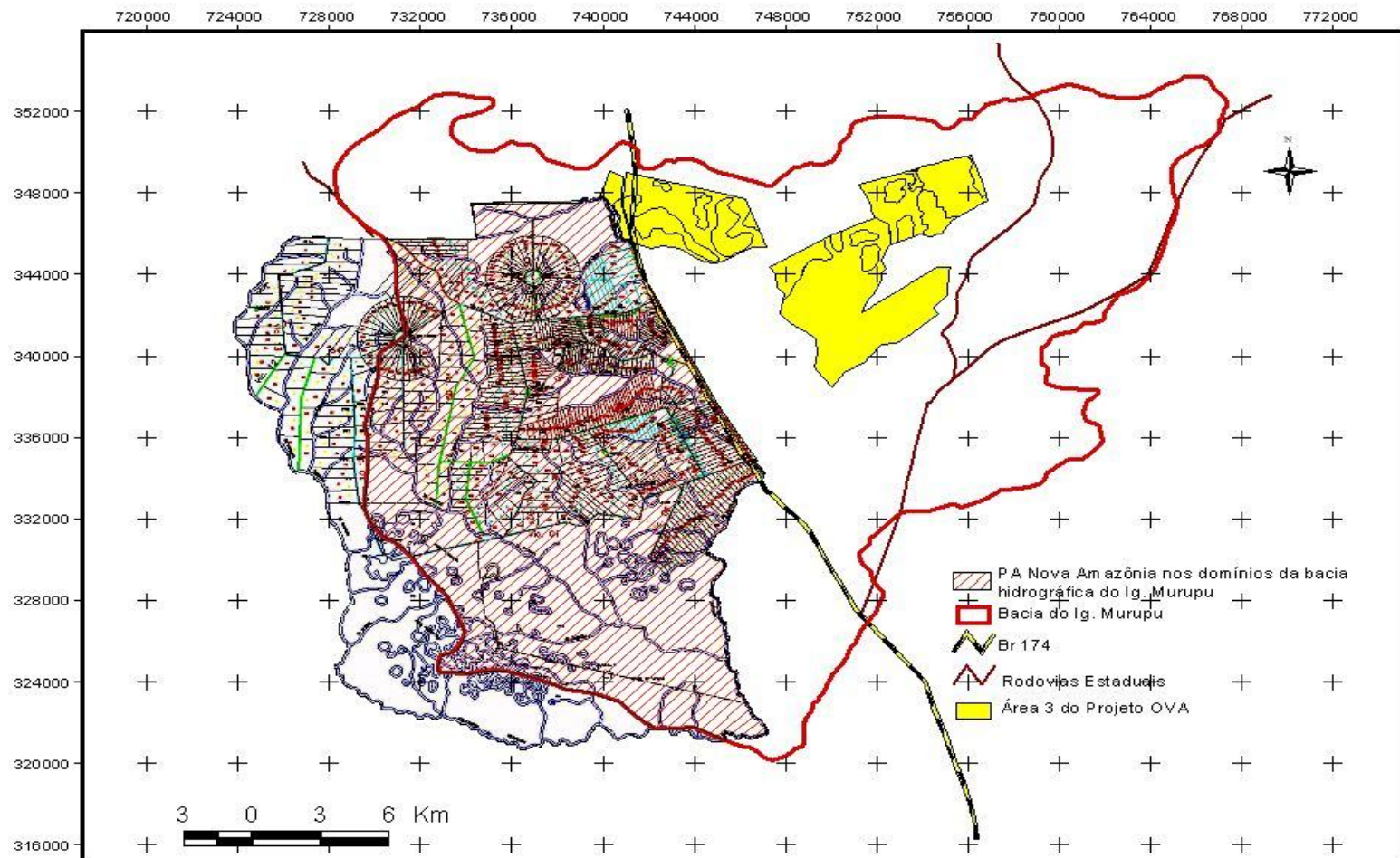


Figura 27: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do igarapé Murupú na região central de Roraima com destaque para a Área 3 do projeto Ouro Verde e Projeto de Assentamento Nova Amazônia.

*Uso múltiplo da água:* Pela importância desse fundamento da lei das águas cabe registrar que atualmente na bacia hidrográfica do igarapé Murupu há evidências dos usos para aquicultura e recreação, além do consumo humano e dessedentação de animais, conforme ilustrados na figura 28, não havendo, portanto o planejamento dos seus recursos hídricos de forma integrada como preconiza a referida lei.



Figura 28: Uso múltiplo dos recursos hídricos praticados na bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima: Aquicultura (A) e Recreação (B).

### 3.2 MÉTODOS

3.2.1 *Desagregação de chuva de “1 DIA”*: A metodologia para definição da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR se inicia com a desagregação de chuvas de “1 DIA” que foi objeto de várias pesquisas como aquelas realizadas no Estado de São Paulo por Occhipinti e Santos. (1966); Ferreira, Daniel e Tomazela (2005); Zuffo (2004); e no Estado do Rio Grande do Sul por Machado. et al. [1992?] e Robaina (1996). Neste trabalho, a metodologia utilizada nos cálculos da desagregação baseou-se nos fatores apresentados no trabalho de Cardoso, Ullmann e Bertol (1998) realizado no Estado de Santa Catarina que são reproduzidos a seguir na tabela 10.

Tabela 10: Fatores de desagregação de chuva de “1 DIA” conforme Cardoso, Ullmann e Bertol (1998).

Relação	Constante	Multiplicado por	Desagrega para
24 h / 1 d	1,14	x(dia, $T_r$ )	x(24 h, $T_r$ )
12 h / 24 h	0,85	x(24 h, $T_r$ )	x(12 h, $T_r$ )
10 h / 24 h	0,82	x(24 h, $T_r$ )	x(10 h, $T_r$ )
8 h / 24 h	0,78	x(24 h, $T_r$ )	x(8 h, $T_r$ )
6 h / 24 h	0,72	x(24 h, $T_r$ )	x(6 h, $T_r$ )
4 h / 24 h	0,63	x(24 h, $T_r$ )	x(4 h, $T_r$ )
2 h / 24 h	0,52	x(24 h, $T_r$ )	x(2 h, $T_r$ )
1 h / 24 h	0,42	x(24 h, $T_r$ )	x(1 h, $T_r$ )
30 min / 1 h	0,74	x(1 h, $T_r$ )	x(30 min, $T_r$ )
25 min / 30 min	0,91	x(30 min, $T_r$ )	x(25 min, $T_r$ )
20 min / 30 min	0,81	x(30 min, $T_r$ )	x(20 min, $T_r$ )
15 min / 30 min	0,70	x(30 min, $T_r$ )	x(15 min, $T_r$ )
10 min / 30 min	0,54	x(30 min, $T_r$ )	x(10 min, $T_r$ )
5 min / 30 min	0,34	x(30 min, $T_r$ )	x(5 min, $T_r$ )

3.2.2 *Anamorfose*: Para definição do parâmetro  $b$  da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR, com base na expressão universal  $i_m = K.T^a .(t + b)^{-c}$ , aplicou-se uma técnica especial conhecida como *anamorfose* que é um processo gráfico de aproximações sucessivas de ajuste da curva IDF em uma reta quando traçada em papel di-log onde no eixo das abscissas é marcado a duração da chuva ( $t$ ) em minuto na escala logaritma e no eixo das ordenadas a intensidade dessa chuva ( $i_m$ ) em mm/hora também na escala logaritma. Conforme Vieira, Lombard e Santos (1998), a constante  $b$  é obtida por tentativas de valores de  $b$  que adicionada graficamente à duração da chuva, permite a anamorfose da curva IDF quando esse valor produz uma reta. O valor de  $b$  que fornece o melhor ajuste é selecionado. No exemplo do trabalho do autor acima citado, o valor encontrado para  $b$  foi 20 conforme ilustrado em seu gráfico que é reproduzido na figura 29 apresentada a seguir.

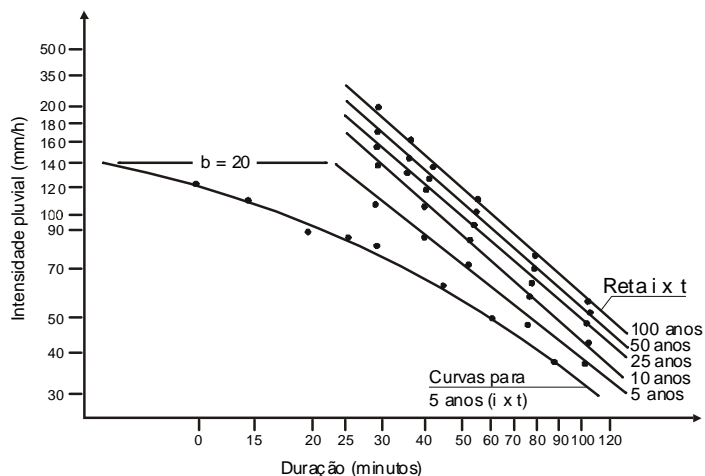


Figura 29: Transformação das curvas “i x t” em retas por tentativas de anamorfose para  $b=20$  ou fator “t +20” na curva IDF, conforme Vieira, Lombard e Santos (1998).

3.2.3 **Mínimos Quadrados:** Neste trabalho foi usado o modelo de regressão linear partindo da reta na forma  $Y = a'.X + b' + v$  onde  $X$  e  $Y$  são variáveis,  $a'$  e  $b'$  são constantes desconhecidas e  $v$  é uma variável aleatória onde  $E(v) = 0$ ;  $V(v) = \sigma^2$  para todo  $X$ . Com base em Benjamim e Cornell (1970) demonstra-se que os melhores estimadores para esses parâmetros pelo critério da menor soma dos quadrados da diferença da variável dependente  $Y$  em relação a sua média  $Y_m$  que são calculados pelas expressões apresentadas a seguir.

$$a = [S Y_i(x_i - x_m)] / S(x_i - x_m)^2, \text{ onde } x_m = (1/n) Sx_i$$

$$b = Y_m - ax_m, \text{ onde } Y_m = (1/n)SY_i$$

Onde:

$x_i$  = valores de  $X$  de uma série de dados onde  $i$  varia conforme o tamanho da amostra;

$x_m$  = valor médio de  $X$  da amostra do tamanho  $i$ ;

$Y_m$  = a média de dos valores de  $Y$ ;

$a$  = estimativa de  $a'$  ;

$b$  = estimativa de  $b'$ .

3.2.4 **Metodologia geral para Curva IDF:** Considerando o envolvimento das três metodologias já mencionadas, julgou-se conveniente consolidá-las em uma só cujo procedimento segue os seguintes passos:

- Selecionar altura máxima de chuva de “um dia” de cada ano formando assim a série histórica de chuvas máximas anuais;

- Organizar uma tabela contendo as colunas: Ano; Ordem; Chuva máxima  $x_i$  em mm e na ordem decrescente; Freqüência calculada pela fórmula  $F_i = m_i/(n + 1)$  em que  $F_i$  é a freqüência observada,  $m_i$  é o número de ordem da chuva máxima anual, e  $n$  é o número de anos da série analisada; Variável reduzida de Gumbel ( $y$ ), estimada pela expressão:  $y = (s_y / s_x) \cdot [x_i - (x_m - s_x \cdot y_m / s_{ym})]$  em que  $s_x$  é o desvio-padrão e  $x_m$  é a média da amostra da série anual finita de  $n$  valores,  $s_y$  é o desvio-padrão, e  $y_m$  é a média da variável reduzida, tabeladas em função do número de dados e publicadas em Garcez (1967) para  $n = 20, 30, 40, 50, 60$  e  $70$ , extraídos da tabela original de Gumbel (1988) com  $n = 8-60$ , com intervalo 1, 62-98 com intervalo 2, 100-250 com intervalo 5, 300-500 com intervalo 100 e de 500-1000 com intervalo 250; Probabilidade teórica esperada de uma variável aleatória  $X$  ser igual ou superior a um valor extremo dado  $x_i$ , com a notação  $P_{(X \geq x_i)}$  e calculada pela expressão de Gumbel:  $P_{(X \geq x_i)} = 1 - e^{-z}$  onde:  $z = e^{-y}$ ,  $e$  é a base dos logaritmos neperianos e  $y$  é a variável reduzida de Gumbel, definida acima; Período de retorno  $T_r$  que corresponde ao intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado, sendo calculado pela expressão:  $T_r = 1 / P_{(X \geq x_i)}$ ;
- Marcar os pares  $x_i$  versus  $T_r$  constantes da tabela mencionada acima em papel especial, denominado papel de Gumbel ou log-probabilístico, para verificar o aspecto li near entre os valores de  $x_i$  em função de  $T_r$ . Essa reta pode ser definida analiticamente com técnica de regressão e dessa forma os valores de  $x_i$  são calculados em função de  $T_r$ ;
- Organizar um novo quadro com base nos pares de valores ( $x_i$ ,  $T_r$ ) tendo na primeira coluna as durações de chuva máxima (1d, 24h, 12h, 10h, 8h, 6h, 4h, 2h, 1h, 30 min, 25 min, 20 min, 15 min, 10 min e finalmente 5 min) e nas demais colunas as alturas de chuva em mm para cada um dos períodos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100) em ano. Esse preenchimento tem como ponto de partida a primeira linha correspondente aos valores de  $x_i$  “1 DIA”, já calculados;
- Preencher uma tabela com auxílio de *fatores de desagregação de chuva de “1 DIA”* apresentados em Cardoso, Ullmann e Bertol (1998) e já reproduzidos na tabela 10;
- Construir nova tabela de alturas de chuva, porém sem a linha correspondente a “1 DIA”, com as intensidades máximas médias de chuva em mm/h onde cada valor de intensidade máxima média resulta da divisão da altura pela duração respectiva da chuva;
- Definir o parâmetro  $b$  com auxílio das chuvas desagregadas por meio do método de anamorfose que se utiliza de tentativas para verificar a constante  $b$  que adicionada à

duração da chuva, permite a anamorfose da curva IDF em forma de logaritmo ou seja: uma reta. O valor de  $b$  que fornece o melhor ajuste é selecionado;

- Definir os parâmetros  $K$ ,  $a$ , e  $c$  da equação Intensidade - Duração - Frequência das chuvas intensas, com auxílio da expressão universal  $i_m = K.T^a .(t + b)^{-c}$ , por meio do método estatístico de mínimos quadrados considerando  $C = K.T^a$  e aplicar a função logaritmo para transformá-la nas duas retas na forma  $Y = a'.X + b' + v$ , ou seja:  $\log i_m = \log. C - c.\log.(t + b)$  onde  $\log i_m = Y$ ,  $\log.(t + b) = X$ ,  $a' = -c$  e  $b' = \log.C$  e  $\log C = \log K + a.\log.T$  onde  $\log C = Y$ ,  $\log.T = X$ ,  $a' = a$  e  $b' = \log.K$ , cujos parâmetros são definidos com auxílio do método de mínimos quadrados;
- Expressar a equação das chuvas intensas  $i_m = K.T^a (t + b)^{-c}$  na sua versão final com a substituição dos parâmetros  $K, a, b$  e  $c$ , já estimados.

**3.2.5 Soil Conservation Service - Chuva Efetiva:** As chuvas efetivas e vazões de projeto da bacia hidrográfica do igarapé Murupu foram estimadas sem as verificações de seus resultados com os das medições de campo equivalentes, além do fato de que alguns dos parâmetros dos modelos utilizados exigirem pesquisas de campo para suas adequações à realidade dessa bacia hidrográfica. Tem, portanto uso limitado os resultados obtidos nesta fase da pesquisa.

Nessas estimativas foram utilizados os modelos recomendados pelo *Soil Conservation Service - SCS*, órgão do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América, subordinado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), atualmente chamado de Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS).

Referidos modelos, enquadrados no tipo chuva-deflúvio, se utilizam de vários parâmetros fisiográficos da bacia onde se destaca o *CN* chamado Número da Curva (*Curve Number*) que reflete a taxa de infiltração do solo através do enquadramento em uma das categorias A, B, C e D criadas no seu método, como também leva em consideração a utilização e cobertura do solo conforme detalhado nos trabalhos de Marcellini (1994) e Sartori (2004), dentre outros.

A definição do *CN* fica também na dependência de 3 (três) hipóteses das condições antecedentes de umidade do solo que o método identifica com as siglas AMCI correspondente aos solos secos, mas não no ponto de emurchamento; AMCII correspondente aos solos com umidade média ou equivalente a capacidade de campo e AMCIII que corresponde aos solos quase saturados ou precedidos de 5 (cinco) dias consecutivos de chuva. Neste trabalho foram utilizados parâmetros tabelados na condição AMCII.

Além desses parâmetros se destacam as intensidades de chuva calculadas pela equação da curva IDF de Boa Vista – RR na definição da chuva efetiva, hietograma ou chuva de projeto, responsável pelo escoamento superficial que é indispensável no dimensionamento hidráulico de obras.

Cabe observar que faz parte ainda do modelo chuva-deflúvio do *Soil Conservation Service* – SCS a utilização da ferramenta do hidrograma unitário seja na forma de curva ou triangular, que se costuma chamar Hidrograma Unitário Curvilíneo – HUC e Hidrograma Unitário Triangular – HUT, também identificados neste trabalho pelas siglas HUC-SCS e HUT-SCS. Neste trabalho foi dada preferência ao uso do HUT-SCS.

Pelo grande número de tabelas e figuras conseqüentes do uso de Períodos de Retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos em todo este trabalho, julgou-se recomendável apresentar no capítulo dos resultados e discussões apenas os casos pertinentes ao período de retorno de 2 anos, ficando os demais casos apresentados nos Apêndices A, B, C e D. O Anexo A trás tabelas de quatro perfis de solo do Município de Boa Vista, dois deles na bacia hidrográfica do igarapé Murupu que eventualmente podem ser consultados na leitura deste trabalho de pesquisa.

Os passos seguidos na metodologia do *Soil Conservation Service* - SCS no cálculo da chuva efetiva foram definidos com base nos trabalhos de Marcellini (1994) e Sartori (2004), conforme descritos abaixo.

- Determinação do hietograma conforme sub-rotina de *distribuição dos blocos alternados* da chuva total de projeto para uma duração igual ou maior que o tempo de concentração da bacia, para o período de retorno escolhido discretizando com a duração unitária  $D$ , determinada pela expressão  $D = 0,133.t_c$  onde  $t_c$ , em hora, é estimado com auxílio da fórmula de Kirpich  $t_c = 57.(L^2 / S')^{0,385}$  onde  $L$  é o comprimento do talvegue em km e  $S'$  a sua declividade calculada pela expressão  $S' = \Delta H/L$  em m/km, sendo  $\Delta H$  a diferença de nível da nascente ao exutório e  $L$  o comprimento do talvegue em km;
- Determinação da localização geográfica da bacia de drenagem num mapa pedológico para encontrar suas unidades de solos. Utilizando a classificação hidrológica do solo, determinam-se os grupos hidrológicos do solo e as áreas respectivas que eles ocupam na bacia. Pode-se dizer que se tem determinado um “mapa de classes hidrológicas” para a bacia;



- Cruzamento do “mapa de classes hidrológicas” com um mapa de uso ou cobertura da terra, elaborado para a bacia, determinando o complexo hidrológico solo-cobertura da terra;
- Determinação dos valores de  $CN$  para as diversas situações e calculando a sua média ponderada onde as áreas parciais são os pesos. Certificar se não há necessidade da conversão de novo valor de  $CN$ , em função da hipótese de umidade antecedente;
- Cálculo do potencial máximo de retenção  $S$ , em mm, com auxílio da fórmula  $S = (25.400/CN) - 254$ ;
- Cálculo da chuva efetiva  $Pe$ , em mm, em função da precipitação total  $P$ , em mm, e do potencial máximo de retenção  $S$  com uso da fórmula consagrada pelo SCS:  $Pe = (P - 0,2.S)^2 / (P + 0,8.S)$ ;
- Diferenciação da precipitação excedente acumulada, para cada intervalo de duração  $D$ , obtendo-se assim o hietograma da precipitação excedente.

**3.2.6 Soil Conservation Service - Vazão de Projeto:** Os passos seguidos na metodologia do *Soil Conservation Service – SCS* no cálculo da vazão de projeto e traçado de seu hidrograma neste trabalho foram definidos com base nos trabalhos de Marcellini (1994) e Sartori (2004), conforme descritos abaixo.

- Cálculo dos seguintes elementos topográficos da bacia: Área  $A$  em  $\text{km}^2$ , desnível entre as cotas de nascente e exutório  $\Delta H$ , em m; comprimento  $L$  do talvegue, em km e declividade  $S'$  em m/km;
- Cálculo do tempo de concentração  $t_c$  em minuto, usando a fórmula de consagrada de Kirpich  $t_c = 57.(L^2 / S')^{0,385}$  onde  $L$  é o comprimento do talvegue em km e  $S'$  a sua declividade calculada pela expressão  $S' = \Delta H/L$  em m/km, sendo  $\Delta H$  a diferença de nível da nascente ao exutório e  $L$  o comprimento do talvegue em km. Para se obter  $t_c$  em hora substituir o fator 57 por 0,95;
- Cálculo dos parâmetros: Duração unitária pela fórmula  $D = 0,133.t_c$ ; tempo de pico pela fórmula  $t_p = (2/3).t_c$  e tempo de recessão pela fórmula  $t_r = 1,67.t_p$ ;
- Cálculo da vazão de pico pela fórmula  $q_p = 1,93.A.Q/t_c$ , para  $Q = 1$  lembrando que o coeficiente 1,93 foi adotado em função da topografia plana da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, objeto desta pesquisa;
- Construção do HUC-SCS em função de  $t_p$  e  $q_p$ , já calculados e HUT-SCS em função de  $t_p$ ,  $q_p$  e  $t_r$ , também já calculados;

- Definição da chuva efetiva conforme sub-rotina específica;
- Obtenção do hidrograma de projeto a partir do HUT-SCS multiplicando a sua vazão máxima  $q_p$  pela chuva efetiva para o intervalo de tempo  $D$ . Em seguida deslocam-se os hidrogramas obtidos para cada bloco de chuva efetiva, de um tempo igual a duração da chuva efetiva  $D$ . O hidrograma de escoamento superficial final será obtido somando-se os valores das vazões dos hidrogramas superpostos.

**3.2.7 Convolução:** Este método é utilizado no cálculo da vazão de projeto pelo hidrograma unitário de duração padrão  $D$  cujas propriedades da *proporcionalidade*, ou seja; multiplicando-se a altura da chuva efetiva em mm pela ordenada do hidrograma unitário em  $m^3/s/mm$ , têm-se as vazões parciais em  $m^3/s$  e da *sobreposição* dessas vazões chega-se a vazão de projeto para o período de retorno escolhido.

Na prática, a convolução se transforma num algoritmo de cálculo da planilha da vazão de projeto relativa a um período de retorno. Seu entendimento fica melhor na leitura do item *Vazão de Projeto* deste trabalho.

**3.2.8 Geoprocessamento e planilha eletrônica:** Os elementos topográficos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu que foram aplicados nas estimativas da chuva efetiva e da vazão de projeto foram definidos com auxílio do aplicativo ArcView 3.2 sobre as imagens Landsat TM-5 para área, perímetros e comprimentos dos talvegues, enquanto que as altitudes foram extraídas da carta identificada por NA 20-X-D (Boa Vista) na escala 1:250.000. Com relação aos cálculos em todas as etapas desta pesquisa foi utilizado Microsoft Office Excel 2003.

**3.2.9 Hidrologia Sintética:** Este trabalho se enquadra na hidrologia sintética quando utiliza o modelo chuva-deflúvio do *Soil Conservation Service – SCS* nas estimativas da chuva efetiva e da vazão de projeto da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, com auxílio de parâmetros, alguns deles estimados de forma aproximada com base na literatura técnica pertinente em vez das suas medições de campo. Os dados obtidos pela curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR gerada pelo método da desagregação de chuva de “1DIA”, alimentaram essas estimativas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 CURVA IDF DE CHUVAS INTENSAS DE BOA VISTA-RR

4.1.1 **Dados de chuva do INMET:** A base de dados deste trabalho foram as precipitações máximas mensais em 24 horas, para o período de 01/01/1960 a 30/06/2007, da estação Boa Vista localizada pelas coordenadas geográficas de referência Latitude de 02° 49' 00" N, Longitude de 60° 39' 00" W e Altitude de 90,00m, fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Esses dados são apresentados na tabela 11 com a primeira análise para saneamento e definição da amostra que será processada.

Tabela 11: Todos os dados de chuva máxima diária de Boa Vista – RR do período 1961 a 2007, fornecidos pelo INMET, tabulados em ordem cronológica.

ANO	MÊS	DIA	mm	OBSERVAÇÃO
1961	JUNHO	20	101,9	Amostra significativa para estudo estatístico
1962	FEVEREIRO	19	49,0	Amostra parcial (jan. e fev.), descartada
1963	-	-	-	Período sem observação
1964	-	-	-	Período sem observação
1965	-	-	-	Período sem observação
1966	-	-	-	Período sem observação
1967	-	-	-	Período sem observação
1968	-	-	-	Período sem observação
1969	-	-	-	Período sem observação
1970	JULHO	20	61,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1971	-	-	-	Período sem observação
1972	FEVEREIRO	6	11,0	Amostra descartada
1973	OUTUBRO	29	93,4	Amostra significativa para estudo estatístico
1974	JULHO	22	85,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1.975	MAIO	19	85,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1976	ABRIL	24	92,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1977	ABRIL	29	81,6	Amostra significativa para estudo estatístico
1978	AGOSTO	25	87,2	Amostra significativa para estudo estatístico
1979	MARÇO	22	115,2	Amostra significativa para estudo estatístico
1980	JUNHO	24	55,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1981	JULHO	8	50,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1982	MAIO	8	54,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1983	MAIO	9	90,6	Amostra significativa para estudo estatístico
1984	AGOSTO	31	100,4	Amostra significativa para estudo estatístico

Tabela 11: Todos os dados de chuva máxima diária de Boa Vista – RR do período 1961 a 2007, fornecidos pelo INMET, tabulados em ordem cronológica.

ANO	MÊS	DIA	mm	OBSERVAÇÃO
1985	NOVEMBRO	2	71,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1986	JUNHO	15	64,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1987	JULHO	5	90,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1988	JULHO	13	74,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1989	JUNHO	11	94,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1990	-	-	-	Período sem observação
1991	-	-	-	Período sem observação
1992	-	-	-	Período sem observação
1993	MAIO	11	82,4	Amostra significativa para estudo estatístico
1994	OUTUBRO	11	96,8	Amostra significativa para estudo estatístico
1995	JULHO	14	97,1	Amostra significativa para estudo estatístico
1996	JUNHO	20	122,5	Amostra significativa para estudo estatístico
1997	AGOSTO	12	62,3	Amostra significativa para estudo estatístico
1998	JUNHO	6	79,0	Amostra significativa para estudo estatístico
1999	SETEMBRO	26	128,1	Amostra significativa para estudo estatístico
2000	ABRIL	11	80,9	Amostra significativa para estudo estatístico
2001	JUNHO	20	48,3	Amostra significativa para estudo estatístico
2002	MAIO	27	92,5	Amostra significativa para estudo estatístico
2003	JULHO	15	84,2	Amostra significativa para estudo estatístico
2004	MAIO	9	83,3	Amostra significativa para estudo estatístico
2005	JULHO	9	95,0	Amostra significativa para estudo estatístico
2006	ABRIL	15	105,6	Amostra significativa para estudo estatístico
2007	JUNHO	3	117,2	Amostra significativa para estudo estatístico

Fonte: INMET

#### 4.1.2 Ordenamento dos dados de chuva do INMET.

Na seqüência dos trabalhos procedeu-se a primeira análise da amostra tendo-se a preocupação de se eliminar as alturas de chuva sem representatividade e mesmo ausentes por falha de observação.

Assim sendo chegou-se na amostra de 34 (trinta e quatro) elementos de chuva máxima de “1DIA” sendo que cada uma foi extraída de um ano. Esses dados são apresentados nas tabelas 12 e 13 respectivamente nas ordens cronológica e decrescente servindo os dados desta última como entrada nos cálculos apresentados a seguir.

Tabela 12: Série selecionada de 34 anos de chuvas máximas diárias de Boa Vista - RR, conforme dados do INMET período de 1961 a 2007, em ordem cronológica.

<b>ORDEM CRONOLÓGICA</b>			
<b>ANO</b>	<b>mm</b>	<b>ANO</b>	<b>mm</b>
1961	101,9	1.988	74,0
1970	61,0	1.989	94,0
1973	93,4	1.993	82,4
1974	85,8	1.994	96,8
1975	85,8	1.995	97,1
1976	92,0	1.996	122,5
1977	81,6	1.997	62,3
1978	87,2	1.998	79,0
1979	115,2	1.999	128,1
1980	55,8	2.000	80,9
1981	50,0	2.001	48,3
1982	54,8	2.002	92,5
1983	90,6	2.003	84,2
1984	100,4	2.004	83,3
1985	71,0	2.005	95,0
1986	64,0	2.006	105,6
1987	90,8	2.007	117,2

Tabela 13: Série selecionada de 34 anos de chuvas máximas diárias de Boa Vista - RR, conforme dados do INMET período de 1961 a 2007, em ordem decrescente de intensidade, usada na distribuição de Gumbel para definição dos períodos de retorno.

<b>ORDEM DECRESCENTE</b>			
<b>ANO</b>	<b>mm</b>	<b>ANO</b>	<b>mm</b>
1999	128,1	1.974	85,8
1996	122,5	1.975	85,8
2007	117,2	2.003	84,2
1979	115,2	2.004	83,3
2006	105,6	1.993	82,4
1961	101,9	1.977	81,6
1984	100,4	2.000	80,9
1995	97,1	1.998	79,0
1994	96,8	1.988	74,0
2005	95,0	1.985	71,0
1989	94,0	1.986	64,0
1973	93,4	1.997	62,3
2002	92,5	1.970	61,0
1976	92,0	1.980	55,8
1987	90,8	1.982	54,8
1983	90,6	1.981	50,0
1978	87,2	2.001	48,3

#### 4.1.3 *Período de Retorno conforme Gumbel.*

No procedimento de cálculo, detalhado a seguir, é de vital importância o uso da tabela 14 que apresenta a média e o desvio padrão da variável reduzida Gumbel ( $y$ ) em função do número de observações.

Tabela 14: Média e desvio padrão da variável reduzida ( $y$ ) em função do número de observações, conforme Gumbel (1958)

<b>n</b>	<b><math>y_n</math></b>	<b><math>s_n</math></b>	<b>n</b>	<b><math>y_n</math></b>	<b><math>s_n</math></b>	<b>n</b>	<b><math>y_n</math></b>	<b><math>s_n</math></b>
8	0,4843	0,9042	35	0,5403	1,1285	64	0,5533	1,1793
9	0,4902	0,9288	36	0,5410	1,1313	66	0,5538	1,1814
10	0,4952	0,9497	37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834
11	0,4996	0,9676	38	0,5424	1,1363	70	0,5548	1,1854
12	0,5053	0,9833	39	0,5430	1,1388	72	0,5552	1,1873
13	0,5070	0,9972	40	0,5436	1,1413	74	0,5557	1,1890
14	0,5100	1,0095	41	0,5442	1,1436	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	42	0,5448	1,1458	78	0,5565	1,1923
16	0,5157	1,0316	43	0,5453	1,1480	80	0,5569	1,1938
17	0,5181	1,0411	44	0,5458	1,0150	82	0,5572	1,1953
18	0,5202	1,0493	45	0,5463	1,1519	84	0,5576	1,1967
19	0,5220	1,0566	46	0,5468	1,1538	86	0,5580	1,1980
20	0,5236	1,0628	47	0,5473	1,1557	88	0,5583	1,1994
21	0,5252	1,0696	48	0,5477	1,1574	90	0,5586	1,2007
22	0,5268	1,0754	49	0,5481	1,1590	92	0,5589	1,2020
23	0,5283	1,0811	50	0,5485	1,1607	94	0,5592	1,2032
24	0,5296	1,0864	51	0,5489	1,1638	96	0,5595	1,2044
25	0,5309	1,0915	52	0,5493	1,1653	98	0,5598	1,2055
26	0,5320	1,0961	53	0,5497	1,1667	100	0,5600	1,2065
27	0,5332	1,1004	54	0,5501	1,1681	150	0,5646	1,2253
28	0,5343	1,1047	55	0,5504	1,1696	200	0,5672	1,2360
29	0,5353	1,1086	56	0,5508	1,1708	250	0,5688	1,2429
30	0,5362	1,1124	57	0,5511	1,1721	300	0,5699	1,2479
31	0,5371	1,1159	58	0,5515	1,1734	400	0,5714	1,2545
32	0,5386	1,1193	59	0,5518	1,0000	500	0,5724	1,2588
33	0,5388	1,1226	60	0,5521	1,1747	750	0,5738	1,2651
34	0,5396	1,1255	62	0,5527	1,1770	1000	0,5745	1,2685

Os valores constantes da tabela 15 foram assim calculados:

A primeira e terceira colunas foram preenchidas com os dados da tabela 13;

A segunda coluna se refere a ordem seqüencial de 1 a 34, desses dados;

Tabela 15: Definição dos períodos de retorno com Distribuição de Gumbel para chuvas máximas de "1DIA" de Boa Vista – RR, no período de 1961 a 2007.

Ano	Ordem $m_i$ $i=1,\dots,30$	Chuva ( $x_i$ ) Máx. "1 DIA" mm	Freqüência $F_i$ %	Variável Reduzida $y$	Probabilidade $P(X \geq x_i)$ %	Período De Retorno $T_r(\text{ano})$
1999	1	128,1	2,86	2,92	5,27	18,99
1996	2	122,5	5,71	2,60	7,15	13,98
2007	3	117,2	8,57	2,30	9,53	10,50
1979	4	115,2	11,43	2,19	10,60	9,43
2006	5	105,6	14,29	1,65	17,54	5,70
1961	6	101,9	17,14	1,44	21,15	4,73
1984	7	100,4	20,00	1,35	22,79	4,39
1995	8	97,1	22,86	1,17	26,78	3,73
1994	9	96,8	25,71	1,15	27,17	3,68
2005	10	95,0	28,57	1,05	29,60	3,38
1989	11	94,0	31,43	0,99	31,02	3,22
1973	12	93,4	34,29	0,96	31,89	3,14
2002	13	92,5	37,14	0,91	33,25	3,01
1976	14	92,0	40,00	0,88	34,01	2,94
1987	15	90,8	42,86	0,81	35,91	2,78
1983	16	90,6	45,71	0,80	36,23	2,76
1978	17	87,2	48,57	0,61	42,03	2,38
1974	18	85,8	51,43	0,53	44,57	2,24
1975	19	85,8	54,29	0,53	44,57	2,24
2003	20	84,2	57,14	0,44	47,58	2,10
2004	21	83,3	60,00	0,39	49,32	2,03
1993	22	82,4	62,86	0,34	51,08	1,96
1977	23	81,6	65,71	0,29	52,67	1,90
2000	24	80,9	68,57	0,25	54,08	1,85
1998	25	79,0	71,43	0,14	57,96	1,73
1988	26	74,0	74,29	-0,14	68,31	1,46
1985	27	71,0	77,14	-0,31	74,37	1,34
1986	28	64,0	80,00	-0,70	86,76	1,15
1997	29	62,3	82,86	-0,80	89,20	1,12
1970	30	61,0	85,71	-0,87	90,89	1,10
1980	31	55,8	88,57	-1,17	95,98	1,04
1982	32	54,8	91,43	-1,22	96,66	1,03
1981	33	50,0	94,29	-1,49	98,84	1,01
2001	34	48,3	97,14	-1,59	99,26	1,01
	<b><math>x_m</math></b>	<b>86,0</b>	<b><math>y_{mn}</math></b>	<b>0,54</b>		
	<b><math>s_x</math></b>	<b>19,9</b>	<b><math>s_{yn}</math></b>	<b>1,13</b>		

A quarta coluna trata da frequência e foi preenchida como valores calculados pela fórmula  $F_i = m_i/(n + 1)$  do método Califórnia. Como exemplo, o primeiro elemento 2,86% resulta da operação  $(1/35) \times 100$  onde  $m_i = 1$  e  $(n + 1) = 35$ ; o segundo elemento 5,71% resulta da operação  $(2/35)$  onde  $m_i = 2$  e  $(n + 1) = 35$ ; e assim sucessivamente;

A quinta coluna refere-se a variável reduzida de Gumbel ( $y$ ) que é estimada pela expressão:  $y = (s_{yn} / s_x) \cdot [x_i - (x_m - s_x \cdot y_{mn} / s_{yn})]$ . Com os dados da coluna três chegou-se a média  $x_m = 86,0$  e desvio padrão  $s_x = 19,9$  e, com ajuda da tabela 14 de Gumbel chegou-se em  $y_{mn} = 1,1255$  e  $s_{yn} = 0,5396$ , aproximados para 1,13 e 0,54.

A sexta coluna trata da probabilidade teórica esperada de uma variável aleatória  $X$  (no caso presente a chuva intensa) ser igual ou superior a um valor extremo dado  $x_i$  (intensidade de chuva máxima da terceira coluna) Com a notação  $P(X \geq x_i)$  esses elementos são calculados pela expressão de Gumbel:  $P(X \geq x_i) = 1 - e^{-e^z}$  onde:  $z = -e^{-y}$ ,  $e$  é a base dos logaritmos neperianos e  $y$  é a variável reduzida de Gumbel, definida acima. Como exemplo o primeiro valor 5,27% desta coluna resultou das operações: com  $y = 2,92 \rightarrow z = -e^{-y} = -0,05393 \rightarrow e^z = 0,94749 \rightarrow 1 - e^z = 0,0527$  que na forma percentual apresentada é 5,27%;

A sétima e última coluna trata do Período de Retorno (ou de Recorrência)  $T_r$  que corresponde ao intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva máxima é igualado ou superado, sendo calculado pela expressão:  $T_r = 1 / P(X \geq x_i)$  onde  $P(X \geq x_i)$  é tomado na sua forma decimal. Como exemplo, o primeiro elemento  $18,99 = 1/0,0527$  e assim sucessivamente.

#### 4.1.4 Chuva máxima de “1 DIA” para $T_r$ de (2 a 100) anos

Os valores de Períodos de Retorno ( $T_r$ ) correspondentes às chuvas máximas da amostra de 34 (trinta e quatro) elementos da tabela 13 precisam estar na forma inteira de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos conforme metodologia adotada. Por isso foi utilizada a equação de Gumbel  $x = x_m + (s_x/s_{yn})(y - y_{mn})$  para cálculo de  $x$  (chuva máxima) em função dos parâmetros:  $x_m = 86,0\text{mm}$ ;  $s_x = 19,9\text{mm}$ ;  $s_{yn} = 1,1255$  (tabelada em função do tamanho da amostra,  $n=34$ ),  $y_{mn} = 0,5396$  (também tabelada em função de  $n$ ).

A equação acima ficará na forma  $x = 86,0 + (19,9/1,1255)(y - 0,5396)$  com o intercepto de 76,46 e  $y = -\ln(-\ln(1 - 1/T_r))$  e assim se chegando as duas formas finais:

$$x = 17,68y + 76,46 \text{ ou } x = 17,68 \cdot [-\ln(-\ln(1 - 1/T_r))] + 76,46.$$



O gráfico correspondente a equação  $x = 17,68y + 76,46$  é apresentado na figura 30 onde se nota que a variável  $x$  (mm/dia) foi marcada no eixo vertical e a reduzida ( $y$ ) foi marcada no eixo horizontal.

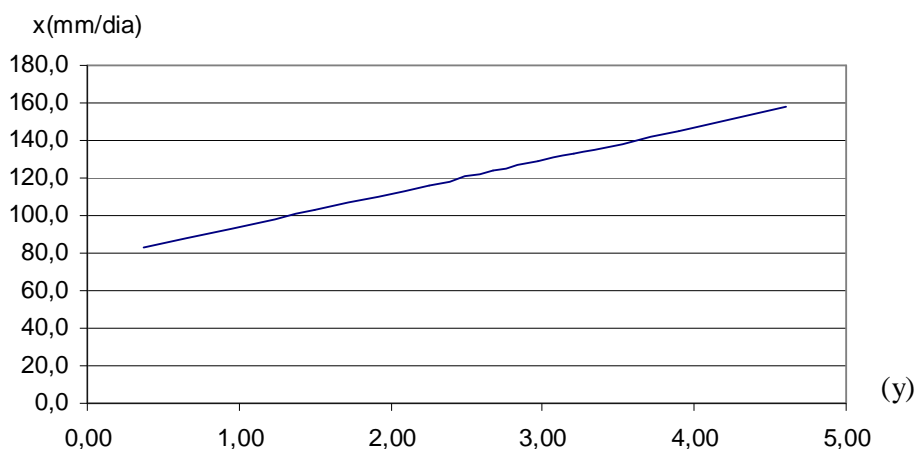


Figura 30: Precipitação Máxima ( $x$ ) em mm/dia de Boa Vista no eixo das ordenadas em função da variável reduzida ( $y$ ) no eixo das abscissas, confirmando o aspecto linear dessa relação segundo estudos de Gumbel (1958).

Com auxílio das equações  $x = 17,68y + 76,46$  e  $x = 17,68 \cdot [-\ln(-\ln(1 - 1/T_r))] + 76,46$  procedeu-se os cálculos de  $x$  para cada valor de  $T_r$ , cujos resultados são apresentados na tabela 16. Os valores em negrito e situados na última coluna constituem a chuva máxima de "1 DIA" para cada período de retorno e constituem os dados de entrada do cálculo de desagregação apresentado a seguir.

Tabela 16: Chuvas máximas de "1 DIA" de Boa Vista - RR para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, calculadas com base em Gumbel (1958).

<b>Tr</b>	<b>1/Tr</b>	<b>1 - 1/Tr</b>	<b><math>-\ln(1 - 1/Tr)</math></b>	<b><math>-\ln(-\ln(1 - 1/Tr))</math></b>	<b>x(mm/dia)</b>
<b>2</b>	0,50	0,50	0,693147	0,366513	<b>82,9</b>
<b>5</b>	0,20	0,80	0,223144	1,499940	<b>103,0</b>
<b>10</b>	0,10	0,90	0,105361	2,250367	<b>116,2</b>
<b>15</b>	0,07	0,93	0,068993	2,673752	<b>123,7</b>
<b>20</b>	0,05	0,95	0,051293	2,970195	<b>129,0</b>
<b>25</b>	0,04	0,96	0,040822	3,198534	<b>133,0</b>
<b>50</b>	0,02	0,98	0,020203	3,901939	<b>145,4</b>
<b>100</b>	0,01	0,99	0,010050	4,600149	<b>157,8</b>

#### 4.1.5 Desagregação da chuva máxima de "1 DIA" em Boa Vista-RR

De posse dos valores de chuva máxima de "1DIA" para cada período de retorno, procedeu-se a sua desagregação multiplicando o valor da chuva máxima de "1DIA" de cada Período de Retorno pelos fatores apresentados na tabela 10.

Assim se chegou aos valores da tabela 17 cuja unidade é mm/DIA de chuva que foi transformada em intensidade de precipitação em mm/h mostrado na tabela 18, apresentada a seguir.

Tabela 17: Desagregação de chuvas máximas de "1DIA" em mm/dia de Boa Vista – RR para os períodos de retornos de 5 a 100 anos e durações selecionados.

DURAÇÃO	PERIODO DE RETORNO EM ANO							
	2	5	10	15	20	25	50	100
"1DIA"	82,9	103,0	116,2	123,7	129,0	133,0	145,4	157,8
24h	94,5	117,4	132,5	141,0	147,1	151,6	165,8	179,9
12h	80,3	99,8	112,6	119,9	125,0	128,9	140,9	152,9
10h	77,5	96,3	108,6	115,6	120,6	124,3	135,9	147,5
8h	73,7	91,6	103,3	110,0	114,7	118,3	129,3	140,3
6h	68,0	84,5	95,4	101,5	105,9	109,2	119,3	129,5
4h	59,5	74,0	83,5	88,8	92,6	95,5	104,4	113,3
2h	49,1	61,1	68,9	73,3	76,5	78,8	86,2	93,5
1h	39,7	49,3	55,6	59,2	61,8	63,7	69,6	75,6
30 min	29,4	36,5	41,2	43,8	45,7	47,1	51,5	55,9
25min	26,7	33,2	37,5	39,9	41,6	42,9	46,9	50,9
20min	23,8	29,6	33,3	35,5	37,0	38,2	41,7	45,3
15min	20,6	25,5	28,8	30,7	32,0	33,0	36,1	39,1
10min	15,9	19,7	22,2	23,7	24,7	25,4	27,8	30,2
5min	10,0	12,4	14,0	14,9	15,5	16,0	17,5	19,0

Como na prática é usual a unidade de mm/h em vez de mm/dia, os elementos da tabela acima foram transformados nessa nova unidade e assim gerando a tabela 16, apresentada a seguir e acompanhada da figura 31 da família de curvas Intensidade-Duração-Freqüência – IDF de chuvas intensas de Boa Vista.

Tabela 18: Desagregação de chuvas máximas de "1DIA" em mm/h de Boa Vista – RR para os períodos de retornos de 5 a 100 anos e durações selecionados.

DURAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO EM ANO							
	2	5	10	15	20	25	50	100
"1DIA"	82,9	103,0	116,2	123,7	129,0	133,0	145,4	157,8
24h	3,9	4,9	5,5	5,9	6,1	6,3	6,9	7,5
12h	6,7	8,3	9,4	10,0	10,4	10,7	11,7	12,7
10h	7,7	9,6	10,9	11,6	12,1	12,4	13,6	14,8
8h	9,2	11,4	12,9	13,7	14,3	14,8	16,2	17,5
6h	11,3	14,1	15,9	16,9	17,6	18,2	19,9	21,6
4h	14,9	18,5	20,9	22,2	23,2	23,9	26,1	28,3
2h	24,6	30,5	34,4	36,7	38,2	39,4	43,1	46,8
1h	39,7	49,3	55,6	59,2	61,8	63,7	69,6	75,6
30 min	58,7	73,0	82,3	87,7	91,4	94,2	103,0	111,8
25min	64,1	79,7	89,9	95,7	99,8	102,9	112,5	122,1
20min	71,4	88,7	100,0	106,5	111,1	114,5	125,2	135,9
15min	82,2	102,2	115,3	122,7	128,0	131,9	144,2	156,5
10min	95,2	118,2	133,4	142,0	148,1	152,7	166,9	181,1
5min	119,8	148,9	168,0	178,8	186,5	192,3	210,2	228,1

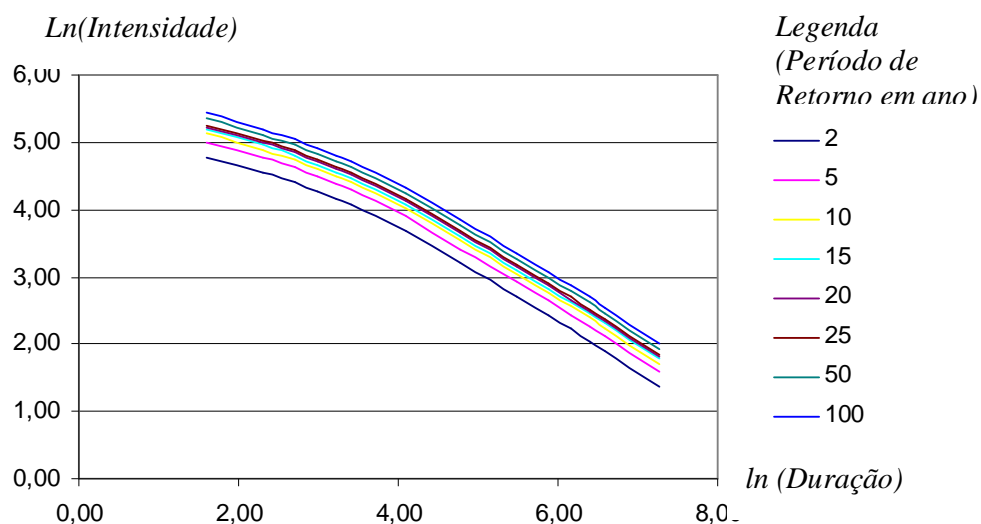


Figura 31: Família de curvas Intensidade-Duração-Frequência - IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR com base nos logaritmos neperianos dos dados da tabela 16 tendo-se no eixo das abscissas o  $\ln$  (logaritmo neperiano) das durações e no eixo das ordenadas o  $\ln$  das intensidades. Cada curva é relativa ao seu período de retorno.

#### 4.1.6 Parâmetros da equação IDF de Boa Vista-RR:

- *Parâmetro b da equação IDF:* Numa primeira aproximação, procedeu-se a marcação dos pontos com os pares de valores  $i_m$  e  $(t+b)$  da tabela 19 para os períodos de retorno de 2 e 100 anos. Com auxílio de régua e curva francesa ajustaram-se esses pontos de modo a se perceber que as duas curvas definidas são paralelas e apresentam leve concavidade para baixo para durações entre 5 e 120 minutos, e trecho reto de 120 até 1440 minutos, conforme figura 31. A técnica prosseguiu na segunda aproximação com dados de  $t$  no máximo 360 minutos e com apenas a curva de  $T_r = 5$  anos.

Nessa segunda aproximação, apenas a curva de período de retorno de 5 anos foi usada para aplicação da técnica da *anamorfose*. Neste caso procederam-se as tentativas para  $b = 10$  e 15 min e se verificou que o valor procurado está entre esses dois valores.

Tabela 19: Durações utilizadas nas últimas tentativas do processo de anamorfose para definição do parâmetro  $b$  da curva IDF de Boa Vista.

$t(\text{min})$	$i(\text{mm/h})$	$t+15$	$t+12$	$t+10$
5	119,8	20	<b>17</b>	15
10	95,2	25	<b>22</b>	20
15	82,2	30	<b>27</b>	25
20	71,4	35	<b>32</b>	30
25	64,1	40	<b>37</b>	35
30	58,7	45	<b>42</b>	40
60	39,7	75	<b>72</b>	70
120	24,6	135	<b>132</b>	130

Na terceira e última aproximação do traçado do gráfico com papel di-log a escala do eixo de  $i_m$  foi ampliada para facilitar a percepção da reta procurada e os dados de  $t$  ficaram entre 5 a 240 minutos, pela concavidade para baixo no seu trecho inicial. O gráfico apresentado na figura 32 tem aspecto linear para  $b = 12$ , escolhido.

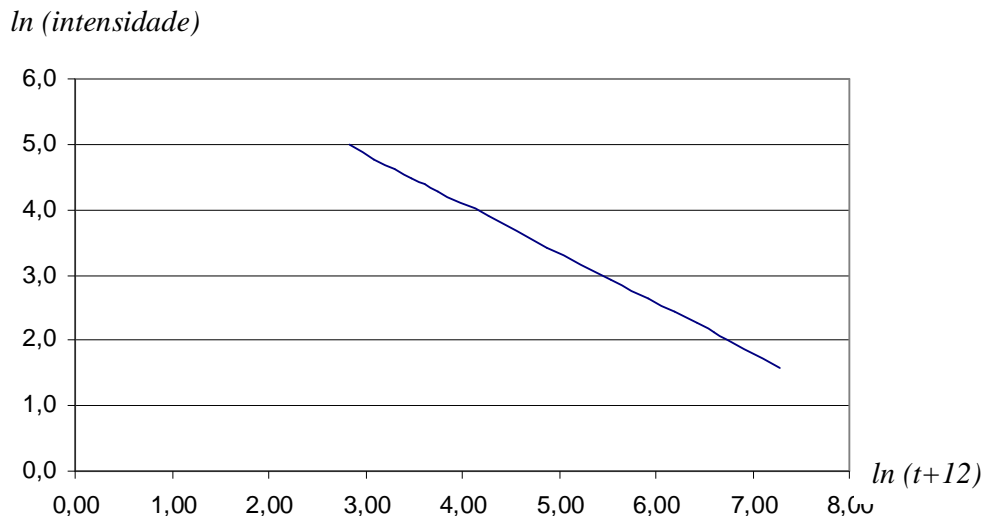


Figura 32: Retas correspondente a curva Intensidade-Duração-Frequência - IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR para período de retorno de 5 anos com base nos logaritmos neperianos dos dados da tabela 19 tendo-se no eixo das abscissas o  $\ln$  das durações + 12 e no eixo das ordenadas o  $\ln$  das intensidades.

- *Parâmetros  $a$ ,  $c$  e  $K$* : Foram calculados inicialmente os parâmetros  $c$  e  $C$  para definição de  $K$  da curva, para os períodos de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, com base nos elementos da chuva desagregada da tabela 17 para  $T_r = 2$  anos e das tabelas similares no Apêndice A para os demais períodos de retorno.

Cabe esclarecer que em todas as tabelas o valor de  $C$  foi calculado por simulação através da planilha eletrônica Excel 2003 nas expressões:  $Y = \log C$  e  $b = Y_m - ax_m$ , para cada período de retorno e durações em minutos variando no intervalo de 5 a 1440 minutos.

Conforme se constata na tabela 20 para o período de retorno de 2 anos, e nas tabelas do Apêndice A para os demais períodos de retorno, o valor do parâmetro  $c$  fica situado bem próximo do valor 0,76 dotado na equação IDF de chuvas intensas de Boa Vista.

Com referência aos valores do parâmetro  $C$  nessas mesmas tabelas percebe-se uma variação de 1.012,28 (tabela 18) até 1.918,55 (última tabela do Apêndice A). Esses valores serviram para nova aproximação pelo método dos mínimos quadrados para estimativa do parâmetro  $K = 951,57$ , mostrado na tabela 21.

Tabela 20: Estimativa por regressão linear de  $c$  da curva IDF de Boa Vista com base na reta  $Y = a'.X + b' + v$ , onde  $a' = -c$  e  $b' = \log C$ , para período de retorno 2 anos.

t (min)	i mm/h	$Y_i$ logi	$Y_i.(x_i - x_m)$	(t+12) (min)	$x_i$ log(t+12)	$x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
1440	3,9	0,5911	0,6380	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	6,7	0,8261	0,6459	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	7,7	0,8865	0,6243	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	9,2	0,9638	0,5873	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	11,3	1,0531	0,5139	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	14,9	1,1732	0,3741	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	24,6	1,3909	0,0529	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	39,7	1,5988	-0,3601	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	58,7	1,7686	-0,8124	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	64,1	1,8069	-0,9294	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	71,4	1,8537	-1,0703	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	82,2	1,9149	-1,2470	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	95,2	1,9786	-1,4645	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	119,8	2,0785	-1,7711	17	1,2304	-0,8521	0,7261
$Y_m =$		1,4203	-4,2184	$x_m =$	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7611		b =	3,005299		
<b>c =</b>		<b>0,7611</b>		<b>C =</b>	<b>1012,28</b>		

Tabela 21: Estimativas por regressão linear de  $a$  e  $K$  da curva IDF de Boa Vista com base na reta  $Y = a'.X + b' + v$ , onde  $a' = a$  e  $b' = \log K$ , para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 anos.

T (ano)	C	$Y_i$ logC	$Y_i.(x_i - x_m)$		$x_i$ logT	$x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
2	1012,3	3,0053	-2,6919		0,3010	-0,8957	0,8023
5	1253,4	3,0981	-1,5422		0,6990	-0,4978	0,2478
10	1412,3	3,1499	-0,6198		1,0000	-0,1968	0,0387
15	1501,4	3,1765	-0,0656		1,1761	-0,0207	0,0004
20	1571,3	3,1963	0,3333		1,3010	0,1043	0,0109
25	1619,7	3,2094	0,6457		1,3979	0,2012	0,0405
50	1768,1	3,2475	1,6309		1,6990	0,5022	0,2522
100	1918,6	3,2830	2,6370		2,0000	0,8032	0,6452
$Y_m =$		3,1707	0,3275	$x_m =$	1,1968	0,0000	2,0380
a =		0,1607		b =	2,978442		
<b>a =</b>		<b>0,1607</b>		<b>K =</b>	<b>951,57</b>		

4.1.7. **Curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista-RR:** Com base no que foi exposto até aqui se conclui que a curva de chuvas intensas para a região de Boa Vista – RR na forma consagrada universalmente de  $i_m = KT^a / (t + b)^c$  é:

$$i_m = 951,57.T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$$

Onde:

$i_m$  = intensidade de precipitação pluviométrica média das máximas, em mm/hora;

$T$  = período de retorno ou de recorrência, em ano;

$t$  = duração da precipitação pluviométrica, em minuto.

4.1.8. **Verificação da coerência da Curva IDF de Boa Vista-RR:** Tendo em vista a importância do uso da curva IDF de Boa Vista – RR nos estudos hidrológicos e no dimensionamento hidráulico de obras urbanas e rurais, procedeu-se a verificação de sua coerência de duas formas. A primeira chamada *coerência interna* consistiu na comparação entre os valores das intensidades de precipitação calculadas pela fórmula acima e os respectivos valores das intensidades que serviram de entrada nos cálculos de desagregação, constantes da tabela 18. Os resultados desses cálculos para período de retorno e duração variáveis foram arranjados na tabela 22 onde se percebe a proximidade dos valores de intensidades de precipitação para as mesmas condições de modo a se poder afirmar com segurança que a coerência necessária foi satisfeita plenamente.

A segunda forma de verificação da coerência da curva IDF de Boa Vista-RR, chamada de *coerência externa*, foi feita através de estudo comparativo de seus resultados com os de curvas IDF consagradas de outras regiões. Nesse sentido foram escolhidas as curvas IDF de chuvas intensas das seguintes capitais: São Paulo-SP; Cuiabá-MT; Goiânia-GO; Belém-PA; Manaus-AM; Rio de Janeiro-RJ e São Luiz-MA. Os parâmetros de referidas curvas IDF foram extraídos de Pruski et al. (2006) e os cálculos foram efetuados com auxílio do software Microsoft Office Excel 2003 e arranjados em tabelas e respectivos gráficos, para cada período de retorno.

Essas tabelas e gráficos foram concebidos de modo a se comparar os valores das intensidades de precipitação de Boa Vista com os daquelas capitais com mesmo período de retorno, conforme apresentado na tabela 23 e figura 33 para o caso de 2 anos. As tabelas e gráficos similares para os demais períodos de retorno são apresentados no Apêndice B deste trabalho e suas análises constataam a verificação da coerência externa.

‘Tabela 22: Intensidades máximas médias de chuva em mm/h estimadas com fator de desagregação e Gumbel comparadas com as estimadas com a equação IDF de Boa Vista-RR para as mesmas condições de duração e período de retorno.

$$i_m = 951,57.T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$$

Intensidade de chuva  $i_m$  em mm/h

Período de Retorno  $T$  em ano

Duração da chuva  $t$  em minuto

Dura- ção (min)	P E R Í O D O D E R E T O R M O																										
	2 ANOS			5 ANOS			10 ANOS			15 ANOS			20 ANOS			25 ANOS			50 ANOS			100 ANOS					
	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM	obs.	est.	ERM			
"1 D"	82,9			103			116			124			129			133			145			158					
1440	3,9	4,2	<b>7,7</b>	4,9	4,9	0,0	5,5	5,4	-1,8	5,9	5,8	-1,7	6,1	6,1	0,0	6,3	6,3	0,0	6,9	7,1	<b>2,9</b>	7,5	7,9	5,3			
720	6,7	7,1	6,0	8,3	8,2	-1,2	9,4	9,2	-2,1	10	9,8	-2,0	10,4	10,3	-1,0	10,7	10,6	-0,9	11,7	11,9	1,7	12,7	13,3	4,7			
600	7,7	8,1	5,2	9,6	9,4	-2,1	10,9	10,5	-3,7	11,6	11,2	-3,4	12,1	11,7	-3,3	12,4	12,2	-1,6	13,6	13,6	0,0	14,8	15,2	2,7			
480	9,2	9,6	4,3	11,4	11,1	-2,6	12,9	12,4	-3,9	13,7	13,2	-3,6	14,3	13,9	-2,8	14,8	14,4	-2,7	16,2	16,1	-0,6	17,5	18	2,9			
360	11,3	11,8	4,4	14,1	13,7	-2,8	15,9	15,3	-3,8	16,9	16,4	-3,0	17,6	17,2	-2,3	18,2	17,8	-2,2	19,9	19,9	0,0	21,6	22,2	2,8			
240	14,9	15,9	6,7	18,5	18,4	-0,5	20,9	20,6	-1,4	22,2	22	-0,9	23,2	23,1	-0,4	23,9	23,9	0,0	26,1	26,7	2,3	28,3	29,9	<b>5,7</b>			
120	24,6	26	5,7	30,5	30,2	-1,0	34,4	33,7	-2,0	36,7	36	-1,9	38,2	37,7	-1,3	39,4	39,1	-0,8	43,1	43,7	1,4	46,8	48,8	4,3			
60	39,7	41,2	3,8	49,3	47,8	-3,0	55,6	53,4	-4,0	59,2	57	-3,7	61,8	59,7	-3,4	63,7	61,6	-3,3	69,6	69,2	-0,6	75,6	77,4	2,4			
30	58,7	62,1	5,8	73	72	-1,4	82,3	80,5	-2,2	87,7	85,9	-2,1	91,4	90	-1,5	94,2	93,3	-1,0	103	104	1,3	112	117	4,3			
25	64,1	68,4	6,7	79,7	79,3	-0,5	89,9	88,6	-1,4	95,7	94,6	-1,1	99,8	99,1	-0,7	103	103	-0,2	113	115	2,1	122	128	5,2			
20	71,4	76,4	7,0	88,7	88,5	-0,2	100	99	-1,0	107	106	-0,8	111	111	-0,4	115	115	0,2	125	128	2,5	136	143	5,5			
15	82,2	86,9	5,7	102	101	-1,5	115	113	-2,3	123	120	-2,0	128	126	-1,6	132	131	-1,1	144	146	1,2	157	163	4,3			
10	95,2	102	6,6	118	118	-0,4	133	132	-1,3	142	141	-1,1	148	147	-0,7	153	153	-0,1	167	171	2,2	181	191	5,2			
5	120	124	3,1	149	143	<b>-3,8</b>	168	160	<b>-4,7</b>	179	171	<b>-4,4</b>	187	179	<b>-4,0</b>	192	186	<b>-3,5</b>	210	207	-1,3	228	232	1,7			

Obs. Nesta tabela os valores desagregados da chuva de “1 DIA” estão nas colunas obs. de “observado” enquanto que os valores estimados com a curva IDF de Boa Vista – RR, acima apresentada, contam da coluna identificada por est.de estimado. Como medida porcentual do erro relativo médio (ERM) foi adotada a relação  $100 \times (i_{est.} - i_{obs.}) / i_{obs.}$ , cujo valor absoluto máximo encontrado foi de 7,7%.



Tabela 23: Intensidades de chuvas intensas das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá -MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ, São Luiz – MA e Boa Vista – RR para Período de Retorno de 2 anos.

$t$ (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	4,8	2,9	4,0	4,5	5,1	3,4	5,8	4,2
720	8,5	5,4	6,8	7,8	8,6	6,7	9,6	7,1
600	9,8	6,3	7,7	9,0	9,9	7,9	11,0	8,1
480	11,8	7,7	9,1	10,7	11,8	9,7	12,8	9,6
360	14,8	9,8	11,3	13,3	14,7	12,5	15,7	11,8
240	20,4	13,8	15,2	18,1	19,9	17,7	20,7	15,9
120	34,2	24,2	24,9	30,1	32,9	30,3	32,4	26,0
60	54,7	40,3	39,4	48,2	52,9	46,9	48,3	41,2
30	81,0	61,9	59,3	72,5	80,4	64,7	67,0	62,1
25	88,4	68,2	65,3	79,7	88,7	69,1	72,0	68,4
20	97,5	76,1	73,0	88,7	99,4	74,1	77,9	76,4
15	109,0	86,1	83,0	100,3	113,4	79,9	85,2	86,9
10	123,9	99,3	97,0	116,1	133,1	86,6	94,3	101,5
5	144,2	117,7	118,0	138,8	162,7	94,6	106,1	123,5

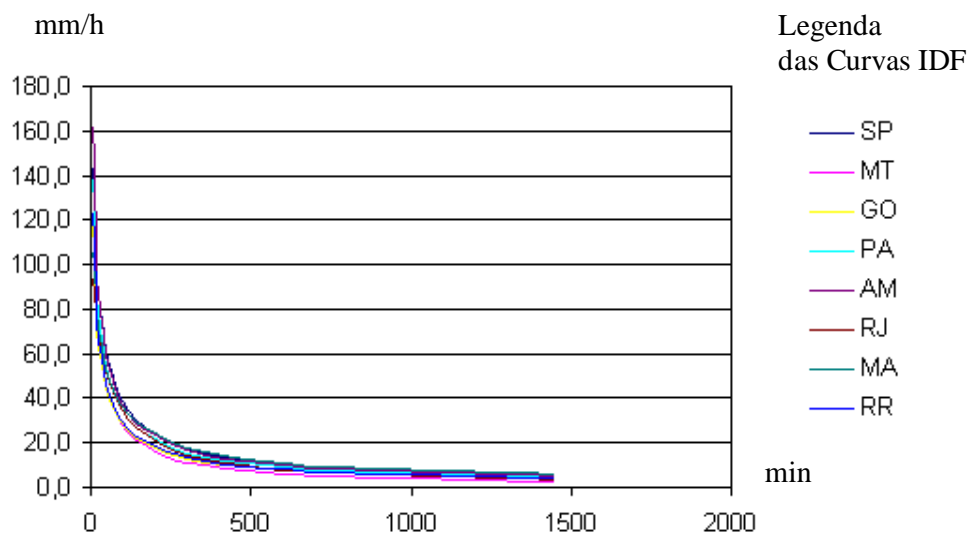


Figura 33: Curvas Intensidade-Duração-Frequência - IDF de chuvas intensas das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá -MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ, São Luiz – MA e Boa Vista – RR para Período de Retorno de 2 anos.

## 4.2 CHUVA EFETIVA: IGARAPÉ MURUPU

Neste item, serão apresentados os procedimentos de cálculo das precipitações efetivas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, na bacia do igarapé Murupu, com base no método do hidrograma unitário triangular, recomendado pelo *Soil Conservation Service – SCS*.

4.2.1 **Formulário:** Além da fórmula da curva IDF de Boa Vista serão utilizadas aquelas recomendadas nos modelos do *Soil Conservaton Service - SCS*, inseridas na tabela 27.

- *Equação IDF das chuvas intensas de Boa Vista-RR:* O insumo básico para geração da chuva efetiva é a precipitação máxima, calculada pela seguinte fórmula:

$$i_m = 951,57.T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$$

Onde:

$i_m$  = chuva média máxima, em mm/h;

$t$  = tempo de duração da precipitação, em minuto;

$T$  = Período de Retorno ou de Recorrência, em ano.

- *Potencial de Retenção:* O potencial máximo de retenção (**S**) definido pela fórmula:

$$S = (25.400/CN) - 254$$

Onde:

$S$  = potencial máximo de retenção do solo, em mm;

- *CN (Curve Number):* Este parâmetro dependente do tipo de solo que no caso presente foi de 55,70, calculado como média ponderada dos diversos tipos de solo já mostrados na figura 22, onde as áreas parciais funcionaram como peso, conforme mostrado na tabela 24.

Tabela 24:  $CN_{med}$  como média ponderada dos  $CN$  dos solos da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.

SOLO	LAd1	LAV1	LVA1	LVA3	RLd	RQg1	RQg2	TOTAL
CLASSE	A	A	A	A	D	B	B	
USO	P.Nativo	P.Nativo	P.Nativo	P.Nativo	P.Nativo	P.Nativo	P.Nativo	
CN	49	49	49	49	84	69	69	
ÁREA(km <sup>2</sup> )	299,20	20,90	124,02	88,22	8,52	217,84	31,92	790,62
CN.A	14660,80	1024,10	6076,98	4322,78	715,68	15030,96	2202,48	44033,78
$CN_{med}$								<b>55,70</b>

Na tabela 24 a linha SOLO estão as siglas dos tipos de solo apresentados no item *Solo* deste trabalho; na linha CLASSE as letras A, B, e D constam da tabela 23 específica dos solos

do Estado de São Paulo, na linha USO foram considerados todos iguais para a condição de Pasto Nativo, na linha CN contam os parâmetros obtidos da tabela 24, para a condição AMCII, combinando a coluna CLASSE (A, B e D) com a linha uso do solo (pastagem nativa).

Tabela 25: Enquadramento das atuais classes gerais de solo do Estado de São Paulo nos grupos hidrológicos do solo conforme Sartori (2004)

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Classes Gerais de Solo</b>
<b>A</b>	LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso;
<b>B</b>	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
<b>C</b>	ARGISSOLOS pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura e CAMBISSOLO HÁPLICICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
<b>D</b>	NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTO DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Tabela 26: Número da curva de escoamento superficial para usos agrícolas ( $I_a = 0,2S$ ), condição AMCII de umidade antecedente e condição hidrológica superficial média conforme Sartori (2004).

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos			
Uso	Tratamento ou manejo do solo	A	B	C	D
Solo Exposto		83	86	91	94
	Terra arada +SRC	81	85	90	93
	RCS	75	83	88	90
Culturas Anuais (Ca)	N* + SRC	77	84	89	91
	N* + RCI	72	80	85	88
	N* + RCSI	66	74	80	82
	N* + RCS	63	70	77	80
Culturas Temporárias Ct)	N*	65	75	81	83
	N* + RCS	61	71	78	81
Culturas Perenes (Cp)	N*	43	65	76	82
	N* + RCS	42	58	72	79
Pastagem	Degradada	68	79	86	89
	Nativa	49	69	79	84
	Melhorada	39	61	74	80
Reflorestamento	N*	45	66	77	83
	N* + RCS	35	55	70	77
Vegetação Natural	Capoeira	30	48	65	73
	Mata	20	40	49	52
		59	74	82	86
		72	82	87	89
	Estradas e construções rurais < 50% impermeável	59	74	82	86
	Estradas e construções rurais > 50% impermeável	72	82	87	89

Legenda:

N\*: Plantio em nível ou contorno;

Ca: Culturas anuais (plantio e colheita anual). Exemplo: milho, soja, etc.;

Ct: Culturas temporárias (plantio a cada 3 ou mais anos). Exemplo: cana-de-açúcar;

Cp: Culturas perenes. Exemplo: pomar, café;

SRC: Sem resíduo cultural;

RCI: Resíduo cultural incorporado < 2t/ha;

RCSI: Resíduo cultural semi-incorporado 2 a 4 t/ha;

RCS: Resíduo cultural na superfície > 5t/ha;

Pastagem:

*Degradada*: presença de compactação superficial, utilização de queimadas, e até 25% da área sem vegetação, mesmo no período chuvoso;

*Nativa*: Pasto natural sendo feito controle de manejo de animais e limpezas esporádicas;

*Melhorada*: Correção de acidez e fertilização, plantio de gramas e gramíneas adaptadas, manejo de animais.

- *Chuva total*: A chuva total ( $P_e$ ), em mm é calculada pelas expressões do SCS:

$$P_e = (P - 0,2.S)^2 / (P + 0,8.S) \leftrightarrow P > 0,2.S$$

$$P_e = 0 \leftrightarrow P \leq 0,2.S$$

Onde:

$P_e$  = Chuva total, em mm;

$P$  = Chuva acumulada, em mm;

$S$  = potencial máximo de retenção do solo, em mm;

- *Tempo de concentração*: O tempo de concentração ( $t_c$ ) foi estimado com base na fórmula de Kirpich, com seu coeficiente para resposta em hora, conforme se segue.

$$t_c = 0,95.(L^2/S')^{0,385}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em hora;

$L$  = comprimento do talvegue, no caso em questão 55,721km;

$S'$  = declividade do talvegue, em m/km, no caso 1,31, em m/km, com base na diferença de 73,00m entre as cotas de nível (158,00 – 85,00) e  $L = 55,721$ km;

- *Duração Unitária*: Conforme definição do hidrograma unitário do SCS este parâmetro é calculado pela expressão:

$$D = 0,133.t_c$$

Onde:

$D$  = Duração Unitária, em hora;

$t_c$  = tempo de concentração, em hora

- *Tempo de Pico*: Também conforme SCS sua expressão de cálculo é:

$$t_p = (2/3).t_c$$

Onde:

$t_p$  = tempo de pico, em hora;

$t_c$  = tempo de concentração, em hora

- *Tempo de Recessão*: Calculado pela expressão do SCS com fator de decaimento de 1,67, ou seja:

$$t_r = 1,67.t_p$$

Onde:

$t_r$  = tempo de recessão, em hora;

$t_p$  = tempo de pico, em hora.

- *Tempo Base*: Calculado pela expressão do SCS, ou seja:

$$t_b = t_p + t_r$$

Onde:

$t_b$  = tempo base, em hora;

$t_p$  = tempo de pico, em hora;

$t_r$  = tempo de recessão, em hora.

- *Descarga de Pico*: Calculada pela expressão:

$$q_p = (0,1291.A)/t_p$$

Onde:

$q_p$  = descarga de pico, em m<sup>3</sup>/s/mm

O coeficiente 0,1291 foi utilizado em função da topografia plana da bacia do igarapé Murupu e da umidade mm usada para chuva, em vez de cm da fórmula original;

$A$  = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$t_p$  = tempo de pico, em hora;

4.2.2 *Dados de entrada*: Os dados de entrada em cada tabela de cálculo da chuva efetiva da bacia do igarapé Murupu são os seguintes:

- *Tempo de Recorrência ou Período de Retorno (T)*, variando de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos;
- *Área de drenagem (A)* de 790,63km<sup>2</sup>;
- *Comprimento do Talvegue (L)* de 55,721km, fazendo-se notar que este talvegue foi escolhido pelo seu maior comprimento que segue o dreno do afluente Jacitara, além de maior diferencial de cotas de nível;
- *Desnível Nascente/Exutório ( $\Delta H$ )* de 73,00m, calculado pela diferença entre 158,00m e 85,00m, cotas máxima e mínima do talvegue escolhido;
- *Declividade* de 1,31 m/km, calculada pela relação entre o desnível de 73,00m e comprimento de 55,721km, acima apresentados;
- *Curve Number (CN)* de 55,70 que é a média ponderada dos valores encontrados para os tipos de solo e respectivos usos, conforme mostrado na tabela 24;
- *Tempo de concentração ( $t_c$ )* de 18,92 horas calculado pela fórmula de Kirpich;
- *Duração Unitária Calculada ( $D_c$ )* de 2,52 horas;
- *Duração Unitária Adotada (D)* de 2,50horas;

- *Tempo de Pico* ( $t_p$ ) de 12,62 horas;
- *Fator de decaimento* ( $X$ ) de 1,67 conforme recomendação do próprio modelo do SCS;
- *Tempo de Recessão* ( $t_r$ ) de 21,07 horas;
- *Tempo Base* ( $t_b$ ) de 33,68 horas;
- *Vazão de Pico do HUT* ( $q_p$ ) de 8,09 m<sup>3</sup>/s/mm;
- *Coefficiente de Redução* ( $\alpha$ ) de 0,65, valor mínimo do intervalo de 0,65 a 0,88 que reflete pesquisa internacional comentada por Marcellini (1988);
- *Potencial Máximo de Retenção* ( $S$ ) de 202,0mm, calculado pela fórmula recomendada pelo SCS.
- *Potencial Máximo de Retenção (0,2.S)* de 40,4mm, calculado com fator 0,2 recomendado pelo SCS.

4.2.3 **Chuva Efetiva:** Considerando que foram desenvolvidas 8 (oito) tabelas para o cálculo da chuva efetiva, uma para cada período de retorno e considerando ainda que a rotina de cálculo seja a mesma para todas elas, serão tomados como exemplo apenas os cálculos da tabela 27 que se refere ao período de retorno de 2 anos. As tabelas para os demais períodos de retorno e que contém apenas os resultados (sem formulário e dados de entrada) se encontram no Apêndice B, deste trabalho. Para maior facilidade de compreensão a exposição seguirá a seqüência das 10 (dez) colunas da tabela em questão.

- Coluna de  $i$  se refere ao seqüencial dos eventos apresentados nas colunas subseqüentes, tendo-se o cuidado de se começar com zero;
- Coluna de  $t$  tem seus elementos calculados cumulativamente, também se partindo de zero e tendo-se como intervalo a duração unitária de 2,50 horas e como limite superior um valor próximo do tempo de concentração. Como o tempo de concentração calculado é de 18,92 horas, adotou-se esse valor limite em 20,0 horas;
- Coluna de  $i_m$  tem seus elementos calculados com base na equação de IDF de chuvas intensas de Boa Vista definida neste trabalho de pesquisa, levando-se em conta a duração da chuva ( $t$ ) e do tempo de retorno ( $T$ ), no exemplo explicativo  $t$  possui os valores: 0,0; 2,5; 5,0; ...; 20,0 horas e  $T = 2$  anos;
- Coluna de  $P_{it}$  tem seus elementos calculados pelo produto dos elementos das duas colunas anteriores, ou seja:  $P_{it} = i_m \cdot t$ ;
- Coluna  $P_{red}$  tem seus elementos iguais aos da coluna anterior vezes o fator de redução espacial 0,65;

- Coluna **DP** tem seus elementos compostos pela diferença entre os elementos sequenciais da coluna anterior. Assim sendo temos  $62,7 - 60,7 = 2,0$  e assim sucessivamente;
- Coluna **DP<sub>ord</sub>** tem os mesmos elementos da coluna anterior porém arrumados na seqüência dos blocos alternados da seguinte forma: coloca-se o seu valor máximo 36,2mm na posição mais próxima do tempo de pico de 12,62 horas que é de  $t = 12,5$  horas. Prossegue na arrumação, dentro da seqüência decrescente com o segundo elemento 7,8mm na posição imediatamente abaixo de 36,2mm; com o terceiro elemento 5,0mm imediatamente acima de 36,2mm, prosseguindo-se nessa cadência alternada até os últimos elementos. Chama-se atenção de que não havendo simetria nessa distribuição a seqüência final segue para um único sentido. No exemplo em questão a partir de 2,3mm é forçoso se colocar 2,0mm ao seu lado para cima, pois a seqüência para baixo se encerrara com 2,6mm;
- Coluna **P** tem seus elementos formados pela acumulação dos elementos da coluna anterior. Assim temos  $2,0 = 2,0 + 0,0$ ;  $4,3 = 2,0 + 2,3$ ;  $7,4 = 3,1 + 2,3$  e assim sucessivamente até se chegar ao seu último elemento 62,8mm;
- Coluna **P<sub>e</sub>** tem seus elementos calculados pelas expressões:

$$Pe = (P - 0,2.S)^2 / (P + 0,8.S) \leftrightarrow P > 0,2.S$$

$$Pe = 0 \leftrightarrow P \leq 0,2.S$$

No caso em questão temos os valores de  $P$  na coluna anterior e os valores já calculados de  $S = 202,0\text{mm}$  e por consequência  $0,2S = 40,4\text{mm}$ . Assim sendo temos os valores nulos para  $Pe$  nas posições onde  $P \leq 40,4\text{mm}$ , e nas posições seguintes os valores de 0,3; 1,2; 1,8; 2,2mm, calculados pela primeira das duas expressões acima.

- Coluna **D<sub>pe</sub>** tem seus elementos formados pela diferença dos elementos da coluna anterior.

Esses elementos são dados de entrada para as estimativas das vazões de projeto.

Conforme já foi explicado no início deste item para melhor compreensão é apresentada a seguir tabela 27 referente a chuva efetiva para período de retorno de 2 anos com todos os seus elementos de entrada, fórmulas e chuva efetiva para cada duração unitária. Para os demais períodos de retorno as tabelas semelhantes, porém sem os elementos de entrada e formulário são apresentadas no Apêndice C deste trabalho.



Tabela 27: Chuva Efetiva conforme Hidrograma Unitário Triangular do *Soil Conservation Service* (HUT – SCS),  $T_r = 2$  anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central do Estado de Roraima.

VARIÁVEL	UNID.	SIMB.	VALOR
Tempo de Recorrência	ano	$T$	2
Área de Drenagem	km <sup>2</sup>	$A$	790,63
Comprimento Talvegue	km	$L$	55,721
Desnível Nasc./Exut.	m	$H$	73,00
Declividade	m/km	$S'$	1,31
Curve Number	%		55,70
Tempo de concentração	h	$t_c$	18,92
Duração Unit. Calculada	h	$D_c$	2,52
Duração Unit. Adotada	h	$D$	2,50
Tempo de pico	h	$t_p$	12,62
Fator de decaimento	unid	$X$	1,67
Tempo de recessão	h	$t_r$	21,07
Tempo base	h	$t_b$	33,68
Vazão de Pico HUT	m <sup>3</sup> /s/mm	$q_p$	8,09
Coefficiente de redução	unid	$a$	0,65
Potencial Max. Ret.	mm	$S$	202,0
Cond. Limite do SCS para $I_a$	mm	$0,2.S$	40,4

Equação da Curva IDF de chuvas intensas de Boa vista-RR

$$i_m = 951,57T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$$

$i_m$  em mm/h;  $T$  em ano e  $t$  em minuto

---

Potencial Máximo de Retenção (S), em mm (SCS)

$$S = (25.400/CN) - 254$$

CN Tabelado (uso, cobertura e tipo de solo)

---

Chuva Total (Pe), em mm (SCS)

$$Pe = (P - 0,2.S) / (P + 0,8.S) \leftrightarrow P > 0,2.S$$

$$Pe = 0 \leftrightarrow P \leq 0,2.S$$


---

Tempo (tc) de Concentração, em hora:

(Kirpich):  $t_c = 0,95.(L^2/S')^{0,385}$

Duração Unitária:  $D = 0,133.t_c$

Tempo de Pico:  $t_p = (2/3).t_c$

Tempo de Recessão:  $t_r = 1,67.t_p$

Tempo Base:  $t_b = t_p + t_r$

Descarga de Pico:  $q_p = (0,1291.A)/t_p$

$i$ (n)	$t$ (h)	$i_m$ (mm/h)	$P_{it}$ (mm)	$P_{red}$ (mm)	$DP$ (mm)	$DP_{ord}$ (mm)	$P$ (mm)	$Pe$ (mm)	$D_{pe}$ (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	22,3	55,7	36,2	36,2	2,0	2,0	0,0	0,0
2	5,0	13,5	67,7	44,0	7,8	2,3	4,3	0,0	0,0
3	7,5	10,0	75,3	49,0	5,0	3,1	7,4	0,0	0,0
4	10,0	8,1	81,1	52,7	3,8	5,0	12,4	0,0	0,0
5	12,5	6,9	85,8	55,8	3,1	36,2	48,6	0,3	0,3
6	15,0	6,0	89,8	58,4	2,6	7,8	56,4	1,2	0,9
7	17,5	5,3	93,3	60,7	2,3	3,8	60,2	1,8	0,6
8	20,0	4,8	96,5	62,7	2,0	2,6	62,8	2,2	0,5

#### 4.3 VAZÃO DE PROJETO: IGARAPÉ MURUPU

Definidas as parcelas da chuva efetiva ( $D_{pe}$ ) para cada intervalo unitário padrão  $D = 2,50$  horas que aparecem na última coluna da tabela 27 estimam-se as vazões de projeto conforme mostrado a seguir.

Seguindo a mesma cadência da apresentação do item CHUVA EFETIVA: IGARAPÉ MURUPU, são apresentados a seguir os formulários, os dados de entrada e as tabelas de cálculo das vazões de projeto, completados com as respectivas figuras.

4.3.1 **Formulário:** Considerando que o hidrograma utilizado foi o HUT – SCS, apresenta-se a seguir a figura 34 que ilustra o aspecto gráfico bem como alguns cálculos de explicação para o caso de  $T_r = 2$  anos.

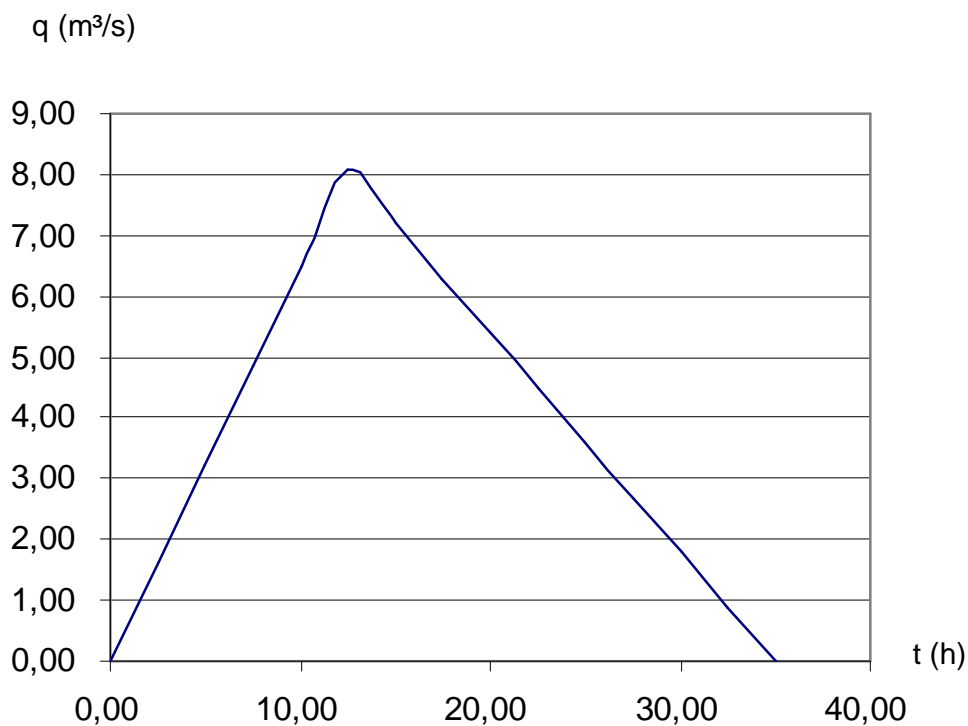


Figura 34: Hidrograma Unitário Triangular do *Soil Conservation Service* – SCS para  $T_r = 2$  anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.

O hidrograma apresentado na figura 35 acima tem as seguintes características:

- Altura equivalente a  $q_p = 8,09 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$ , valor calculado na planilha de chuva efetiva;
- Tempo de Pico  $t_p = 12,5$  horas por ser múltiplo de  $D = 2,50$  horas, em vez de 12,62 horas calculado no hietograma;
- Tempo de Base  $t_b = 35,0$  horas, múltiplo de  $D = 2,50$ , valor mais próximo de 33,68 horas calculado;
- Por conseqüência o valor de  $t_r$  fica em  $22,5 = (35,0 - 12,5)$  horas em vez de 21,07 calculado;
- Cada hidrograma unitário parcial, correspondente a uma coluna da tabela do hidrograma final, é calculado na proporção do seu hidrograma unitário triangular da forma mostrada na figura 34 acima, com uso do fator multiplicador  $D_{pe}$ . Como exemplo partindo-se de  $D_{pe}$

= 0,3mm que na proporção de 8,09 m<sup>3</sup>/s/mm gera o valor de 2,43 m<sup>3</sup>/s = 0,3mm x 8,09 m<sup>3</sup>/s/mm;

- A partir desse novo valor de pico calculam-se as diversas ordenadas proporcionais da seguinte forma: a) no ramo ascendente parte-se do valor 2,43 e se subtrai sucessivamente o gradiente  $2,43/5 = 0,49$  obtendo-se:  $2,43 - 0,49 = 1,94$ ,  $1,94 - 0,49 = 1,46$ ,  $1,46 - 0,49 = 0,97$ .  $0,97 - 0,49 = 0,49$  e finalmente  $0,49 - 0,49 = 0,00$ ; b) no ramo descendente do mesmo modo, porém com o gradiente  $2,43/9 = 0,27$  obtendo-se  $2,43 - 0,27 = 2,16$ ,  $2,16 - 0,27 = 1,89$ ,  $1,89 - 0,27 = 1,62$ ,  $1,62 - 0,27 = 1,35$ ,  $1,35 - 0,27 = 1,08$ ,  $1,08 - 0,27 = 0,81$ ,  $0,81 - 0,27 = 0,54$ ,  $0,54 - 0,27 = 0,27$ .  $0,27 - 0,27 = 0,00$ . Note-se que os extremos do hidrograma tendem a zero.

4.3.2 **Dados de entrada:** Os dados de entrada para o cálculo das vazões parciais são os seguintes:

- A chuva efetiva constante da última coluna identificada pela sigla  $D_{pe}$  da tabela 27 que para o caso de  $T_r = 2$  anos tem-se os seguintes valores para  $D_{pe}$ : 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,3; 0,9; 0,6; 0,5;
- Quantidade de hidrogramas unitários parciais, correspondente ao número de elementos constantes da primeira coluna ( $i$ ) da tabela de chuva efetiva. No presente caso são 8 (oito). Como regra prática: o número de colunas da tabela de vazão de projeto corresponde ao número de linhas da tabela de chuva efetiva. Quando  $D_{pe}$  apresenta valor nulo os elementos da coluna da tabela do hidrograma se anulam com disposições defasadas de  $D$ ;
- Tempo de Recorrência ou Período de Retorno  $T_r$ , em anos;
- Duração Unitária Adotada  $D = 2,50$  horas;
- Vazão de Pico do HUT  $q_p = 8,09$  m<sup>3</sup>/s/mm;
- Tempo de Pico  $t_p = 12,62$  horas que, por conveniência de cálculo foi aproximado para 12,5 horas por ser múltiplo de  $D = 2,50$  horas;
- Tempo de Base  $t_b = 35,0$  horas, sendo múltiplo de  $D = 2,50$  horas e mais próximo de 33,68 horas calculado;
- Por conseqüência o valor de  $t_r$  fica em 22,5 ( $35,0 - 12,5$ ) horas em vez de 21,07 calculado.

4.3.3 **Vazão de Projeto:** As tabelas das Vazões de Projeto foram desenvolvidas com base nos elementos apresentados acima. Para facilitar seu entendimento apresenta-se o exemplo da tabela 28 para  $T_r = 2$  anos, descrito em termos de suas colunas.

- Primeira coluna (i) corresponde ao número sequencial partindo de zero até a linha correspondente ao último elemento da última coluna que fica defasada de  $7 = (8-1) D$ , portanto essa coluna chega até a casa dos 21;
- Segunda coluna  $t_i$  (h), também vai até a casa dos 21 com seus elementos múltiplos de  $D = 2,50$  horas, de 0,0 a 52,5 horas;
- Terceira coluna ( $m^3/s$ ) corresponde às ordenadas do hidrograma unitário triangular com os seguintes parâmetros:  $q_p = 8,09 \text{ m}^3/s/mm$ ; tempo de pico  $t_p = 12,5$  horas; tempo de recessão  $t_r$  de 22,5 horas; tempo de base  $t_b = 35,0$  horas. Partindo-se do valor de pico  $8,09 \text{ m}^3/s/mm$  chega-se aos valores desta coluna pelo uso das proporções:  $8,09/5 = 1,62$  para o ramos ascendente e  $8,09/9 = 0,90$  para o ramos descendente do HUT;
- Quarta, Quinta, Sexta e Sétima colunas, respectivamente identificadas por (1), (2), (3) e (4), contém todos os seus elementos nulos porque  $D_{pe}$  é nulo;
- Oitava, nona, décima e décima primeira colunas são preenchidas com elementos calculados na proporção dos valores de  $q$  ( $m^2/s/mm$ ) do hidrograma unitário triangular (HUT) que aparece na terceira coluna, para cada caso de acréscimo de chuva efetiva que aparece na coluna ( $D_{pe}$ ) da tabela de chuva efetiva;
- Décima segunda coluna  $Q_i$  ( $m^3/s$ ) resulta da somatória dos elementos de cada uma das oito colunas anteriores;
- Décima terceira coluna  $D_{pe}$  (mm) corresponde aos acréscimos parciais da chuva efetiva correspondente a duração unitária (D) da tabela de chuva efetiva. Esta coluna foi introduzida nesta tabela para facilitar o entendimento e a posição de seus elementos não tem relação com as posições dos elementos das demais colunas;
- Na tabela 28 constam ainda em destaque a vazão de pico de  $16,45 \text{ m}^3/s$  e a descarga específica de  $0,21 \text{ m}^3/s/km^2$  sendo este último parâmetro balizador na sua comparação como os similares de outras bacia hidrográficas estudadas.

Para cada tabela de Vazão de Projeto há um Hidrograma de Projeto correspondente semelhante ao da figura 35 para o período de retorno de 2 anos. No Apêndice D, encontram-se as demais tabelas e gráficos correspondentes aos demais períodos de retorno.

Para visão de conjunto são apresentadas na tabela 29 as vazões de projeto e na figura 36 os respectivos hidrogramas de projeto da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, estimados com base no modelo do *Soil Conservation Service – SCS* para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

Tabela 28: Vazão de Projeto da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu,  $A = 790,6253 \text{ km}^2$  e  $Tr = 2$  anos, na região central do Estado de Roraima.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,3
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00			0,49	0,9
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	1,46	0,00		2,43	0,6
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46	2,92	0,97	0,00	5,35	0,5
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	4,37	1,94	0,81	9,07	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	2,43	5,83	2,92	1,62	12,80	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	7,28	3,89	2,43	15,76	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	1,89	6,47	4,85	3,24	16,45	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	5,66	4,31	4,05	15,64	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	4,85	3,77	3,60	13,57	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	4,04	3,23	3,15	11,50	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	0,81	3,24	2,69	2,70	9,44	
16	40,0				0,00	0,00	0,54	2,43	2,16	2,25	7,38	
17	42,5					0,00	0,27	1,62	1,62	1,80	5,31	
18	45,0						0,00	0,81	1,08	1,35	3,24	
19	47,5							0,00	0,54	0,90	1,44	
20	50,0								0,00	0,36	0,36	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma** (m<sup>3</sup>/s) **16,45**

**Descarga específica** (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) **0,21**

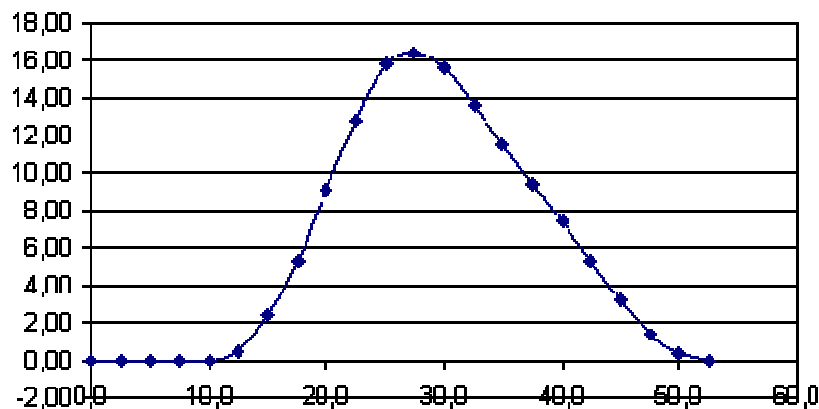


Figura 35: Hidrograma de Projeto do *Soil Conservation Service – SCS* para  $T_r = 2$  anos da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.

Tabela 29: Vazões de Projeto da bacia hidrográfica do Igarapé Murupu,  $A = 790,6253 \text{ km}^2$ ,  $T_r = 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100$  anos, na região central do Estado de Roraima.

$t_i(\text{h})$	$Q_2 (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_5 (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{10} (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{15} (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{20} (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{25} (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{50} (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{100} (\text{m}^3/\text{s})$
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5	0,49	1,94	3,73	5,02	6,32	7,29	11,18	16,52
15,0	2,43	6,48	11,18	14,58	17,66	20,09	29,65	42,44
17,5	5,35	12,64	20,74	26,73	31,91	35,96	52,16	73,39
20,0	9,07	19,93	31,91	40,82	48,28	54,11	77,60	108,05
22,5	12,80	27,20	43,07	54,89	64,60	72,21	102,96	142,62
25,0	15,76	31,45	48,43	61,14	71,10	78,98	110,96	151,53
27,5	16,45	31,68	48,00	60,35	68,81	77,19	107,65	145,84
30,0	15,64	29,34	44,30	55,53	63,98	70,63	98,03	132,36
32,5	13,57	25,34	38,09	47,70	54,89	60,55	83,90	113,10
35,0	11,50	21,30	31,90	39,90	45,84	50,51	69,84	93,94
37,5	9,44	17,26	25,72	32,10	36,78	40,47	55,76	74,74
40,0	7,38	13,22	19,52	24,29	27,71	30,41	41,65	55,51
42,5	5,31	9,18	13,32	16,47	18,63	20,34	27,54	36,27
45,0	3,24	5,13	7,11	8,64	9,54	10,26	13,41	17,01
47,5	1,44	2,16	2,97	3,60	3,96	4,23	5,49	6,93
50,0	0,36	0,50	0,72	0,87	0,84	1,01	1,30	1,66
52,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

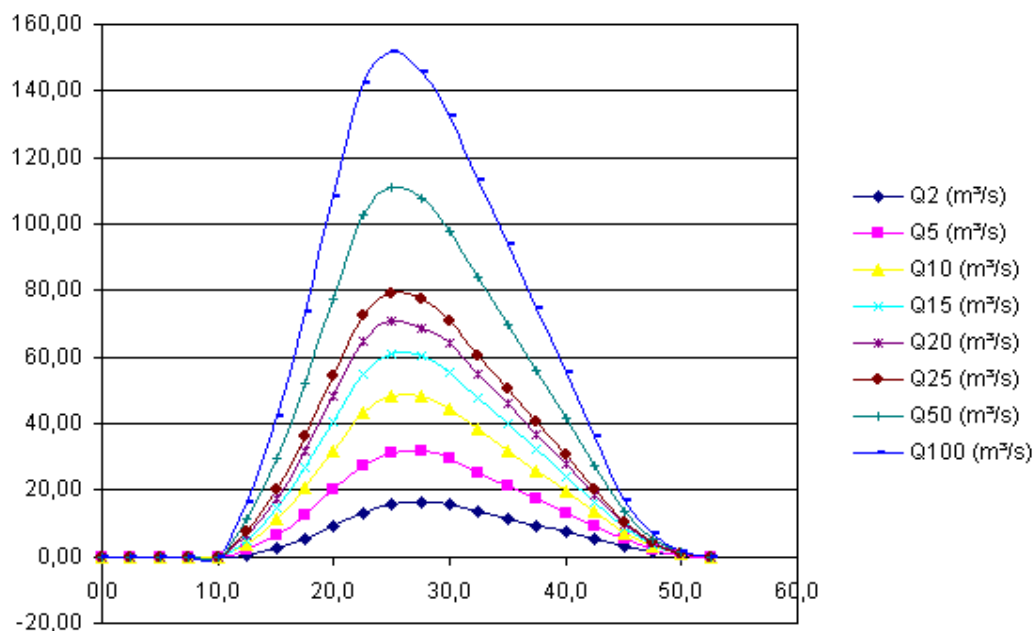


Figura 36: Hidrogramas de Projeto do *Soil Conservation Service – SCS* para  $T_r = 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100$  anos da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, na região central de do Estado de Roraima.

4.3.4. **Verificação da coerência da Chuva Efetiva e Vazão de Projeto:** Os resultados das aplicações dos modelos do *Soil Conservation Service – SCS* nas estimativas da chuva efetiva e vazão de projeto da bacia hidrográfica do igarapé Murupu não foram verificadas com suas respectivas medições de campo, além de refletirem limitações quanto aos seguintes parâmetros:

- O tempo de concentração ( $t_c$ ) da bacia do igarapé Murupu, apesar de ter sido calculado pela fórmula de autoria de Kirpich, consagrada internacionalmente, caberia uma verificação de campo. Além disso, a bacia hidrográfica do igarapé Murupu apresenta uma singularidade em sua rede de drenagem onde a vertente de seu tributário Jacitara tem sua nascente mais afastada que a do curso principal. Neste trabalho optou-se pela nascente do Jacitara pela sua maior distância e pela maior diferença de nível. O valor da duração unitária adotada de 2,50 horas, calculado em função do parâmetro  $D = 0,1333$ .  $t_c$ , está aquém do intervalo (6 – 12) horas proposto por Sherman para bacias com área entre 260 a 2.600 km<sup>2</sup>, reforçando a necessidade daquela verificação de campo;
- No cálculo da vazão de pico pela expressão  $q_p = (0,1291.A)/t_p$ , o fator 0,1291 foi escolhido tendo em vista a forma plana da bacia do igarapé Murupu pois segundo Sartori (2004) esse fator pode ser de 0,3125 para relevo acidentado e 0,2083 para relevo médio. Somente a experiência de campo poderia definir com precisão esse fator;
- O coeficiente de redução espacial da ação da chuva intensa ( $\alpha=0,65$ ) escolhido para o cálculo da chuva efetiva pelo método do hidrograma unitário triangular do *Soil Conservation Service – SCS* é o valor mínimo do intervalo (0,65 – 0,88) segundo experiência internacional comentada por Marcellini (1988);
- No formulário do Soil Conservation Service – SCS aparece o termo  $0,2.S$ , equivalente a perda inicial  $I_a$ , onde  $S$  é o potencial máximo de retenção, em mm e 0,2 é o fator recomendado pelo SCS que segundo Sartori (2004) varia no intervalo (0,0 – 0,3) sendo portanto 0,2 a média recomendada pelo SCS;
- O Curve Number ( $CN$ ) é o parâmetro mais importante na definição do potencial máximo de retenção ( $S$ ) e da chuva efetiva  $D_{pe}$ , elemento de entrada no cálculo do hidrograma de projeto. Graças à pesquisa de solo efetuada para o Plano Diretor de Boa Vista foi possível fazer uma boa aproximação no cálculo da média ponderada do valor de  $CN$  para a bacia do igarapé Murupu.

#### 4.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR, obtida neste trabalho com a metodologia da desagregação é a seguinte:

$$i_m = 951,57.T^{0,161} / (t + 12)^{0,76}$$

Onde:

$i_m$  = intensidade de precipitação pluviométrica média das máximas, em mm/hora;

$T$  = período de retorno ou de recorrência, em ano;

$t$  = duração da precipitação pluviométrica, em minuto.

Os valores de intensidades de chuva, calculados com essa curva IDF de chuvas intensas quando comparados com os da série histórica original apresentaram desvio máximo de 7,7% e com os obtidos com as fórmulas de sete capitais brasileiras não apresentaram discrepâncias significativas, sendo, portanto recomendável a sua aplicação nos estudos hidrológicos e dimensionamento de obras hidráulicas e de controle de erosão do solo na região de Boa Vista – RR.

Pela disponibilidade de apenas dados pluviométricos, a definição da curva IDF de chuvas intensas de Boa Vista – RR só é possível com o uso de metodologias da hidrologia sintética como a da desagregação de chuva de “1 DIA”;

O atual uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do igarapé Murupu tem como destaque o florestamento de parte suas cabeceiras (Projeto OVA) e o assentamento de parte das 800 famílias de agricultores (PA Nova Amazônia);

O princípio do uso da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, preconizado pela Lei das Águas, não se faz presente na bacia do igarapé Murupu;

As dimensões básicas da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, definidas neste trabalho, são as seguintes:

Área = 790,6253 km<sup>2</sup>; perímetro = 145,424 km;

Talvegue principal = 50,981 km;

Talvegue do principal afluente (Jacitara) = 32,981 km;

Talvegue do segundo maior afluente (Samauma) = 30,148 km;

Talvegue do terceiro maior afluente (Sucuriju) = 14,442 km;

Foz do Jacitara até a foz do Murupu = 22,740 km;

Talvegue principal pelo Jacitara = 32,981 + 22,740 = 55.721 km;

Cota da margem da nascente do Murupu = 108,00 m;



Cota da margem da nascente do Jacitara = 158,00 m;

Cota da margem do exutório do Murupu = 85,00 m.

As estimativas das chuvas efetivas e correspondentes vazões de projeto da bacia do igarapé Murupu efetuadas com modelos do *Soil Conservation Service* e Curva IDF de Boa Vista – RR, apesar de não apresentarem discrepâncias significativas, devem ser consideradas como resultados preliminares com seu uso prático limitado.

Pela sua importância no uso do solo, é recomendável o monitoramento da bacia hidrográfica do igarapé Murupu tendo em vista as medições de vazão líquida, de sedimentos e da qualidade de suas águas;

Para maior confiabilidade dos resultados no uso dos modelos *Soil Conservation Service* recomenda-se pesquisas de campo para definição dos seguintes parâmetros:

- Taxa de infiltração do solo visando a sua classificação hidrológica para definição com maior precisão do valor de *CN* (Curve Number);
- Tempo de concentração ( $t_c$ );
- Fator numérico *C* usado na expressão  $q_p = C.A/t_p$ , para cálculo da vazão de pico, considerando os seus valores práticos de 0,1291, 0,2083 e 0,3125, recomendados para bacias com topografia de relevo plano, médio e acidentado, respectivamente;
- Coeficiente de redução espacial da ação da chuva intensa que segundo experiência internacional varia no intervalo de (0,65 – 0,88);
- Coeficiente numérico recomendado em 0,2 no intervalo (0,0 – 0,3) que aparece no termo  $0,2.S$  da perda inicial  $I_a$ , onde *S* é o potencial máximo de retenção;
- Relações dos tipos de solo pedológico e hidrológico para facilitar definição *CN* (Curve Number) para a bacia do igarapé Murupu semelhante ao trabalho realizado por Sartori (2004).

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W.F.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; MEDEIROS, R.D.; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.5, n.3, p.563-567, 2001.
- BARBOSA, R.I.; XAUD, H.A.M.; COSTA E SOUZA, J.M. *Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris*. Boa Vista: FEMACT, 2005. 202p.
- BENJAMIN, J.R.; CORNELL, C. A. *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers*. New York:McGraw-Hill Book Company, 1970. 684p.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. *Inventário de Estações Pluviométricas*. Brasília: ANA, nov. 2006, n.1, v.1, p.1-16.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Águas. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Brasília: ANA-ANEEL, 2001.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima*. Boa Vista: CPRM, 2002.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*, v.8. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 428p.
- BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Criação Oficial de Projeto de Assentamento*. Boa Vista: INCRA, 2001. Processo 54390.000503/2001-57.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. *Inventário das Estações Pluviométricas*. Rio de Janeiro: DNAEE, 1996.
- BUSTOS, M.R.L. *A educação ambiental sob a ótica de gestão de recursos hídricos*. São Paulo, 2003. 208f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo.
- CALIJURI, M.L.; PRUSKI, F.F.; BHERING, E.M.; SILVA, J.M. Obtenção de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado de Minas Gerais utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1955, p.1988-1990.

CARDOSO, C.O.; ULLMANN, M.N.A.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e Campos Novos, SC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p.131-140, 1998.

CETESB. *Drenagem Urbana: Manual de Projeto*. São Paulo: CETESB, 1979. 479p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236p.

COLLISCHONN, A. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. Porto Alegre, dez. 2001. 270f. Tese (Doutorado em Engenharia) - UFRG-IPH.

COSTA, A.R.; PRADO, L.A. Espacialização de Equações de Chuvas Intensas para o Estado de Goiás e o Sul de Tocantins. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.23, n.2, p.268-276, mai./ago.2003.

COSTA, A.R.; RODRIGUES, A.A. Método das isozonas: desvios entre resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, [CD-Rom]. Anais.33

COSTA, J.A.V. Diagnóstico Geológico e Geomorfológico. In: *Diagnóstico Físico - Plano Diretor de Boa Vista*. Rio de Janeiro: IBAM, 2006. 3 CD-ROM.

DENARDIN, J.L.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.10, p.1409-16, 1982.

FERREIRA, J.C.; DANIEL, L.A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo. *Ciências Agrotécnicas*, Lavras, v.29, n.6, p.1175-1187, nov./dez. 2005.

GARCEZ, L.N. *Hidrologia*. São Paulo: Edgard Brücher, 1967. 249p.

GENOVEZ, A.M., *Avaliação dos métodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais no Estado de São Paulo*. Campinas, 1991. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP)

GENOVEZ, A.M., Vazões Máximas. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrológicas*. Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 33-108.

GRIEBELER, N.P. *Hidros: Dimensionamento de Sistemas Hidroagrícolas*. Viçosa: UFV, 2006. 259p.

GUMBEL, E.J. *Statistics of Extremes*. New York: Columbia University Press, 1958. 357p.  
HORNER, W.W.; LLOYD, C.L. Infiltration – Capacity Values as Determined from a Study of an Eighteen-Month Record at Edwardsville, Illinois. *Trans. Am. Geophys. Union*, p. 522-541, 1940.

HOWARD, A.D. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: a summation. *The American Association of petroleum geologists bulletin*, Stanford, v.51, n.11, p. 2246-2259, nov. 1967.

IBAM. *Plano Diretor Estratégico de Boa Vista, RR*. Rio de Janeiro: IBAM, 2006.

LIMA, J.M.J.C. *Alterações de propriedades de solos cultivados com cana de açúcar*. Piracicaba, 1995.170f. Tese (Doutorado) em Agronomia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP.

MACHADO, R.D.; MOURA, C.R.; DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A; LORENSI, R.P.; BUENO, L.F. *Uso de metodologia de desagregação de chuva diária para estimar curvas intensidade-duração-freqüência*. [1992?] Disponível em: <<http://www.ufpel.cdu.br>>. Acesso em: 12 out. 2006.

MARCELLINI, S.S. *Análise de Critérios para determinação das Tormentas de Projeto e sua Influência nos Hidrogramas em Pequenas Bacias Hidrográficas*. São Paulo, 1994. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo.

OCCHIPINTI, A.G.; SANTOS, P.M. *Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de 24 horas na cidade e São Paulo*. São Paulo: IAG-USP, 1966.

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; BARBOSA, F.O.A.; ROMÃO, P.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.30 n,1,p. 23-27. Jan./Jun. 2000

OURO VERDE AGROSILVOPASTORIL. *Plano de Manejo Florestal Ouro Verde Agrossilvopastoril Ltda*. Boa Vista: OVA, 2007.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419p.

PINTO, F.A., *Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos*. Viçosa, 1995, 87f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

PONTES, S.H.N.; FERNANDES, I.V. *Atualização do Método das Isozonas para a Região Amazônica* (2001). Disponível em:  
<<http://www.bibl.ita.br/viiiencita/Atualizacao%20do%20metodo%20das%20iozonas%20para%20regiao%20amazonica.pdf>>. Acesso em: 20 out.2006.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; TEIXEIRA, A.F.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, J.M.A.; GRIBELER, N.P. *Hidros – Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Viçosa: UFV, 2006.

ROBAIANA, A.D. Modelo para geração de chuvas intensas do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.2, p.95-98, 1996.

SARTORI, C.O. *Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos*. São Paulo, 2004, 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, D.D.; PINTO, F.R.L.; PINTO, F.A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.18, n.3, p.11-21, mar. 1999.

SIOLI, H. *Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*. 3.ed. Petrópolis: Vozes, 1991.

VALE JÚNIOR, J.F. Diagnóstico Pedológico. In : *Diagnóstico Físico - Plano Diretor de Boa Vista*. Rio de Janeiro: IBAM, 2006. 3 CD-ROM.

VIEIRA, D.R.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R.P. *Relação entre intensidade, duração e frequência de chuva em Mococa-SP*. Campinas, 1998. Disponível em:  
<<http://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso: em 20 out.2006.

WILKEN, P.S. *Águas Pluviais: Contribuição ao estudo dos métodos de dimensionamento de estruturas hidráulicas para esgotamento de águas pluviais*. São Paulo: USP, 1973.

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. *Hidrologia*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964. 484p.

ZUFFO, A.C. *Equações de Chuvas são Eternas?* In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, XXI, 2004, São Pedro, outubro, 2004. Disponível em: <[http://www.artigocientifico.com.br/acervo/3/34/tpl\\_1207.html.gz](http://www.artigocientifico.com.br/acervo/3/34/tpl_1207.html.gz)>. Acesso em: 10 set. 2006.

**APÊNDICE A**

**APÊNDICE A:** Estimativas por regressão linear de  $c$  da curva IDF de Boa Vista com base na reta  $Y = a' \cdot X + b' + v$ , onde  $a' = -c$  e  $b' = \log C$ , para vários períodos de retorno: A = 5, B = 10, C = 15, D = 20, E = 25, F = 50, G = 100 anos.

A = 5 anos

T (min)	i mm/h	$Y_i$ logi	$Y_i \cdot (x_i - x_m)$	(t+12) (min)	$x_i$ log(t+12)	$x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
1440	4,9	0,6902	0,7450	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	8,3	0,9191	0,7187	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	9,6	0,9823	0,6917	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	11,4	1,0569	0,6441	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	14,1	1,1492	0,5608	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	18,5	1,2672	0,4040	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	30,5	1,4843	0,0564	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	49,3	1,6928	-0,3813	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	73,0	1,8633	-0,8558	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	79,7	1,9015	-0,9780	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	88,7	1,9479	-1,1248	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	102,2	2,0095	-1,3086	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	118,2	2,0726	-1,5340	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	148,9	2,1729	-1,8516	17	1,2304	-0,8521	0,7261
$Y_m =$		1,5150	-4,2134	$x_m =$	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7602		b =	3,098074		
c =		<b>0,7602</b>		C =	1253,36		

B = 10 anos

t (min)	i mm/h	$Y_i$ logi	$Y_i \cdot (x_i - x_m)$	(t+12) (min)	$x_i$ log(t+12)	$x_i - x_m$	$(x_i - x_m)^2$
1440	5,5	0,7404	0,7992	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	9,4	0,9731	0,7609	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	10,9	1,0374	0,7305	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	12,9	1,1106	0,6768	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	15,9	1,2014	0,5863	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	20,9	1,3201	0,4209	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	34,4	1,5366	0,0584	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	55,6	1,7451	-0,3930	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	82,3	1,9154	-0,8798	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	89,9	1,9538	-1,0049	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	100,0	2,0000	-1,1548	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	115,3	2,0618	-1,3427	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	133,4	2,1252	-1,5729	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	168,0	2,2253	-1,8962	17	1,2304	-0,8521	0,7261
$Y_m =$		1,5676	-4,2114	$x_m =$	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7598		b =	3,149930		
c =		<b>0,7598</b>		C =	1412,31		



C = 15 anos

t (min)	i mm/h	Y <sub>i</sub> logi	Y <sub>i</sub> ·(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> )	(t+12) (min)	x <sub>i</sub> log(t+12)	x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1440	5,9	0,7709	0,8321	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	10,0	1,0000	0,7819	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	11,6	1,0645	0,7496	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	13,7	1,1367	0,6927	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	16,9	1,2279	0,5992	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	22,2	1,3464	0,4293	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	36,7	1,5647	0,0595	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	59,2	1,7723	-0,3992	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	87,7	1,9430	-0,8924	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	95,7	1,9809	-1,0189	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	106,5	2,0273	-1,1706	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	122,7	2,0888	-1,3603	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	142,0	2,1523	-1,5930	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	178,8	2,2524	-1,9193	17	1,2304	-0,8521	0,7261
Y <sub>m</sub> =		1,5949	-4,2094	x <sub>m</sub> =	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7595		b =	3,176482		
c =		<b>0,7595</b>		C =	1501,35		

D = 20 anos

t (min)	i mm/h	Y <sub>i</sub> logi	Y <sub>i</sub> ·(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> )	(t+12) (min)	x <sub>i</sub> log(t+12)	x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1440	6,1	0,7853	0,8477	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	10,4	1,0170	0,7953	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	12,1	1,0828	0,7625	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	14,3	1,1553	0,7041	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	17,6	1,2455	0,6078	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	23,2	1,3655	0,4354	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	38,2	1,5821	0,0601	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	61,8	1,7910	-0,4034	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	91,4	1,9609	-0,9007	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	99,8	1,9991	-1,0283	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	111,1	2,0457	-1,1812	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	128,0	2,1072	-1,3722	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	148,1	2,1706	-1,6065	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	186,5	2,2707	-1,9349	17	1,2304	-0,8521	0,7261
Y <sub>m</sub> =		1,6128	-4,2144	x <sub>m</sub> =	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7604		b =	3,196250		
c =		<b>0,7604</b>		C =	1571,27		

E = 25 anos

t (min)	i mm/h	Y <sub>i</sub> logi	Y <sub>i</sub> ·(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> )	(t+12) (min)	x <sub>i</sub> log(t+12)	x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1440	6,3	0,7993	0,8628	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	10,7	1,0294	0,8049	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	12,4	1,0934	0,7700	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	14,8	1,1703	0,7132	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	18,2	1,2601	0,6149	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	23,9	1,3784	0,4395	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	39,4	1,5955	0,0606	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	63,7	1,8041	-0,4063	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	94,2	1,9741	-0,9067	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	102,9	2,0124	-1,0351	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	114,5	2,0588	-1,1888	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	131,9	2,1202	-1,3807	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	152,7	2,1838	-1,6163	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	192,3	2,2840	-1,9462	17	1,2304	-0,8521	0,7261
Y <sub>m</sub> =		1,6260	-4,2143	x <sub>m</sub> =	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7603		b =	3,209444		
c =		<b>0,7603</b>		C =	1619,74		

F = 50 anos

t (min)	i mm/h	Y <sub>i</sub> logi	Y <sub>i</sub> ·(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> )	(t+12) (min)	x <sub>i</sub> log(t+12)	x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1440	6,9	0,8388	0,9055	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	11,7	1,0682	0,8353	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	13,6	1,1335	0,7982	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	16,2	1,2095	0,7371	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	19,9	1,2989	0,6338	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	26,1	1,4166	0,4517	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	43,1	1,6345	0,0621	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	69,6	1,8426	-0,4150	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	103,0	2,0128	-0,9245	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	112,5	2,0512	-1,0550	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	125,2	2,0976	-1,2112	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	144,2	2,1590	-1,4059	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	166,9	2,2225	-1,6449	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	210,2	2,3226	-1,9791	17	1,2304	-0,8521	0,7261
Y <sub>m</sub> =		1,6649	-4,2121	x <sub>m</sub> =	2,0826	0,0000	5,5427
a =		-0,7599		b =	3,247502		
c =		<b>0,7599</b>		C =	1768,08		

G = 100 anos

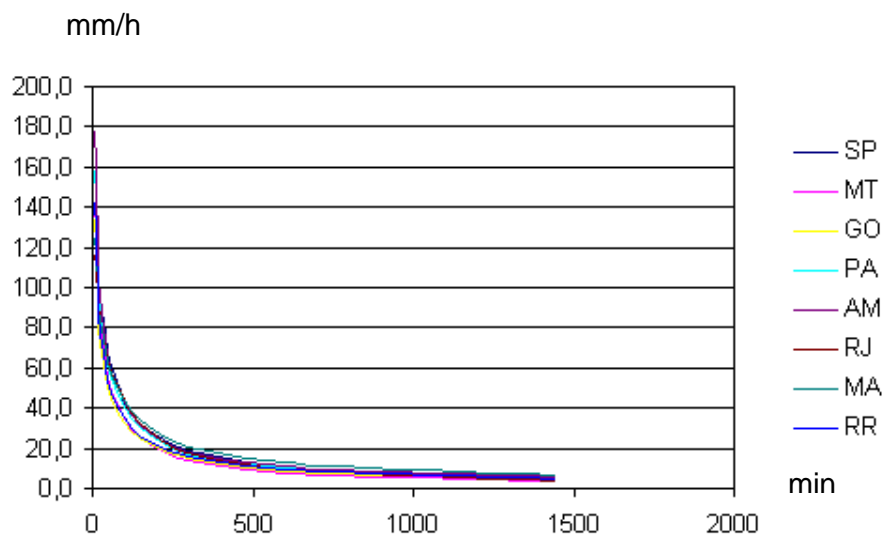
t (min)	i mm/h	Y <sub>i</sub> logi	Y <sub>i</sub> ·(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> )	(t+12) (min)	x <sub>i</sub> log(t+12)	x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>m</sub> ) <sup>2</sup>
1440	7,5	0,8751	0,9445	1452	3,1620	1,0794	1,1651
720	12,7	1,1038	0,8631	732	2,8645	0,7819	0,6114
600	14,8	1,1703	0,8241	612	2,7868	0,7042	0,4959
480	17,5	1,2430	0,7575	492	2,6920	0,6094	0,3714
360	21,6	1,3345	0,6512	372	2,5705	0,4880	0,2381
240	28,3	1,4518	0,4629	252	2,4014	0,3188	0,1017
120	46,8	1,6702	0,0635	132	2,1206	0,0380	0,0014
60	75,6	1,8785	-0,4231	72	1,8573	-0,2252	0,0507
30	111,8	2,0484	-0,9409	42	1,6232	-0,4593	0,2110
25	122,1	2,0867	-1,0733	37	1,5682	-0,5144	0,2646
20	135,9	2,1332	-1,2317	32	1,5051	-0,5774	0,3334
15	156,5	2,1945	-1,4291	27	1,4314	-0,6512	0,4241
10	181,1	2,2579	-1,6712	22	1,3424	-0,7401	0,5478
5	228,1	2,3581	-2,0094	17	1,2304	-0,8521	0,7261
	Y <sub>m</sub> =	1,7004	-4,2119	x <sub>m</sub> =	2,0826	0,0000	5,5427
	a =	-0,7599		b =	3,282973		
	c =	<b>0,7599</b>		C =	1918,55		

**APÊNDICE B**

**APÊNDICE B:** Curvas IDF de chuvas intensas em tabela e gráfico das cidades de São Paulo – SP, Cuiabá –MT, Goiânia – GO, Belém – PA, Manaus – AM, Rio de Janeiro – RJ, São Luiz – MA e Boa Vista – RR para vários períodos de retorno: A = 5, B = 10, C = 15, D = 20, E = 25, F = 50 e G = 100 anos.

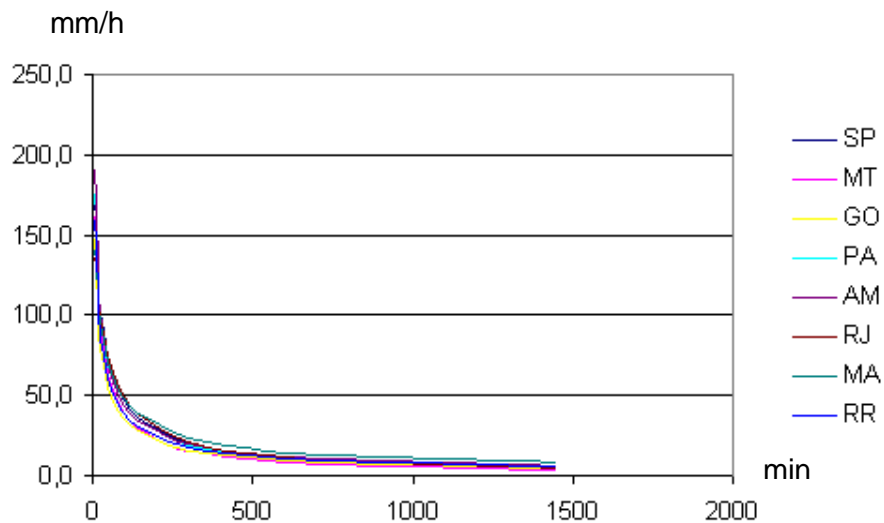
A = 5 anos

t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	5,3	3,5	4,6	5,2	5,6	4,2	6,9	4,9
720	9,4	6,5	7,7	8,9	9,5	8,2	11,3	8,2
600	10,9	7,6	8,8	10,3	10,9	9,7	12,9	9,4
480	13,0	9,2	10,4	12,2	12,9	11,9	15,1	11,1
360	16,4	11,8	12,9	15,3	16,1	15,4	18,5	13,7
240	22,5	16,6	17,3	20,8	21,8	21,8	24,4	18,4
120	37,8	29,1	28,3	34,6	36,1	37,3	38,2	30,2
60	60,4	48,4	44,9	55,3	57,9	57,8	57,0	47,8
30	89,4	74,4	67,6	83,2	88,1	79,7	79,0	72,0
25	97,6	82,0	74,4	91,4	97,2	85,1	84,9	79,3
20	107,7	91,4	83,1	101,7	108,9	91,2	91,9	88,5
15	120,4	103,4	94,6	115,1	124,3	98,3	100,5	100,7
10	136,8	119,3	110,5	133,2	145,9	106,6	111,2	117,7
5	159,2	141,4	134,4	159,2	178,4	116,5	125,1	143,2



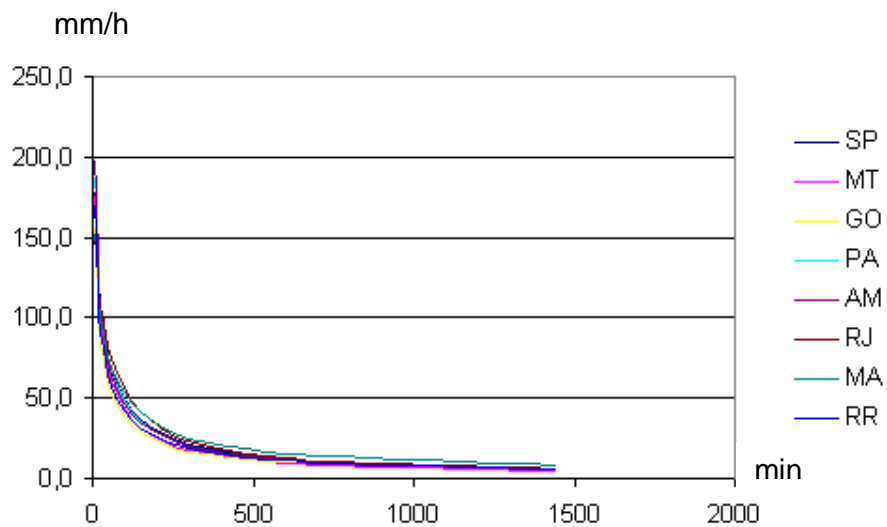
B = 10 anos.

t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	5,7	4,0	5,1	5,7	6,0	5,0	7,8	5,4
720	10,1	7,4	8,5	9,9	10,2	9,6	12,8	9,2
600	11,7	8,7	9,7	11,4	11,7	11,4	14,6	10,5
480	14,0	10,6	11,5	13,6	13,8	14,0	17,1	12,4
360	17,7	13,6	14,2	16,9	17,2	18,0	21,0	15,3
240	24,3	19,1	19,1	23,1	23,3	25,5	27,6	20,6
120	40,7	33,4	31,2	38,3	38,6	43,7	43,3	33,7
60	65,1	55,6	49,5	61,4	62,0	67,6	64,5	53,4
30	96,3	85,5	74,6	92,3	94,4	93,3	89,5	80,5
25	105,2	94,2	82,1	101,5	104,2	99,6	96,1	88,6
20	116,0	104,9	91,7	112,9	116,7	106,8	104,1	99,0
15	129,7	118,7	104,4	127,7	133,2	115,1	113,8	112,6
10	147,5	137,0	121,9	147,8	156,3	124,8	126,0	131,6
5	171,6	162,5	148,3	176,7	191,2	136,3	141,7	160,1



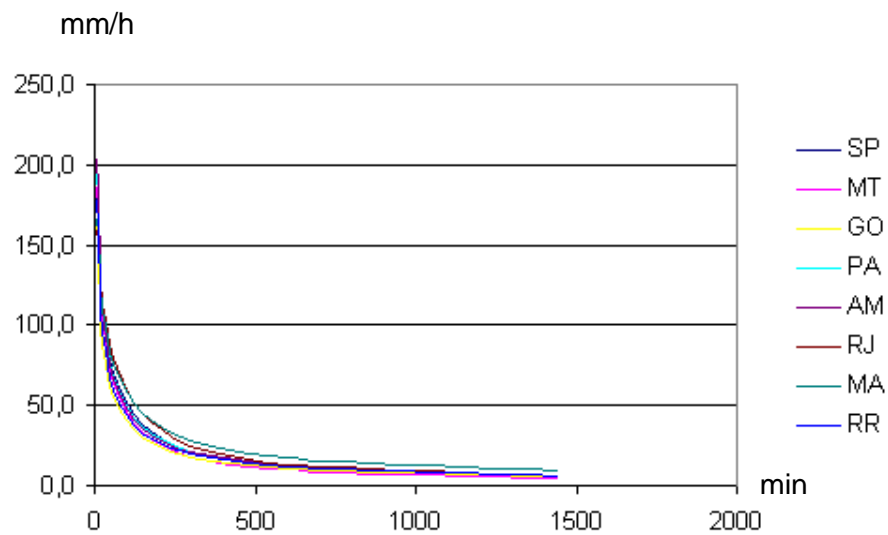
C = 15 anos.

t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	6,0	4,4	5,4	6,1	6,2	5,4	8,4	5,8
720	10,6	8,1	9,0	10,5	10,6	10,5	13,8	9,8
600	12,2	9,5	10,3	12,1	12,2	12,5	15,7	11,2
480	14,7	11,5	12,2	14,4	14,4	15,3	18,4	13,2
360	18,4	14,7	15,1	18,0	17,9	19,8	22,5	16,4
240	25,4	20,7	20,2	24,5	24,3	28,0	29,7	22,0
120	42,6	36,3	33,1	40,7	40,2	47,9	46,6	36,0
60	68,0	60,3	52,5	65,2	64,6	74,2	69,4	57,0
30	100,6	92,7	79,0	98,1	98,3	102,3	96,3	85,9
25	109,9	102,1	87,0	107,8	108,5	109,2	103,4	94,6
20	121,2	113,8	97,2	120,0	121,5	117,1	112,0	105,7
15	135,5	128,8	110,5	135,7	138,8	126,2	122,5	120,2
10	154,1	148,6	129,2	157,7	162,8	136,9	135,5	140,5
5	179,3	176,2	157,1	187,7	199,1	149,5	152,5	170,9



D = 20 anos.

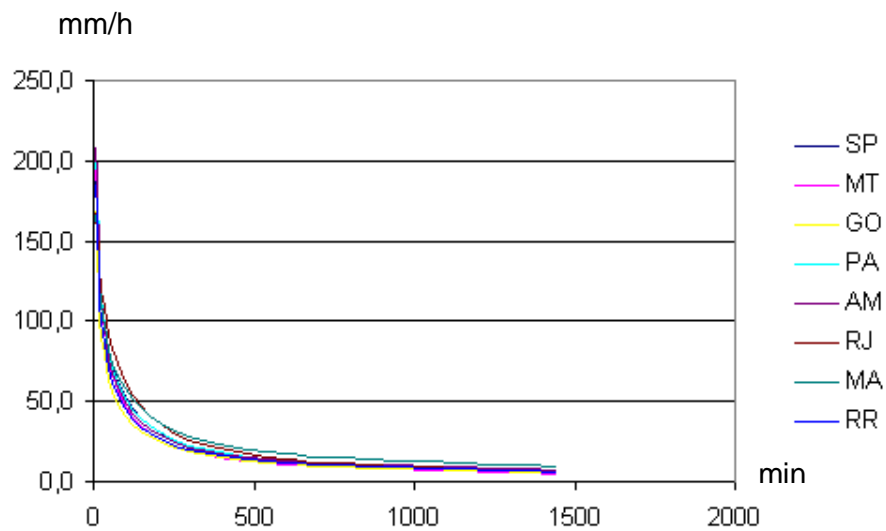
t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	6,2	4,6	5,6	6,4	6,4	5,8	9,2	6,1
720	10,9	8,5	9,4	11,0	10,9	11,2	15,1	10,3
600	12,6	10,0	10,7	12,6	12,5	13,3	17,3	11,7
480	15,1	12,2	12,7	15,0	14,8	16,3	20,2	13,9
360	19,0	15,6	15,7	18,8	18,5	21,1	24,7	17,2
240	26,2	21,9	21,1	25,6	25,0	29,9	32,6	23,1
120	43,9	38,4	34,5	42,5	41,4	51,1	51,1	37,7
60	70,1	63,9	54,7	68,1	66,5	79,2	76,1	59,7
30	103,8	98,2	82,3	102,5	101,2	109,2	105,5	90,0
25	113,4	108,2	90,6	112,6	111,7	116,5	113,4	99,1
20	125,1	120,6	101,2	125,3	125,1	125,0	122,8	110,7
15	139,8	136,4	115,2	141,7	142,8	134,7	134,3	125,9
10	158,9	157,4	134,6	164,0	167,5	146,1	148,6	147,1
5	185,0	186,6	163,7	196,0	204,9	159,6	167,2	179,0





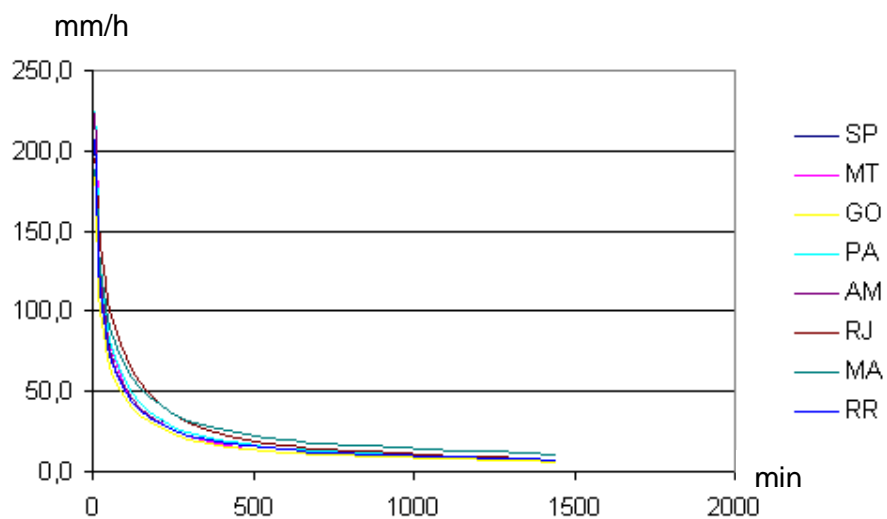
E = 25 anos.

t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	6,3	4,8	5,8	6,6	6,5	6,1	9,2	6,3
720	11,2	8,9	9,7	11,3	11,1	11,8	15,1	10,6
600	12,9	10,5	11,1	13,1	12,8	14,0	17,3	12,2
480	15,5	12,7	13,1	15,6	15,2	17,2	20,2	14,4
360	19,5	16,3	16,2	19,4	18,9	22,2	24,7	17,8
240	26,8	22,9	21,8	26,4	25,6	31,4	32,6	23,9
120	45,0	40,2	35,6	44,0	42,4	53,7	51,1	39,1
60	71,8	66,8	56,4	70,4	68,0	83,3	73,1	61,9
30	106,4	102,6	85,0	105,9	103,5	114,9	105,5	93,3
25	116,1	113,1	93,6	116,4	114,2	122,6	113,4	102,7
20	128,1	126,1	104,5	129,5	127,9	131,5	122,8	114,7
15	143,2	142,6	118,9	146,5	146,0	141,7	134,3	130,5
10	162,8	164,6	138,9	169,5	171,3	153,7	148,6	152,5
5	189,5	195,1	169,0	202,7	209,5	167,9	167,2	185,5



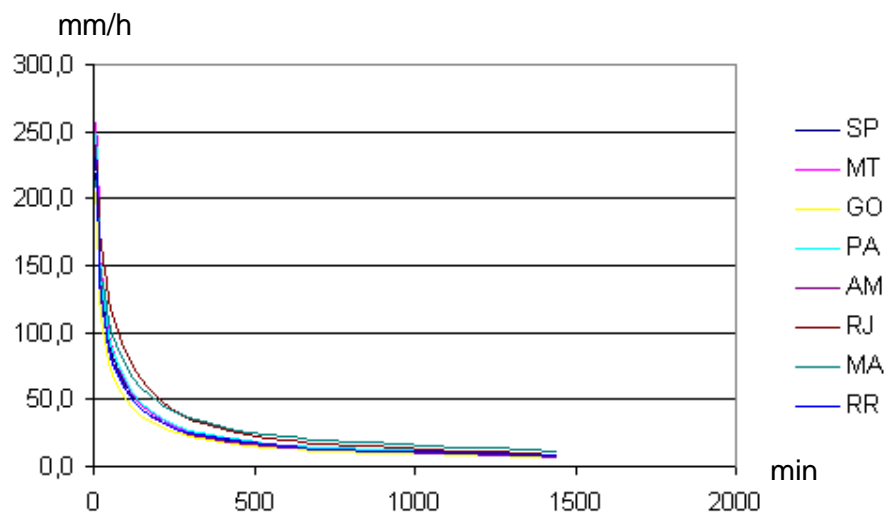
F = 50 anos.

t( min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	6,8	5,6	6,4	7,3	7,0	7,1	10,4	7,1
720	12,0	10,3	10,7	12,6	11,9	13,8	17,2	11,9
600	13,9	12,0	12,2	14,5	13,7	16,4	19,5	13,6
480	16,7	14,6	14,5	17,3	16,3	20,1	22,9	16,1
360	21,0	18,7	17,9	21,6	20,2	26,0	28,0	19,9
240	28,9	26,3	24,0	29,3	27,4	36,8	36,9	26,7
120	48,5	46,1	39,3	48,8	45,4	62,9	57,9	43,7
60	77,4	76,7	62,3	78,1	72,8	97,5	86,2	69,2
30	114,6	117,9	93,8	117,5	110,9	134,4	119,5	104,3
25	125,2	129,9	103,3	129,2	122,4	143,5	128,5	114,9
20	138,1	144,8	115,3	143,7	137,1	153,9	139,1	128,3
15	154,3	163,8	131,2	162,6	156,5	165,8	152,1	145,9
10	175,5	189,0	153,3	188,1	183,6	179,9	168,3	170,5
5	204,2	224,2	186,5	224,9	224,5	196,5	189,4	207,4



G = 100 anos.

t (min)	mm/h SP	mm/h MT	mm/h GO	mm/h PA	mm/h AM	mm/h RJ	Mm/h MA	mm/h RR
1440	7,3	6,4	7,0	8,1	7,5	8,4	11,8	7,9
720	13,0	11,8	11,8	14,0	12,8	16,2	19,4	13,3
600	15,0	13,8	13,5	16,1	14,7	19,2	22,1	15,2
480	18,0	16,8	16,0	19,2	17,4	23,5	25,9	18,0
360	22,6	21,5	19,7	23,9	21,7	30,4	31,7	22,2
240	31,1	30,3	26,5	32,6	29,4	43,1	41,8	29,9
120	52,2	53,0	43,3	54,2	48,6	73,6	65,5	48,8
60	83,4	88,1	68,7	86,7	78,1	114,1	97,7	77,4
30	123,5	135,4	102,5	130,4	118,8	157,3	135,4	116,6
25	134,9	149,2	114,0	143,3	131,2	167,9	145,5	128,4
20	148,8	166,3	127,2	159,5	146,9	180,1	157,6	143,4
15	166,3	188,2	144,8	180,4	167,8	194,1	172,3	163,2
10	189,1	217,2	169,2	208,7	196,8	210,5	190,7	190,6
5	220,1	257,5	205,8	249,5	240,6	230,0	214,5	231,9



**APÊNDICE C**

**APÊNDICE C:** Chuva Efetiva da bacia hidrográfica do igarapé Murupu, HUT – SCS, para vários períodos de retorno: A = 5, B = 10, C = 15, D = 20, E = 25, F = 50 e G = 100 anos.

A = 5 anos.

<i>i</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	25,8	64,5	41,9	41,9	2,4	2,4	0,0	0,0
2	5,0	15,7	78,4	51,0	9,0	2,7	5,1	0,0	0,0
3	7,5	11,6	87,3	56,7	5,8	3,6	8,7	0,0	0,0
4	10,0	9,4	94,0	61,1	4,4	5,8	14,5	0,0	0,0
5	12,5	8,0	99,4	64,6	3,6	41,9	56,4	1,2	1,2
6	15,0	6,9	104,1	67,7	3,0	9,0	65,4	2,8	1,6
7	17,5	6,2	108,2	70,3	2,7	4,4	69,8	3,7	1,0
8	20,0	5,6	111,8	72,7	2,4	3,0	72,8	4,5	0,7

B = 10 anos.

<i>I</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	28,9	72,1	46,9	46,9	2,6	2,6	0,0	0,0
2	5,0	17,5	87,7	57,0	10,1	3,0	5,6	0,0	0,0
3	7,5	13,0	97,6	63,4	6,4	4,0	9,6	0,0	0,0
4	10,0	10,5	105,1	68,3	4,9	6,4	16,0	0,0	0,0
5	12,5	8,9	111,2	72,3	4,0	46,9	62,9	2,3	2,3
6	15,0	7,8	116,4	75,7	3,4	10,1	73,0	4,5	2,3
7	17,5	6,9	121,0	78,6	3,0	4,9	77,9	5,9	1,3
8	20,0	6,3	125,0	81,3	2,6	3,4	81,3	6,9	1,0

C = 15 anos.

<i>I</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	30,8	77,0	50,1	50,1	2,8	2,8	0,0	0,0
2	5,0	18,7	93,6	60,8	10,8	3,2	6,0	0,0	0,0
3	7,5	13,9	104,2	67,7	6,9	4,2	10,2	0,0	0,0
4	10,0	11,2	112,2	72,9	5,2	6,9	17,1	0,0	0,0
5	12,5	9,5	118,7	77,1	4,2	50,1	67,2	3,1	3,1
6	15,0	8,3	124,2	80,8	3,6	10,8	78,0	5,9	2,8
7	17,5	7,4	129,1	83,9	3,2	5,2	83,2	7,5	1,6
8	20,0	6,7	133,5	86,8	2,8	3,6	86,8	8,7	1,2

D = 20 anos.

<i>I</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	32,3	80,7	52,4	52,4	3,0	3,0	0,0	0,0
2	5,0	19,6	98,0	63,7	11,3	3,3	6,3	0,0	0,0
3	7,5	14,5	109,1	70,9	7,2	4,4	10,7	0,0	0,0
4	10,0	11,7	117,5	76,4	5,4	7,2	17,9	0,0	0,0
5	12,5	9,9	124,3	80,8	4,4	52,4	70,3	3,9	3,9
6	15,0	8,7	130,1	84,6	3,8	11,3	81,6	7,0	3,1
7	17,5	7,7	135,2	87,9	3,3	5,4	87,0	8,7	1,8
8	20,0	7,0	139,8	90,9	3,0	3,8	90,8	10,1	1,3

E = 25 anos.

<i>i</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	33,4	83,6	54,3	54,3	3,1	3,1	0,0	0,0
2	5,0	20,3	101,6	66,0	11,7	3,4	6,5	0,0	0,0
3	7,5	15,1	113,1	73,5	7,5	4,6	11,1	0,0	0,0
4	10,0	12,2	121,8	79,2	5,6	7,5	18,6	0,0	0,0
5	12,5	10,3	128,9	83,8	4,6	54,3	72,9	4,5	4,5
6	15,0	9,0	134,9	87,7	3,9	11,7	84,6	7,9	3,4
7	17,5	8,0	140,2	91,1	3,4	5,6	90,2	9,8	1,9
8	20,0	7,2	144,9	94,2	3,1	3,9	94,1	11,3	1,4

F = 50 anos.

<i>i</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	37,4	93,5	60,8	60,8	3,4	3,4	0,0	0,0
2	5,0	22,7	113,6	73,8	13,1	3,8	7,2	0,0	0,0
3	7,5	16,9	126,4	82,2	8,3	5,1	12,3	0,0	0,0
4	10,0	13,6	136,2	88,5	6,3	8,3	20,6	0,0	0,0
5	12,5	11,5	144,1	93,7	5,1	60,8	81,4	6,9	6,9
6	15,0	10,1	150,8	98,0	4,4	13,1	94,5	11,4	4,5
7	17,5	9,0	156,7	101,9	3,8	6,3	100,8	13,9	2,5
8	20,0	8,1	162,0	105,3	3,4	4,4	105,2	15,7	1,8

G = 100 anos.

<i>i</i> (n)	<i>t</i> (h)	<i>i<sub>m</sub></i> (mm/h)	<i>P<sub>it</sub></i> (mm)	<i>P<sub>red</sub></i> (mm)	<i>DP</i> (mm)	<i>DP<sub>ord</sub></i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>Pe</i> (mm)	<i>D<sub>pe</sub></i> (mm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0					
1	2,5	41,8	104,5	67,9	67,9	3,8	3,8	0,0	0,0
2	5,0	25,4	127,0	82,6	14,6	4,3	8,1	0,0	0,0
3	7,5	18,9	141,4	91,9	9,3	5,8	13,9	0,0	0,0
4	10,0	15,2	152,2	99,0	7,1	9,3	23,2	0,0	0,0
5	12,5	12,9	161,1	104,7	5,8	67,9	91,1	10,2	10,2
6	15,0	11,2	168,6	109,6	4,9	14,6	105,7	16,0	5,8
7	17,5	10,0	175,2	113,9	4,3	7,1	112,8	19,1	3,1
8	20,0	9,1	181,1	117,7	3,8	4,9	117,7	21,4	2,3

**APÊNDICE D**

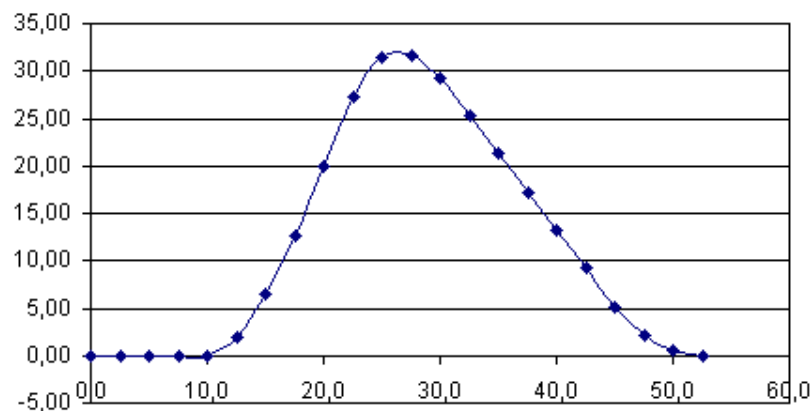
**APÊNDICE D:** Vazões de Projeto em tabela e gráfico da bacia hidrográfica do igarapé Murupu de  $A = 790,6253\text{km}^2$ , para vários períodos de retorno: A = 5, B = 10, C = 15, D = 20, E = 25, F = 50 e G = 100 anos.

A = 5 anos.

i	$t_i(\text{h})$	$\text{m}^3/\text{s}$	1	2	3	4	5	6	7	8	$Q_5$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$D_{pe}$ (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	1,2
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	0,00			1,94	1,6
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	2,59	0,00		6,48	1,0
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	5,83	5,18	1,62	0,00	12,64	0,7
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	7,78	7,78	3,24	1,13	19,93	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	9,71	10,37	4,86	2,27	27,20	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,63	12,94	6,48	3,40	31,45	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	11,50	8,09	4,54	31,68	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	6,47	10,06	7,19	5,66	29,39	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	5,39	8,62	6,29	5,03	25,34	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	7,18	5,39	4,40	21,30	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	3,24	5,76	4,49	3,77	17,26	
16	40,0				0,00	0,00	2,16	4,32	3,60	3,14	13,22	
17	42,5					0,00	1,08	2,88	2,70	2,52	9,18	
18	45,0						0,00	1,44	1,80	1,89	5,13	
19	47,5							0,00	0,90	1,26	2,16	
20	50,0								0,00	0,50	0,50	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma ( $\text{m}^3/\text{s}$ )** **31,68**

**Descarga específica ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )** **0,40**



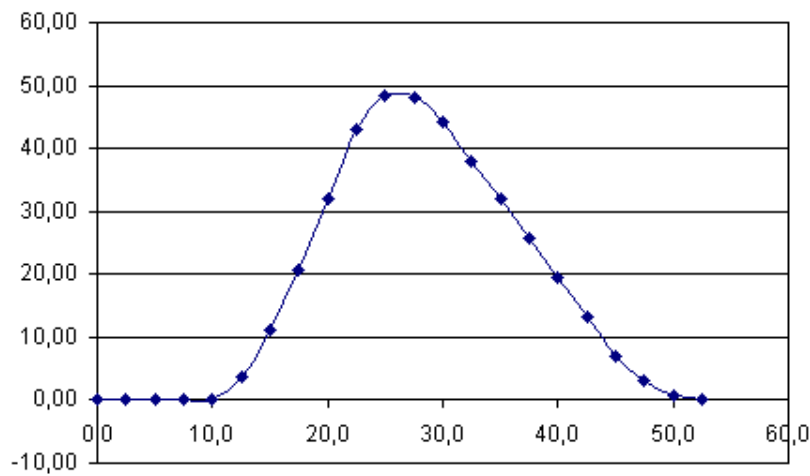


B = 10 anos.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	2,3
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	3,73	0,00			3,73	2,3
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	7,45	3,73	0,00		11,18	1,3
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	11,18	7,45	2,11	0,00	20,74	1,0
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	14,90	11,18	4,21	1,62	31,91	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	18,61	14,90	6,32	3,24	43,07	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	16,54	18,61	8,42	4,86	48,43	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	14,47	16,54	10,52	6,48	48,00	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40	14,47	9,35	8,09	44,30	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	10,33	12,40	8,18	7,19	38,09	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,28	10,33	7,01	6,29	31,90	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	6,21	8,28	5,84	5,39	25,72	
16	40,0				0,00	0,00	4,14	6,21	4,68	4,49	19,52	
17	42,5					0,00	2,07	4,14	3,51	3,60	13,32	
18	45,0						0,00	2,07	2,34	2,70	7,11	
19	47,5							0,00	1,17	1,80	2,97	
20	50,0								0,00	0,72	0,72	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma (m<sup>3</sup>/s) 48,43**

**Descarga específica (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) 0,61**



C = 15 anos.

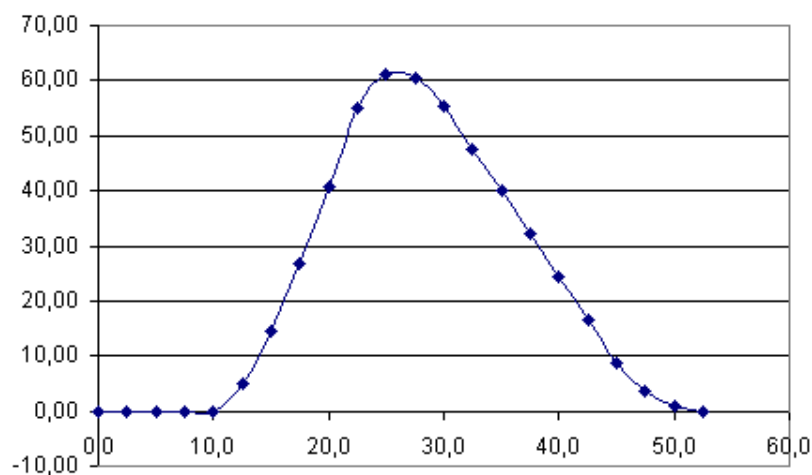
i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>15</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	3,1
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	5,02	0,00			5,02	2,8
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	10,04	4,54	0,00		14,58	1,6
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	15,07	9,07	2,59	0,00	26,73	1,2
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	20,09	13,61	5,18	1,94	40,82	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	25,08	18,14	7,78	3,89	54,89	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	22,29	22,65	10,37	5,83	61,14	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	19,50	20,13	12,94	7,78	60,35	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	16,71	17,61	11,50	9,71	55,53	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	13,92	15,09	10,06	8,63	47,70	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,16	12,57	8,62	7,55	39,90	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	8,37	10,08	7,18	6,47	32,10	
16	40,0				0,00	0,00	5,58	7,56	5,76	5,39	24,29	
17	42,5					0,00	2,79	5,04	4,32	4,32	16,47	
18	45,0						0,00	2,52	2,88	3,24	8,64	
19	47,5							0,00	1,44	2,16	3,60	
20	50,0								0,00	0,87	0,87	
21	52,5									0,00	0,00	

Vazão de pico do Hidrograma (m<sup>3</sup>/s)

61,14

Descarga específica (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)

0,77

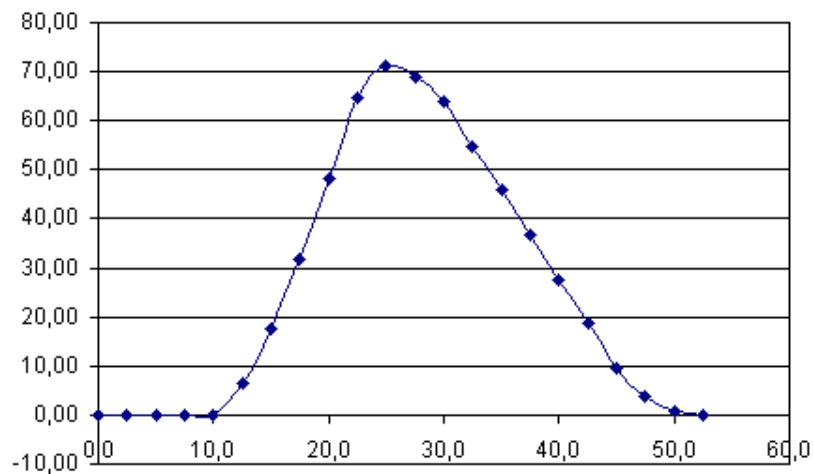


D = 20 anos.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>20</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	3,9
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	6,32	0,00			6,32	3,1
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	12,64	5,02	0,00		17,66	1,8
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	18,95	10,04	2,92	0,00	31,91	1,3
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	25,27	15,07	5,83	2,11	48,28	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	31,55	20,09	8,75	4,21	64,60	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	28,04	25,08	11,66	6,32	71,10	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	24,53	22,29	14,56	8,42	69,81	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	21,02	19,50	12,94	10,52	63,98	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	17,51	16,71	11,32	9,35	54,89	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,04	13,92	9,70	8,18	45,84	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	10,53	11,16	8,08	7,01	36,78	
16	40,0				0,00	0,00	7,02	8,37	6,48	5,84	27,71	
17	42,5					0,00	3,51	5,58	4,86	4,68	18,63	
18	45,0						0,00	2,79	3,24	3,51	9,54	
19	47,5							0,00	1,62	2,34	3,96	
20	50,0								0,00	0,94	0,94	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma (m<sup>3</sup>/s) 71,10**

**Descarga específica (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) 0,89**

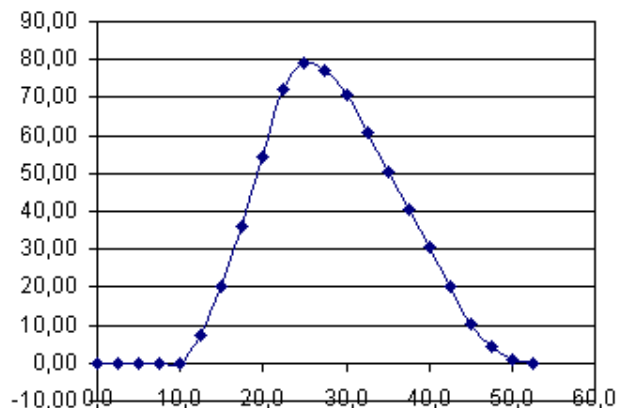


E = 25 anos.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	4,5
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,29	0,00		7,29	3,4
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,58	5,51	0,00	20,09	1,9
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,87	11,02	3,08	35,96	1,4
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,16	16,52	6,16	54,11	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,41	22,03	9,23	72,21	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,36	27,51	12,31	78,98	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,31	24,45	15,37	77,19	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,26	21,39	13,66	70,63	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,21	18,33	11,95	60,55	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,20	15,27	10,24	50,51	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00	12,15	12,24	8,53	40,47	
16	40,0				0,00	0,00	0,00	8,10	9,18	6,84	30,41	
17	42,5					0,00	0,00	4,05	6,12	5,13	20,34	
18	45,0						0,00	0,00	3,06	3,42	10,26	
19	47,5							0,00	0,00	1,71	4,23	
20	50,0								0,00	1,01	1,01	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma (m<sup>3</sup>/s) 78,98**

**Descarga específica (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) 0,99**

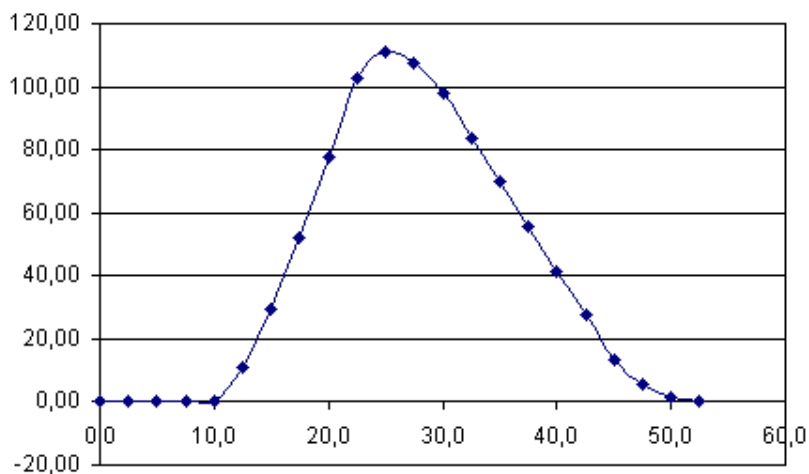


F = 50 anos.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	6,9
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			11,18	4,5
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		22,36	2,5
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,53	1,8
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,71	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,82	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,61	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,40	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,19	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,98	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,84	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,63	
16	40,0				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,42	
17	42,5					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,21	
18	45,0						0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
19	47,5							0,00	0,00	0,00	0,00	
20	50,0								0,00	0,00	0,00	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma** (m<sup>3</sup>/s) **110,96**

**Descarga específica** (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) **1,39**

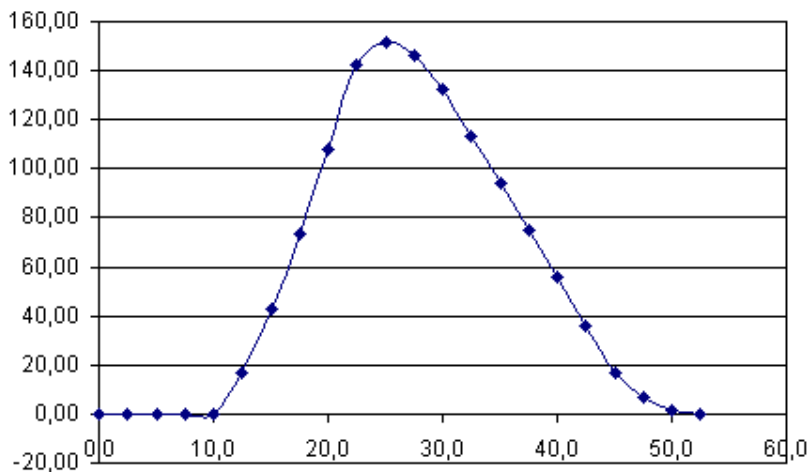


G = 100 anos.

i	t <sub>i</sub> (h)	m <sup>3</sup> /s	1	2	3	4	5	6	7	8	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	D <sub>pe</sub> (mm)
0	0,0	0,00	0,00								0,00	0,0
1	2,5	1,62	0,00	0,00							0,00	0,0
2	5,0	3,24	0,00	0,00	0,00						0,00	0,0
3	7,5	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,0
4	10,0	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	10,2
5	12,5	8,09	0,00	0,00	0,00	0,00	16,52	0,00			16,52	5,8
6	15,0	7,19	0,00	0,00	0,00	0,00	33,05	9,40	0,00		42,44	3,1
7	17,5	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	49,57	18,79	5,02	0,00	73,39	2,3
8	20,0	5,39	0,00	0,00	0,00	0,00	66,10	28,19	10,04	3,73	108,05	
9	22,5	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	82,52	37,58	15,07	7,45	142,62	
10	25,0	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	73,34	46,92	20,09	11,18	151,53	
11	27,5	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	64,16	41,70	25,08	14,90	145,84	
12	30,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	54,98	36,48	22,29	18,61	132,36	
13	32,5	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	45,80	31,26	19,50	16,54	113,10	
14	35,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,72	26,04	16,71	14,47	93,94	
15	37,5			0,00	0,00	0,00	27,54	20,88	13,92	12,40	74,74	
16	40,0				0,00	0,00	18,36	15,66	11,16	10,33	55,51	
17	42,5					0,00	9,18	10,44	8,37	8,28	36,27	
18	45,0						0,00	5,22	5,58	6,21	17,01	
19	47,5							0,00	2,79	4,14	6,93	
20	50,0								0,00	1,66	1,66	
21	52,5									0,00	0,00	

**Vazão de pico do Hidrograma** (m<sup>3</sup>/s) **151,53**

**Descarga específica** (m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>) **1,90**



**ANEXO A**

**ANEXO A:** Análises Físicas, Químicas e Fichas de Descrição Morfológica e Analítica de quatro Perfis de Solo no Município de Boa Vista conforme Vale Júnior (2006): A = nº 01; B = nº 02; C = nº 03; D = nº 04,.

**A = nº 01**

**Data: 13/12/2005**

<p><b>Classificação</b> : LATOSSOLO VERMELHO – AMARELO Distrófico típico textura média.</p> <p><b>Localização</b> : Boa Vista. – 345493,11N e 749446,72W</p> <p><b>Situação, declividade e erosão</b> : área plana com 0 a 3% e erosão laminar ligeira.</p> <p><b>Material originário</b> : Sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista.</p> <p><b>Drenagem</b> : Bem drenado.</p> <p><b>Relevo</b> : Plano.</p> <p><b>Cobertura Vegetal</b> : Savana.</p> <p><b>Uso Atual:</b> <i>Acacia mangium</i></p>	<p><b>Ap</b> 0 – 25 cm; (7.5YR 4/6, úmido); franco argilo arenoso; fraca e moderada pequena e média granular; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>1</sub></b> 25 – 70 cm; (7.5YR 5/8, úmido); Franco argilo arenoso; fraca pequena granular e blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>2</sub></b> 70 – 120<sup>+</sup> cm; (7.5YR 6/8, úmido); Franco argiloso; fraca e pequena em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>OBS:</b> Raízes: muitas finas, comuns, médias e grossas no Ap comuns e finas no Bw<sub>1</sub> raras, medias e finas no Bw<sub>2</sub>.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------





B = nº 02

Data: 13/12/2005

<p><b>Classificação</b> : LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média.</p> <p><b>Localização</b> : Serra do Murupu - Boa Vista. - 347043,23N e 755775,49W</p> <p><b>Situação, declividade e erosão</b> : área plana com 0 a 3% e erosão laminar ligeira.</p> <p><b>Material originário</b> : Sedimentos pré-intemperizados do Complexo Guianense (Serra do Murupu).</p> <p><b>Drenagem</b> : Bem drenado.</p> <p><b>Relevo</b> : Plano.</p> <p><b>Cobertura Vegetal</b> : Savana.</p> <p><b>Uso Atual</b>: <i>Acácia mangium</i></p>	<p><b>Ap</b> 0 – 12 cm; (5YR 4/6, úmido); franco argilo arenoso; fraca e moderada pequena e média granular; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>1</sub></b> 12 – 37 cm; (2.5YR 4/8, úmido); Franco argilo arenoso; fraca pequena granular e blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>2</sub></b> 37 – 90 cm; (2.5YR 4/8, úmido); Franco argilo arenoso; fraca e pequena em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>3</sub></b> 90 - 130<sup>+</sup> cm ; (2.5 YR 4/8, úmido); Franco argilo arenoso; moderada pequena em blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.</p> <p><b>OBS:</b> Raízes: Comuns finas e médias no Ap e Bw<sub>1</sub> e raras médias no Bw<sub>2</sub>.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



C = Nº03

Data: 20/12/2005

<p><b>Classificação</b> : LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.</p> <p><b>Localização</b> : Boa Vista. – 302377,88N e 763036,38W</p> <p><b>Situação, declividade e erosão</b> : área plana com 0 a 3% e erosão laminar ligeira.</p> <p><b>Material originário</b> : Sedimentos pré-intemperizados da Formação Boa Vista.</p> <p><b>Drenagem</b> : Bem drenado.</p> <p><b>Relevo</b> : Plano.</p> <p><b>Cobertura Vegetal</b> : Savana.</p> <p><b>Uso Atual</b>: Acacia mangium</p>	<p><b>Ap</b> 0 – 10 cm; (10 YR 4/3, úmido); franco arenoso; fraca e moderada pequena e média granular; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>1</sub></b> 10 – 50 cm; (7,5 YR 6/8, úmido); Franco argilo arenoso; fraca e pequena em blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico e pegajoso.</p> <p><b>Bw<sub>2</sub></b> 50 – 120<sup>+</sup> cm; (7,5 YR 7/8, úmido); Franco argilo arenoso; moderada pequena em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>OBS:</b> Raízes: poucas finas e medias Ap.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## C = N°03 (continuação) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Composição granulométrica de terra fina (dispersão com NaOH) – g/kg			Argila dispersa em água (%)	Grau de floculação (%)	%Silte / %Argila	Densidade g/cm <sup>3</sup>		Porosidade % (volume)					
Símbolo	Profundidade (em)	Areia	Silte	Argila				Aparente	Real						
Ap	0-10	79,9	1,3	18,9				1,51	2,57						
Bw <sub>1</sub>	10-50	72,32	2,52	25,16				1,49	2,57						
Bw <sub>2</sub>	50-120	77,34	4,03	18,63				1,34	2,57						
Horizonte	pH (1:2,5)	Complexo Sortivo cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>										Valor V (sat. de bases) %	m %	P extraível mg/dm <sup>3</sup>	
		Água	KCLIN	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor SB (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	CT Ct				CT Ce
0-10	3,9			0,06	0,03	0,04		0,13	0,65	2,89	3,0	0,8	4,3	83,33	0,00
10-50	4,5			0,00	0,00	0,00		0,00	0,43	2,23	2,2	0,4	0,0	100	0,00
50-120	4,7			0,02	0,00	0,00		0,02	0,19	1,9	1,9	0,2	1,0	90,47	0,00

C = Nº03 (continuação) ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS															
Horizonte	C	N	MOS	C/N	ATAQUE POR H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ( 1:1 ) - dag/kg						SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Equivalência de CaCO <sub>3</sub> (%)
					Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	livre (%)	(Ki)	(Kr)					
	%				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO					
0-10			2,6												
10-50			2,0												
50-120			1,3												

D = Nº04

Data: 06/12/2005

<p><b>Classificação</b> : ARGISSOLO AMARELO Distrófico</p> <p><b>Localização</b> : Boa Vista 0736245W e 0291369N</p> <p><b>Situação, declividade e erosão</b> : área plana com 0 a 3% e erosão laminar ligeira.</p> <p><b>Material originário</b> : Sedimentos pré-intemperizados do Complexo Guianense.</p> <p><b>Drenagem</b> : Bem drenado</p> <p><b>Relevo</b> : Relevo Plano a Suave Ondulado.</p> <p><b>Cobertura Vegetal</b> : Savana.</p>	<p><b>Ap</b> 0 – 25 cm; (10 YR 5/6, úmido); franco argiloso; fraca e moderada pequena e média granular; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>Bt</b> 25 -150<sup>+</sup> cm; (7,6 YR 5/8, úmido); Franco argiloso; fraca e pequena em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.</p> <p><b>OBS:</b> Confirmar se é ou não do empreendimento</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

