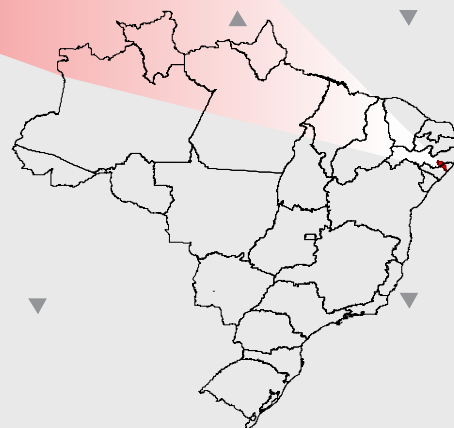


Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

Vazões Máximas Diárias
Análise de Frequência Regional

Sistema de Alerta: Bacia do rio Mundaú



2023

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES
Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e
Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

SISTEMA DE ALERTA DA BACIA DO MUNDAÚ
VAZÕES MÁXIMAS DIÁRIAS
ANÁLISE DE FREQUÊNCIA REGIONAL

Múcio Valença Virões
Eber José de Andrade Pinto



Recife

2023

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Alexandre Silveira de Oliveira

SECRETÁRIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Vítor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Inácio Cavalcante Melo Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Andrea de Oliveira Germano

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Emanuel Duarte Silva

Achiles Monteiro (*in memoriam*)

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

Coordenação Executiva do DEHID - Projeto Regionalização de Vazões

Eber José de Andrade Pinto

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE

Superintendente

Hortência Maria Barboza de Assis

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Robson de Carlo da Silva

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Cleide Regina Moura da Silva

Gerente de Infraestrutura Geocientífica

Douglas Silva Luna

Gerente de Administração e Finanças

Maria de Fátima Amorim Guerra

REALIZAÇÃO

Superintendência de Recife

AUTORES

Múcio Valença Virões

Eber José de Andrade Pinto

EQUIPE EXECUTORA

Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo – SUREG/PA

Múcio Valença Virões – SUREG/RE

Paula Kristhina Cordeiro Freire – REFO

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPA

Ivete Souza do Nascimento - SUREG/BH

Janaína Marise França de Araújo –SUREG/RE

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

V813p Virões, Múcio Valença.

Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: sistema de alerta da bacia do Mundaú, vazões máximas diárias, análise de frequência regional / Múcio Valença Virões, Eber José de Andrade Pinto. – Recife: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2023.

1 recurso eletrônico : PDF ; il.

Programa de Gestão de Riscos e Desastres.

Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos.

ISBN 978-65-5664-425-7

1. Hidrologia - Brasil. 2. Regionalização de Vazões. 3. Mundaú, Rio. I. Pinto, Eber José de Andrade. II. Título.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nelma Botelho CRB-4 2341

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

www.sgb.gov.br

<https://rigeo.sgb.gov.br>

seus@sgb.gov.br

APRESENTAÇÃO

O Projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade hídrica no território nacional, bem como, sobre a frequência de ocorrência das vazões e/ou das cotas.

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, o conhecimento da frequência é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola, abastecimento público e na adoção de políticas públicas.

Dentre os objetivos da ação dos Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos, destaca-se a realização de estudos de análise de frequência regional de vazões.

A análise de frequência regional possibilita a determinação das vazões máximas associadas a uma probabilidade de ser igualada ou superada. Os resultados da análise, ou seja, os quantis serão utilizados como valores de projeto no dimensionamento de diversas estruturas hidráulicas ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Esta análise estatística também pode ser utilizada de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de cheia ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário. Tipo de informação que é bastante útil para sistemas de alerta de cheias que poderão divulgar, além das previsões e dos valores observados, a raridade do evento acompanhado.

Este estudo apresenta os resultados da análise de frequência regional das vazões máximas observadas na bacia do rio Mundaú a partir das estações fluviométricas de monitoramento localizadas no Estado de Pernambuco e Alagoas. Os resultados deste estudo poderão ser aplicados em 30 municípios, sendo dezesseis em Pernambuco e quatorze em Alagoas. No estado de Pernambuco estão os municípios de Angelim, Brejão, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Quipapá e São João. Enquanto que no estado de Alagoas estão os municípios de Atalaia, Branquinha, Capela, Chã Preta, Ibateguara, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba, e União dos Palmares.

Inácio Cavalcante Melo Neto

Diretor-Presidente Interino

Alice Silva de Castilho

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – CHEIAS HISTÓRICAS DA BACIA DO MUNDAÚ	2
3 – A BACIA DO RIO MUNDAÚ	7
3.1 – Hidrografia e a Rede de Estações Fluviométricas	7
3.2 – Clima e Pluviometria	13
3.3 – Relevo: Altitude, Declividade e Unidades de Relevo	17
3.4 – Solos	22
3.5 – Vegetação	31
3.6 – Cobertura e Uso da terra	36
3.7 – Geologia	40
3.8 – Hidrogeologia	45
3.9 – Infiltração Potencial Máxima	50
4 – METODOLOGIA	57
4.1 – Regionalização de vazões máximas anuais	57
4.1.1 – Medida de discordância - D_i	60
4.1.2 – Medida de heterogeneidade - H	61
4.1.3 – Teste de aderência - Z	63
4.1.4 – Equações de Regressão do Fator de Adimensionalização	64
5 – RESULTADOS DA REGIONALIZAÇÃO	66
5.1 – Análise dos dados	66
5.2 – Definição das regiões homogêneas	67
5.3 – Seleção das distribuições de frequência regionais	68
5.4 – Regressões para Estimativa das Médias das Vazões Máximas Anuais	71
6 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	75
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	82
REFERÊNCIAS	84
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Registro da cheia em São José da Laje, Alagoas, em junho de 2010 no rio Canhoto. Fonte: CPRM, 2010.	3
Figura 2.2 – Inundação da Usina Laginha com enorme tanque de álcool em União dos Palmares, junho de 2010 no rio Mundaú. Fonte: CPRM, 2010.	4
Figura 2.3 – Cheia em Santana do Mundaú às 15:20, 18/06/2010, no rio Mundaú. Fonte: CPRM, 2010.	4
Figura 2.4 – Registro da destruição em Santana do Mundaú às 07:40, 19/06/2010. Fonte: CPRM, 2010.	5
Figura 2.5 – Destruição total das casas na margem esquerda do rio Mundaú em União dos Palmares na cheia de 2010. Fonte: CPRM, 2010.	5
Figura 2.6 – Destruição total das casas na margem direita do rio Mundaú em União dos Palmares na cheia de 2010. Fonte: CPRM, 2010.	6
Figura 3.1.1 – Mapa hidrográfico da bacia do Mundaú destacando os cursos monitorados obtido das cartas disponíveis no Ministério de Meio Ambiente (2021) a partir da escala de 1:100.000 com correções feitas a partir do basemap ArcGis 10. Fonte: elaborado pelos autores.	7
Figura 3.1.2 – Localização das estações fluviométricas na hidrografia simplificada da bacia do rio Mundaú. Fonte: elaborado pelos autores.	8
Figura 3.1.3 – Diagrama Unifilar da bacia do Mundaú. Fonte: elaborado pelos autores.	9
Figura 3.1.4 – Perfil longitudinal do trecho do rio Inhaúma associado a área de drenagem da estação fluviométrica Palmeirina – 39715000. Fonte: elaborado pelos autores.	11
Figura 3.1.5 – Perfil longitudinal do trecho do rio Mundaú associado a área de drenagem da estação fluviométrica Santana do Mundaú – 39700000. Fonte: elaborado pelos autores.	11
Figura 3.1.6 – Perfil longitudinal do curso principal (rio Canhoto e parte do rio Mundaú) associado a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Boa Fortuna – 39770000. Fonte: elaborado pelos autores.	12
Figura 3.2.1 – Mapa de Clima para a bacia do Mundaú 2002. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2002), escala 1:5.000.000, e Alvares et al. (2013) conjuntamente com Precipitação Média Anual 1977-2006, Pinto et al. (2011).	13
Figura 3.2.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelo clima conforme classificação do IBGE (2002) nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.	15
Figura 3.3.1 – Mapa do Relevo para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de Unidades de Relevo IBGE (2006), 1:5.000.000, com Declividade e Altitude obtido a partir do SRTM 30m elaborado pelos autores.....	17

Figura 3.3.2 – Mapa do Relevo para a bacia do Mundaú 2021 destacando áreas acima e abaixo de 20% de declividade. Fonte: elaborado pelos autores...	20
Figura 3.4.1 – Mapa de Solos para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado dos mapas estaduais de mesmo tema da Embrapa (2018, 2021a), escala 1:100.000, elaborado pelos autores.	22
Figura 3.4.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas classes de Solos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores..	27
Figura 3.5.1 – Mapa de Vegetação para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2021), 1:250.000, elaborado pelos autores.	31
Figura 3.5.2 – Mapa de Vegetação para a bacia do Mundaú 2004. Fonte: Santos (2013).	32
Figura 3.5.3 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas Fitotipos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.	35
Figura 3.6.1 – Mapa de Cobertura e Uso da terra para a bacia do Mundaú 2018/2020. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2020) a partir de células de 1 km ² e elaborado pelos autores.	36
Figura 3.6.2 – Gráfico dos percentuais ocupados pelas classes da Cobertura e Uso da terra nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.	38
Figura 3.7.1 – Mapa geológico simplificado para a bacia do Mundaú. Fonte: adaptado das folhas Recife, Angelim e Wanderley (2004), e Kosin et al. (2004) a partir da elaboração dos autores.	40
Figura 3.7.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas Unidades Geológicas nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.	42
Figura 3.8.1 – Mapa de Hidrogeologia para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007) elaborado pelos autores.	45
Figura 3.8.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelos Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.	48
Figura 3.9.1 – Representação gráfica da formulação do método do Soil Conservation Service (SCS) no cálculo da Infiltração Potencial Máxima. Fonte: elaborado pelos autores.	50
Figura 3.9.2 – Mapa dos valores de Infiltração Potencial Máxima nas três (03) condições de umidade antecedente obtidos a partir dos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011). Fonte: elaborado pelos autores.	55
Figura 3.9.3 – Mapa dos valores de CN nas três (03) condições de umidade antecedente obtidos a partir dos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011). Fonte: elaborado pelos autores.	56
Figura 5.2.1 – Distribuições Adimensionais e a Regional. (SO* - Sem Outlier). Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: elaborado pelos autores.	67

Figura 5.3.1 – Diagrama Assimetria-L x Curtose-L. Fonte: elaborado pelos autores.	69
Figura 5.4.1 – Regiões definidas para aplicação das equações de regressão na estimativa da média das vazões máximas anuais, desde que atenda à condição mínima de monitoramento fluviométrico. Fonte: elaborado pelos autores.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados a classificação climática do IBGE (2002) presentes na bacia do Rio Mundaú.	14
Tabela 3.2.2 – Valores das estatísticas das precipitações nas áreas de drenagens das estações estudadas (mm).	16
Tabela 3.3.1 – Valores percentuais das diversas condições de declividade do relevo nas áreas de drenagens das estações fluviométricas.	21
Tabela 3.4.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as classes de Solos presentes na bacia do Rio Mundaú.	23
Tabela 3.4.2 – Valores das áreas ocupadas pelas classes nas áreas de drenagens das estações estudadas (km ²).	27
Tabela 3.5.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as fitotipos presentes na bacia do Rio Mundaú.	33
Tabela 3.5.2 – Valores das áreas ocupadas pelos Fitotipos nas áreas de drenagens das estações estudadas (km ²).	34
Tabela 3.6.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as classes de Cobertura e Uso da terra presentes na bacia do Mundaú.	37
Tabela 3.6.2 – Valores das áreas ocupadas pelas classes nas áreas de drenagens das estações estudadas (km ²).	39
Tabela 3.7.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as litologias presentes na bacia do Rio Mundaú.	41
Tabela 3.7.2 – Valores das áreas ocupadas pelas Unidades Geológicas nas áreas de drenagens das estações estudadas (km ²).	43
Tabela 3.8.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados aos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos presentes na bacia do Rio Mundaú.....	46
Tabela 3.8.2 – Valores das áreas ocupadas pelos Domínios/Subdomínios nas áreas de drenagens das estações estudadas (km ²).	48
Tabela 3.9.1 – Valores de Infiltração Potencial Máxima e de CN obtidos de cheias de diversos anos das 04 estações selecionadas para o estudo.	51
Tabela 3.9.2 – Reclassificação dos tipos de solos em grupos hidrológicos e sua codificação para geoprocessamento (álgebra de mapas).	52
Tabela 3.9.3 – Reclassificação dos tipos de Cobertura e Uso da terra para geoprocessamento (álgebra de mapas).	53
Tabela 3.9.4 – Codificação para o mapa de CNII.	53
Tabela 3.9.5 – Valores médios obtidos a partir dos mapas de Infiltração Potencial Máxima (S) e CN para 03 condições de umidade.	54
Tabela 4.1.1.1 - Valores críticos da medida de discordância – Di.	61
Tabela 5.1.1 – Estações Fluviométricas utilizadas no estudo de regionalização..	66
Tabela 5.3.1 – Momentos-L e Razões-L das séries empregadas no estudo.	68
Tabela 5.3.2 – Momentos-L e Razões-L das séries empregadas no estudo.	68
Tabela 5.3.3 – Resultados do teste de aderência Z.	68
Tabela 5.3.4 – Parâmetros da distribuição regional adimensional.	70

Tabela 5.3.5 – Quantis regionais adimensionais.	70
Tabela 5.4.1 – Resultados estatísticos do modelo não-linear relacionando a Média das Vazões Anuais Máximas e Área de Drenagem conjuntamente com o Percentual da Área de Drenagem (em valor absoluto) que possua declividade do relevo maior que 20%.	72
Tabela 5.4.2 – Resultados estatísticos do modelo não-linear que relaciona a Média das Vazões Anuais Máximas e Área de Drenagem conjuntamente com a Precipitação Média Anual.	73
Tabela 6.1 – Tempos de retorno das vazões de referência do sistema de Alerta do Mundaú.....	80

ANEXOS

Anexo I – Variáveis explicativas e dependentes

Anexo II – Momentos-L - Conceitos Básicos

Anexo III – Dados utilizados, Curva-Chave, Estatísticas e Vídeos na INTERNET sobre alguns grandes eventos de cheia no rio Mundaú

1 – INTRODUÇÃO

A bacia do rio Mundaú está situada na região Nordeste do Brasil, entre os estados de Pernambuco e Alagoas envolvendo 16 e 14 municípios, respectivamente. No estado de Pernambuco são os municípios de Angelim, Brejão, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Quipapá e São João. Enquanto que no estado de Alagoas são os municípios de Atalaia, Branquinha, Capela, Chã Preta, Ibateguara, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba, e União dos Palmares.

Registro de eventos de cheias com perdas de vidas humanas e de grandes danos materiais ocorreram ao longo da história nesta região hidrográfica. Em junho de 2010, ocorreu uma cheia de grandes proporções, evento crítico que provocou enormes destruições nas cidades atingidas. Isso motivou mais tarde a implantação do Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) da bacia do rio Mundaú em dezembro de 2017. Esta iniciativa foi tomada pela CPRM/SGB – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil em parceria com a ANA – Agência Nacional de Águas, a SEMARH-AL – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (Previsão Meteorológica) e a APAC-PE - Agência Pernambucana de Águas e Clima (Previsão Meteorológica).

As principais atividades da operação do SAH rio Mundaú consistem na coleta dos dados hidrometeorológicos, o armazenamento dessas informações, a sua análise, a elaboração da previsão hidrológica e a sua divulgação. Durante todo o período chuvoso os dados hidrometeorológicos são obtidos em 08 pontos instalados na bacia do rio Mundaú. Os níveis dos rios nas estações fluviométricas monitoradas com as respectivas cotas de alerta e de inundação são divulgados por meio de um boletim. Quando a cota de alerta é alcançada, havendo um risco mais elevado de ocorrer uma inundação, o monitoramento é intensificado com emissão mais frequente de boletins, incluindo as previsões para os níveis dos rios nos municípios monitorados. A CPRM/SGB transmite semanalmente para a SEMARH-AL (sala de alerta), Defesa Civil e prefeituras dos municípios da bacia do Mundaú, um boletim contendo os níveis dos rios nas estações fluviométricas. Além destes níveis, o boletim contém a cota de alerta e de inundação de algumas estações da bacia.

Hoje em dia o SAH rio Mundaú tem como objetivo alertar os municípios da bacia quanto ao risco de ocorrência de enchentes. Os dois principais municípios beneficiados são Murici e União dos Palmares localizados no estado de Alagoas.

2 – CHEIAS HISTÓRICAS DA BACIA MUNDAÚ

Vários foram os eventos de cheias na bacia do Mundaú que provocaram grandes perdas materiais e de vidas. Existem importantes registros de mais de 52 anos antes dos dias atuais (2021).

Em São José da Laje - AL há registros em vídeo dos estragos da cheia do ano de 1969 do rio canhoto, afluente do rio Mundaú (São José [...], 2018). Neste período não havia monitoramento na região, mas é possível ver a grandeza da destruição apesar da pouca qualidade das imagens da época: Pontes, Igrejas e diversas habitações, muitas ribeirinhas, foram devastadas. Mais de 200 mortos e mil desaparecidos é o registro na primeira página do jornal Diário de Pernambuco (16/03/1969). O evento ocorreu na madrugada do dia 14 de março de 1969, segundo um morador, a 00h45min, conforme consta no site da História de São José da Laje (História [...], 2019). Ainda neste mesmo site, ao tratar do rio Canhoto, fala que este evento se compara a uma “onda gigante no sertão” que deixou um saldo de mais de 1800 mortos e 10 mil desabrigados. O Prefeito da época de São José da Laje, Oscar Alves de Andrade, disse ao Jornal do Comércio (16/03/1969) que somente em 1945 houve enchente de tamanhas proporções na cidade.

Os registros de eventos de cheias com vazões acima de 150 m³/s em Santana do Mundaú – 39700000, última estação do rio Mundaú instalada em 1990, antes da confluências com o rio Canhoto, ocorreram em 1994, 2000, 2005, 2009, 2010 e 2017 associados respectivamente aos valores estimados de 191,92 m³/s (20/06/1994), 202,59 m³/s (17/09/2000), 182,60 m³/s (02/06/2005), 201,98 m³/s (10/06/2009), 874,21 m³/s (máxima histórica em 18/06/2010), e 169,32 m³/s (01/07/2017), conforme estudos recentes da Análise de Frequência Local dessa estação (Virães; Pinto, 2020a). Para estes mesmos anos, as vazões estimadas para São José da Laje (última estação no rio Canhoto antes da confluência com o rio Mundaú) foram de 55,95 m³/s (20/06/1994), 231 m³/s (01/08/2000), 132,24 m³/s (18/06/2005), 72,66 m³/s (25/08/2009), 379 m³/s (máxima histórica em 18/06/2010), e 108,60 m³/s (28/05/2017) (Virães; Pinto, 2020b). E para o mesmo período na estação Fazenda Boa Fortuna (última estação mais próxima do exutório da bacia do Mundaú) foram de 619 m³/s (21/06/1994), 1422,47 m³/s (02/08/2000), 619,77 m³/s (04/06/2005), 459,69 m³/s (11/06/2009), 2239,43 m³/s (máxima histórica em 18/06/2010), e 678,58 m³/s (29/05/2017) (Virães; Pinto, 2020c). Até 2010 há poucas estações com dados pluviométricos em acordo com as recomendações da OMM para densidade de estações pluviométricas/pluviográficas. Posteriormente ao evento histórico de máxima vazão em 2010, também foram instaladas mais estações pluviométricas, do tipo telemétricas, por toda a bacia. Sendo assim, as chuvas estimadas na bacia do Mundaú nos meses dos eventos de cheias citados, obtidas utilizando o método dos polígonos de Thiessen a partir das séries das estações pluviométricas disponíveis (pluviômetros) para todo o período no site da ANA e INMET, foram de 372,6 mm (Jun./1994), 270,3 mm (Ago./2000), 233,9 mm (Set./2000), 357,9 mm (Jun./2005), 185,7 mm (Jun./2009), 186,9 mm (Ago./2009), 450,0 mm

(Jun./2010) e 397,9 mm (Mai./2017) e 359,8 mm (Jul./2017). Lembrando que o método dos polígonos de Thiessen não leva em consideração a altitude das estações onde ocorrem maiores precipitações, e esses valores mensais podem ser subestimados. Ocorre também que a única estação pluviométrica disponível na parte alta da bacia do Mundaú, região agreste pernambucana, é o posto de Garanhuns (INMET), localidade conhecida por possuir um microclima diferenciado.

A cheia de 2010 foi um dos eventos de maior impacto na bacia do Mundaú na história recente desta região atingindo municípios tanto do estado de Pernambuco como do estado de Alagoas. Naquele momento, a CPRM/SGB realizou atividades de campo para obter os primeiros levantamentos hidrológicos e topográficos através do Projeto de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos: Enchentes de Alagoas em junho 2010 (CPRM, 2010). Diversas informações sobre esta bacia estão reunidas na dissertação da Engenheira Hidróloga da CPRM/SGB, Keyla Almeida (Santos, 2013). Em seu trabalho, a pesquisadora cita que o evento de 2010 ocorreu devido ao fenômeno meteorológico chamado “Onda de Leste”, intensificado pelo aumento da temperatura do Oceano Atlântico juntamente com a intensificação dos ventos alísios, conforme nota técnica do Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco – LAMEPE: “Analisando os dados sobre o evento meteorológico, verificamos que se tratava de uma Onda de Leste, intensificada por um sistema frontal, localizado sobre o Atlântico Sul, o qual fortaleceu esse sistema meteorológico. Além disso, as temperaturas elevadas da água do mar, adjacente a costa de Pernambuco, contribuíram ainda mais para instabilizar a atmosfera”.

A seguir fotos dos eventos de cheias de 2010 na bacia do rio Mundaú:



Figura 2.1 – Registro da cheia em São José da Laje, Alagoas, em junho de 2010 no rio Canhoto.

Fonte: CPRM, 2010.



Figura 2.2 – Inundação da Usina Laginha com enorme tanque de álcool em União dos Palmares, junho de 2010 no rio Mundaú. Fonte: CPRM, 2010.



Figura 2.3 – Cheia em Santana do Mundaú às 15:20, 18/06/2010, no rio Mundaú. Fonte: CPRM, 2010.



Figura 2.4 – Registro da destruição em Santana do Mundaú às 07:40, 19/06/2010. Fonte: CPRM, 2010.



Figura 2.5 – Destruição total das casas na margem esquerda do rio Mundaú em União dos Palmares na cheia de 2010. Fonte: CPRM, 2010.



Figura 2.6 – Destruição total das casas na margem direita do rio Mundaú em União dos Palmares na cheia de 2010. Fonte: CPRM, 2010.

3 – A BACIA DO RIO MUNDAÚ

3.1 – Hidrografia e a Rede de Estações Fluviométricas

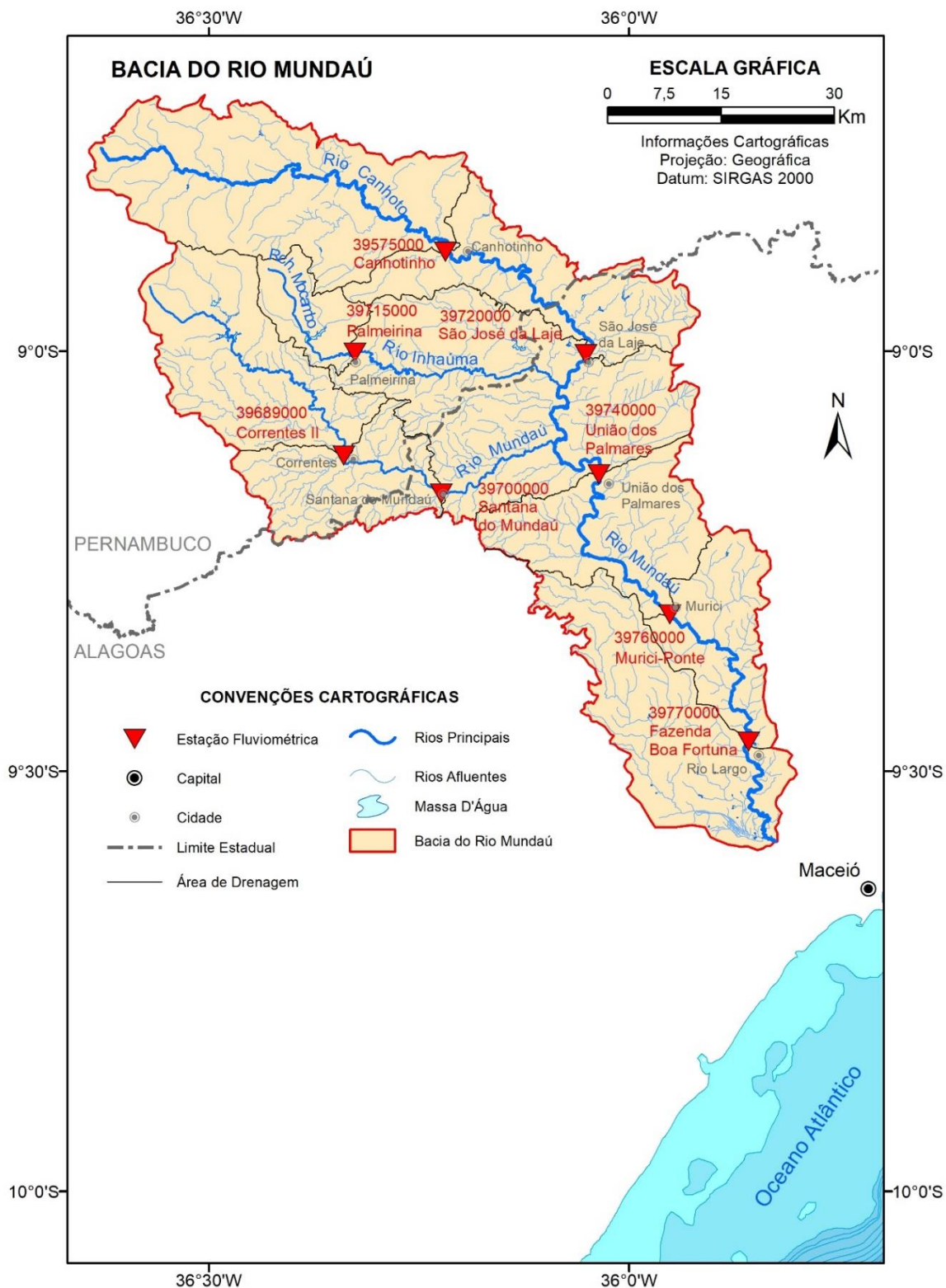


Figura 3.1.1 – Mapa hidrográfico da bacia do Mundaú destacando os cursos monitorados obtido das cartas disponíveis no Ministério de Meio Ambiente (2021) a partir da escala de 1:100.000 com correções feitas a partir do *basemap* ArcGIS 10. Fonte: elaborado pelos autores.

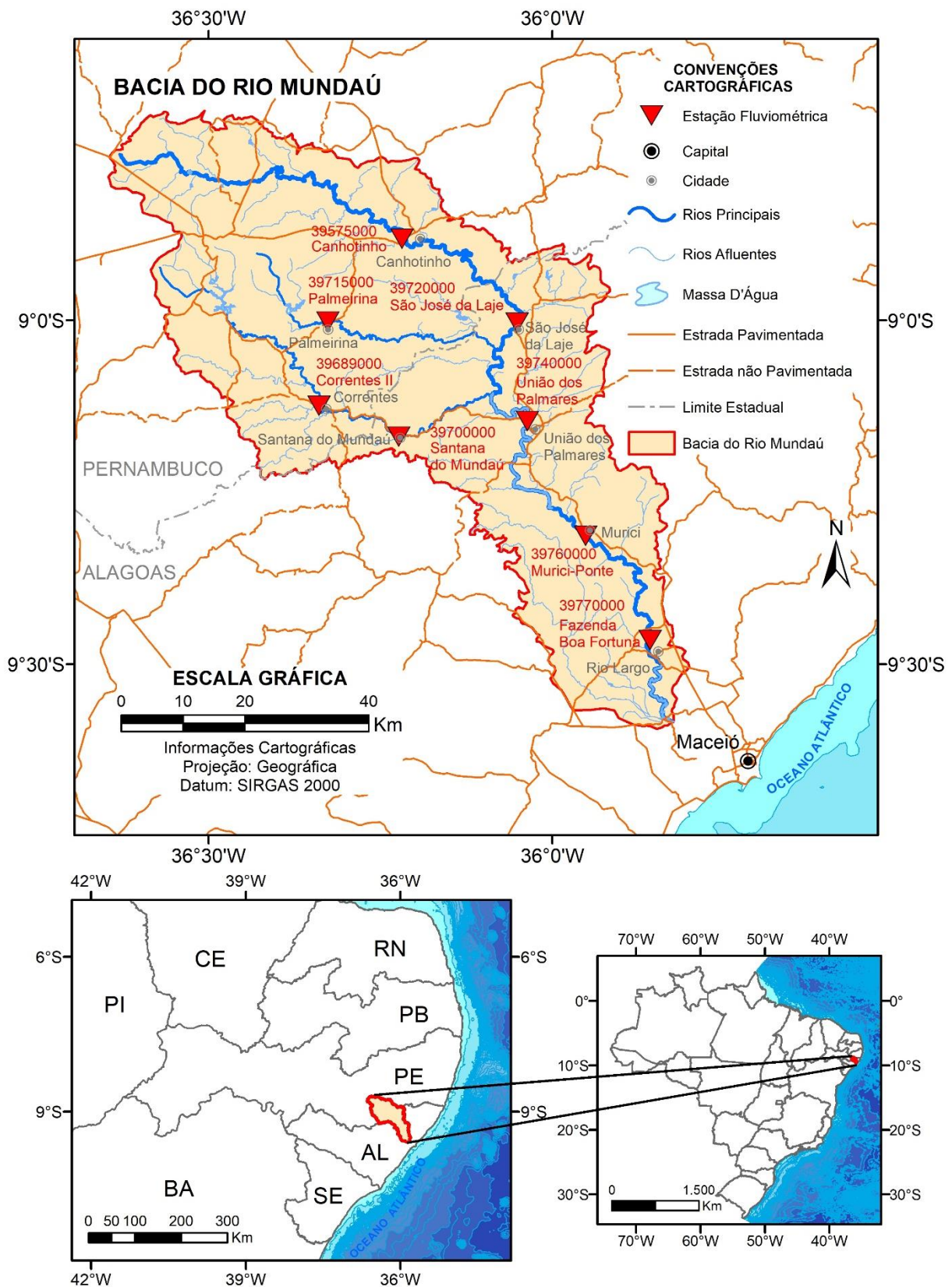


Figura 3.1.2 – Localização das estações fluviométricas na hidrografia simplificada da bacia do rio Mundaú. Fonte: elaborado pelos autores.

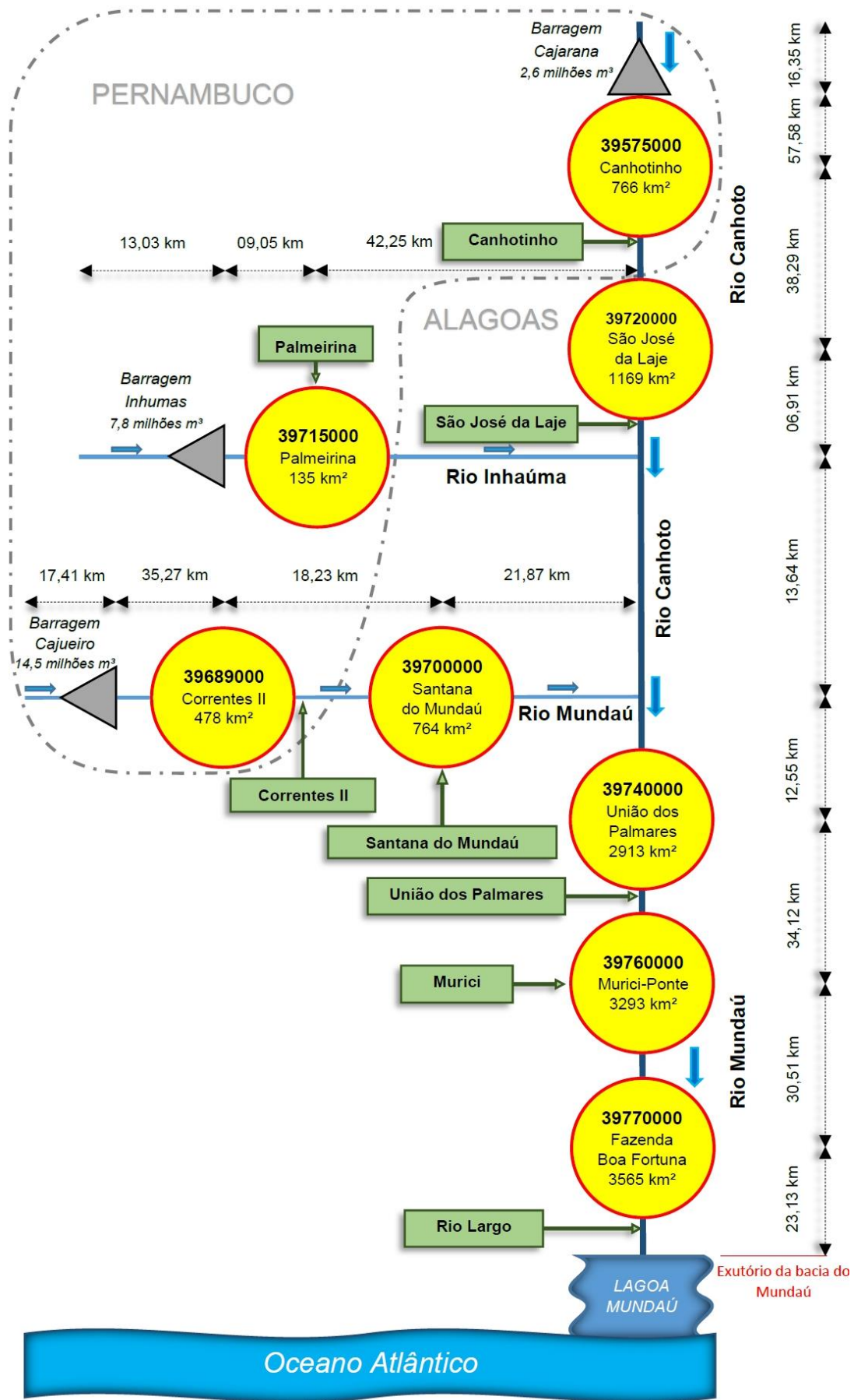


Figura 3.1.3 – Diagrama Unifilar da bacia do Mundaú. Fonte: elaborado pelos autores.

O curso principal da bacia do rio Mundaú, conforme Resolução Nº 399 de 23/07/2004 da Agência Nacional de Águas - ANA, é formado em sua maior parte pelos rios Canhoto, com nascente localizada na cabeceira do riacho do Mel, entre os municípios de Caetés-PE e Capoeira-PE no planalto da Borborema, e parte do rio Mundaú, com sua foz na lagoa Mundaú, a qual se conecta ao Oceano Atlântico. A área drenada pelo curso principal desta bacia (Figura 3.1.1), ocupa uma região de aproximadamente 4.082 km², com 2.166,06 km² localizada em Pernambuco (53,1%) e 1.916,00 km² em Alagoas (46,9%), conforme mapa de localização da Figura 3.1.2. Esta região abrange as coordenadas 08° 41' 30" e 09° 36' 03" de latitude Sul, e 35° 47' 49" e 36° 38' 58" de longitude Oeste (Agência Pernambucana de Águas E Clima, 2021). Os municípios que fazem parte da bacia do rio Mundaú localizados no Estado de Pernambuco são: Angelim, Brejão, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Correntes, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa do Ouro, Lajedo, Palmeirina, Quipapá e São João. E aqueles localizados no Estado de Alagoas são: Atalaia, Branquinha, Capela, Chã Preta, Ibateguara, Messias, Murici, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Santana do Mundaú, São José da Laje, Satuba, e União dos Palmares.

Das oito (08) estações estudadas, cinco (05) delas estão localizadas no curso principal da bacia do rio Mundaú, e as restantes em dois outros cursos d'água: Uma (01) no rio Inhaúma, e duas (02) no trecho montante do Mundaú que está fora do curso principal (limitado pela foz do rio Canhoto), sendo estes considerados os principais afluentes no estudo aqui desenvolvido. A estação Correntes II – 39689000 foi extinta em 08/2022, e substituída pela estação reativada de Correntes – 39690000, mas que não coincidiu com o período deste estudo. A Figura 3.1.3 apresenta o diagrama unifilar da bacia para uma melhor compreensão.

Os perfis dos trechos dos rios foram obtidos a partir da planimetria das *shapes* de hidrografia obtidas das cartas disponíveis do Ministério do Meio Ambiente (2021) e cotas obtidas do SRTM de 30 metros. A seguir, nas Figuras 3.1.4, 3.1.5 e 3.1.6, são expostos os gráficos de perfil longitudinal até as estações mais a jusante no curso principal, e nos dois afluentes a este:

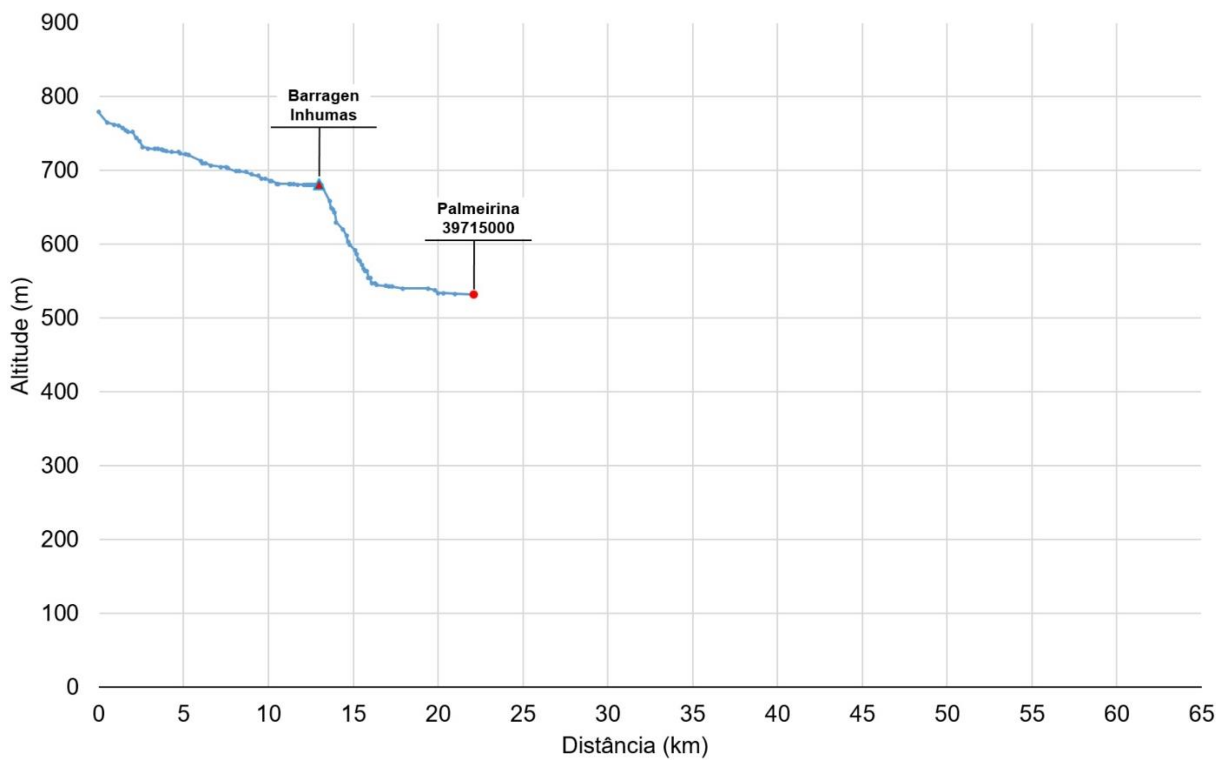


Figura 3.1.4 – Perfil longitudinal do trecho do rio Inhaúma associado a área de drenagem da estação fluviométrica Palmeirina - 39715000. Fonte: elaborado pelos autores.

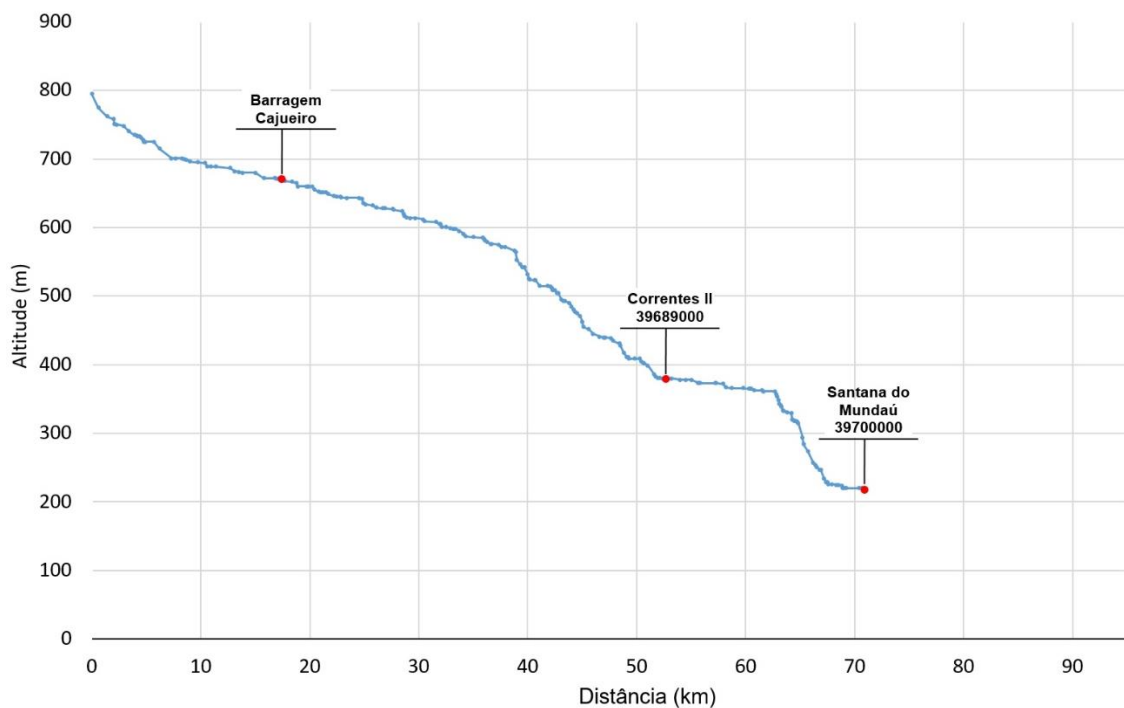


Figura 3.1.5 – Perfil longitudinal do trecho do rio Mundaú associado a área de drenagem da estação fluviométrica Santana do Mundaú - 39700000. Fonte: elaborado pelos autores.

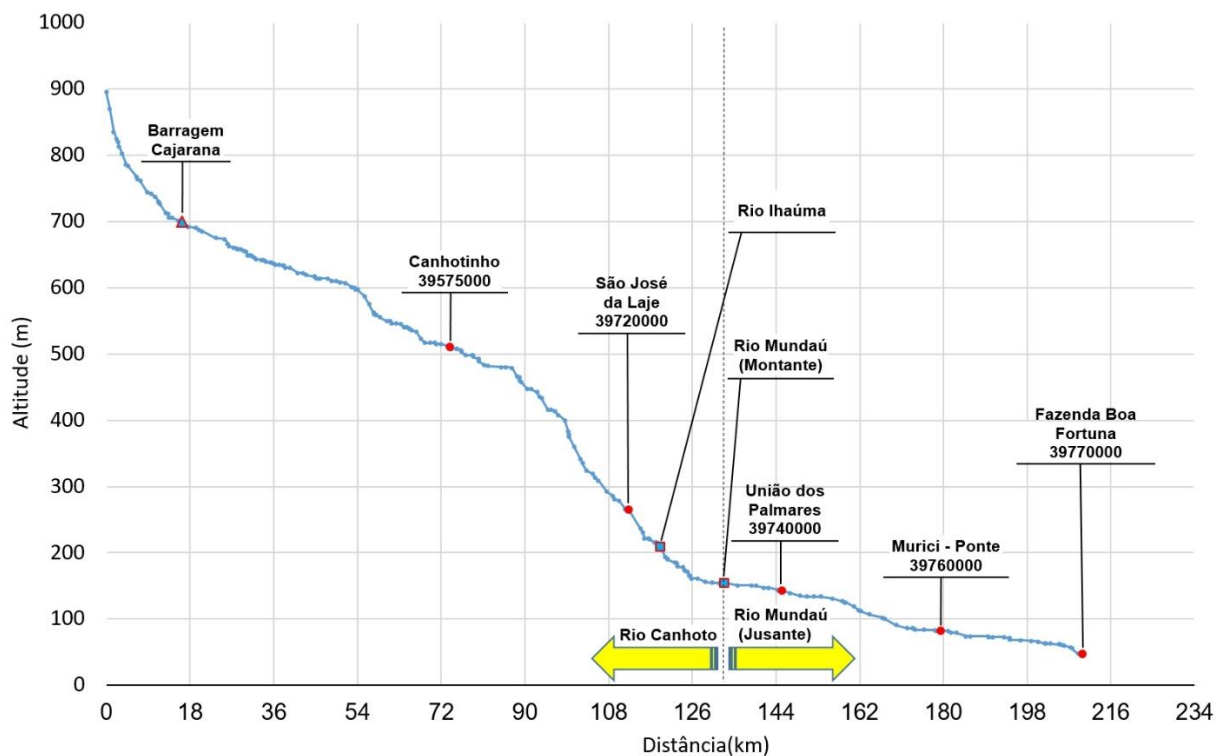


Figura 3.1.6 – Perfil longitudinal do curso principal (rio Canhoto e parte do rio Mundaú) associado a área de drenagem da estação fluviométrica Fazenda Boa Fortuna – 39770000. Fonte: elaborado pelos autores.

3.2- Clima e Pluviometria

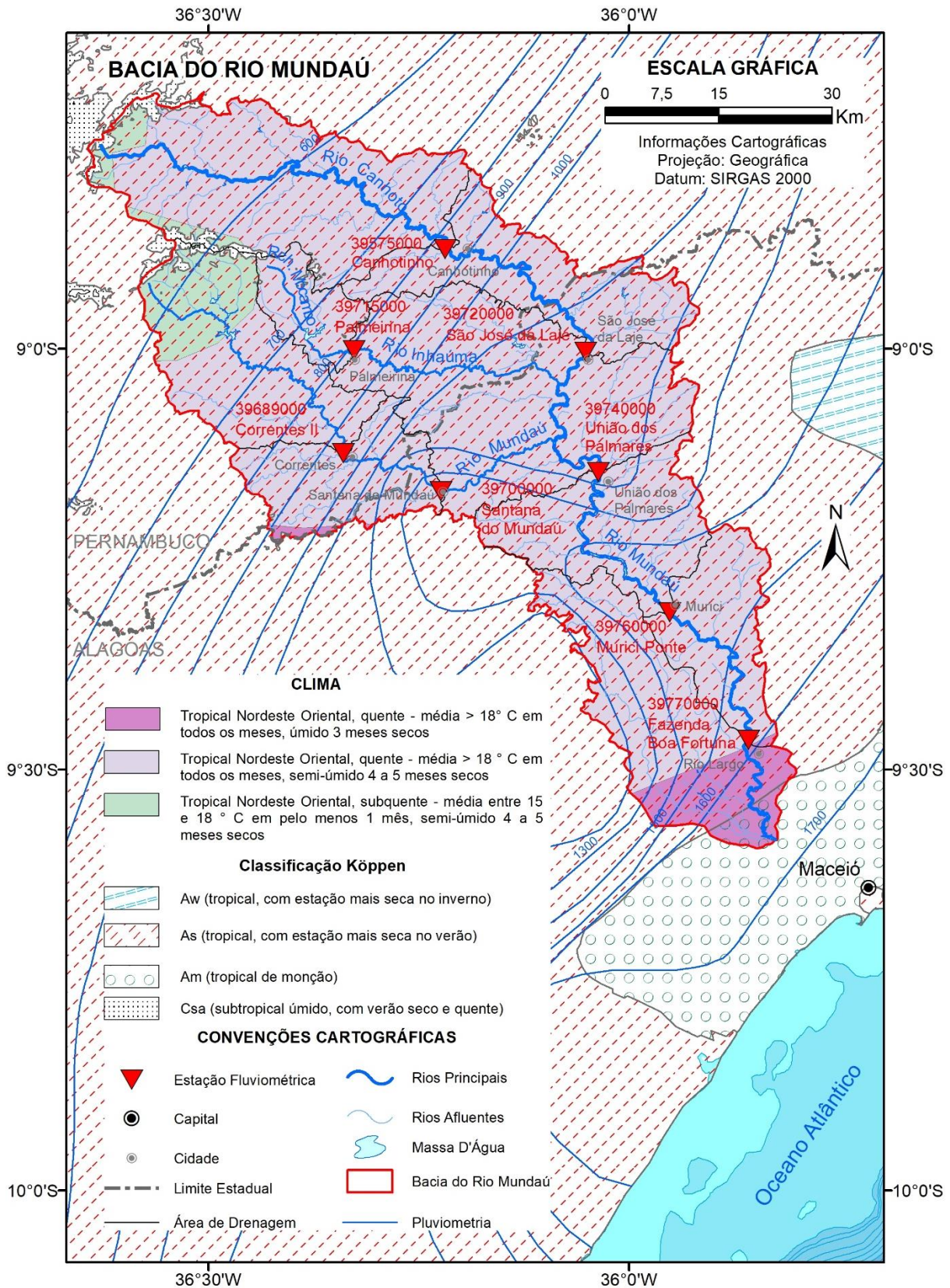


Figura 3.2.1 – Mapa de Clima para a bacia do Mundaú 2002. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2002), escala 1:5.000.000, e Alvares *et al.* (2013) conjuntamente com Precipitação Média Anual 1977-2006, Pinto *et al.* (2011).

A bacia do Mundaú possui a parte pernambucana como mesorregião Agreste, enquanto a parte alagoana é definida como mesorregião Leste.

A região hidrográfica da bacia do Mundaú, conforme a classificação Köppen de 2013 (Figura 3.2.1), Alvares *et al.* (2013), é tomada na sua maior parte pela classificação As (tropical, com estação mais seca no verão), com algumas pequenas áreas na região noroeste da bacia classificadas como Csa (subtropical úmido, com verão seco e quente), e, na região do exutório da bacia do Mundaú, como Am (tropical de monção), o que, devido as mudanças sazonais dos ventos, geram chuvas intensas e também períodos bem secos.

Tabela 3.2.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados a classificação climática do IBGE (2002) presentes na bacia do Rio Mundaú.

CLIMA (CLASSIFICAÇÃO IBGE)	ÁREA (Km²)	PERCENTUAL (%)
TNO, quente - média > 18 ° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos.	3646,6	89,3
TNO, quente - média > 18° C em todos os meses, úmido 3 meses secos.	187,6	4,6
TNO, subquente - média entre 15 e 18 ° C em pelo menos 1 mês, semi-úmido 4 a 5 meses secos.	247,8	6,1

Já conforme a classificação climática do IBGE de 2002 (Figura 3.2.1 e Tabela 3.2.1), a bacia se divide em 3 regiões de clima Tropical Nordeste Oriental (TNO): Uma a noroeste (6,1 % da área da bacia), subquente, com média de temperatura entre 15 e 18 graus em pelo menos 1 mês, semiúmido de 4 a 5 meses secos; outra que toma a maior parte da bacia (89,3%), quente, com média de temperatura maior que 18 graus em todos os meses, semiúmido de 4 a 5 meses secos ao ano; e por fim, numa área próximo ao exutório da bacia e num pequeno trecho oeste da mesma, ocupando 4,6% da bacia do Mundaú, quente com média de temperatura acima de 18 graus em todos os meses, úmido com 3 meses secos ao ano.

Na bacia do rio Mundaú atuam a Massa Polar Atlântica (MPA), a Massa Tropical Atlântica (MTA) e a Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS). No curso baixo da bacia do Rio Mundaú a MPA, atuante no inverno, já chega enfraquecida e à medida que adentra a bacia, suas características de baixa temperatura e baixa umidade tornam-se ainda mais fracas. No verão atua a MTA com elevadas temperaturas e umidade que vão se amenizando quanto mais se afastam do litoral, chegando já quase sem umidade no sertão nordestino. Também atuando no verão, a MEAS é onde se verifica maior amplitude térmica (Marcuzzo; Romero; Cardoso, 2011).

Chove anualmente, em média, na bacia do Mundaú 1031 mm. Conforme a Figura 3.2.1, as isoietas de precipitação média anual acumulam maiores precipitações a partir da divisão estadual entre Pernambuco e Alagoas no sentido jusante até o exutório, variando neste espaço de 1100 mm até em torno de 1650 mm de chuva na média anual. A montante da divisão estadual, os valores diminuem para a cabeceira

dos principais rios, montante da bacia, variando de 1000 mm a pouco menos de 600 mm de chuva na média anual.

Do ponto de vista das áreas de drenagens, não há praticamente variação quando observada a classificação Köppen, mantendo mais significativamente a classe As, clima tropical, com estação seca no verão, em todas estas áreas. Observando pequenas aparições da classe Csa (tropical, com verão seco e quente) na divisa das áreas de drenagens entre as estações de Correntes II – 39689000, Canhotinho – 39575000 e em algumas pouco significantes regiões entre Palmeirina – 39715000 e Canhotinho - 39575000. Além da pequena área de cabeceira do rio canhoto, noroeste da área de drenagem de Canhotinho – 39575000.

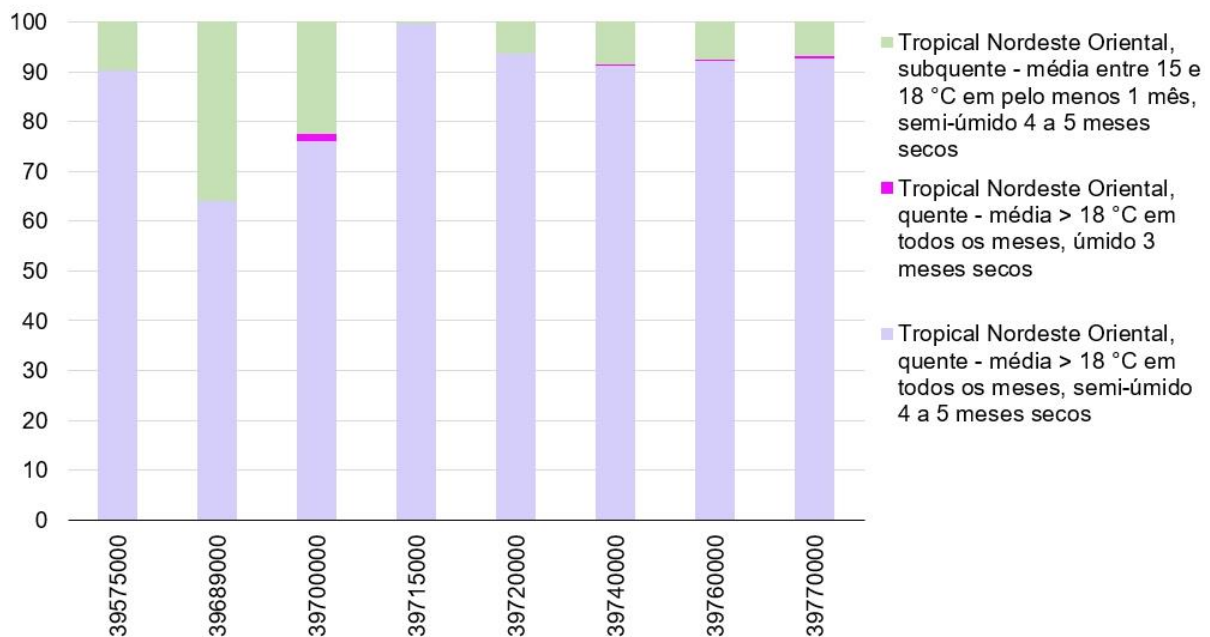


Figura 3.2.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelo clima conforme classificação do IBGE (2002) nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme a classificação climática do IBGE de 2002 (Figura 3.2.2), observa-se que as 03 estações de maiores áreas de drenagens, 39770000 – Fazenda Boa Fortuna, 39760000 - Murici-Ponte e 39740000 – União dos Palmares, são as poucas que possuem as 03 classes possíveis para a bacia do Mundaú, somando-se a elas apenas a estação 39700000 – Santana do Mundaú. O restante possui clima Tropical Nordeste Oriental quente e subquente, ou seja, de modo geral, com média de temperatura acima dos 15 graus, com clima semi-úmido de 4 a 5 meses secos. Destaque para a estação 39715000 – Palmeirina que em sua área tem maior presença do clima Tropical Nordeste Oriental quente (temperaturas médias maiores de 18 graus em todos os meses).

Tabela 3.2.2 – Valores das estatísticas das precipitações nas áreas de drenagens das estações estudadas (mm).

PRECIPITAÇÕES	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Precipitação Média Anual (mm)	633,1	693,1	816,0	695,1	764,1	877,3	929,7	972,2
Precipitação Trimestral Média (Abril, Maio, Junho)	256,0	352,1	400,8	340,5	315,4	389,4	407,0	424,0
Precipitação Trimestral Média (Maio, Junho, Julho)	272,9	399,4	455,1	383,4	344,1	435,1	457,0	477,8
Precipitação Trimestral Média (Junho, Julho, Agosto)	252,7	384,5	439,5	366,1	324,4	416,1	436,1	454,2

Quanto as chuvas, Tabela 3.2.2, as precipitações médias anuais por área de drenagem variam de 633,1 mm a 972,2 mm, conforme Precipitação Média Anual 1977-2006, Pinto *et al.* (2011), sendo os maiores valores, acima de 800 mm, observados nas estações 39700000 – Santana do Mundaú, 39740000 – União dos Palmares, 39760000 – Murici-Ponte e 39770000 – Fazenda Boa Fortuna. O trimestre chuvoso médio anual de maior volume ocorre nos meses de maio, junho e julho, com o total trimestral médio nas áreas de drenagem das estações estudadas variando entre 272,9 mm a 477,8 mm.

3.3- Relevo: Altitude, Declividade e Unidades de Relevo

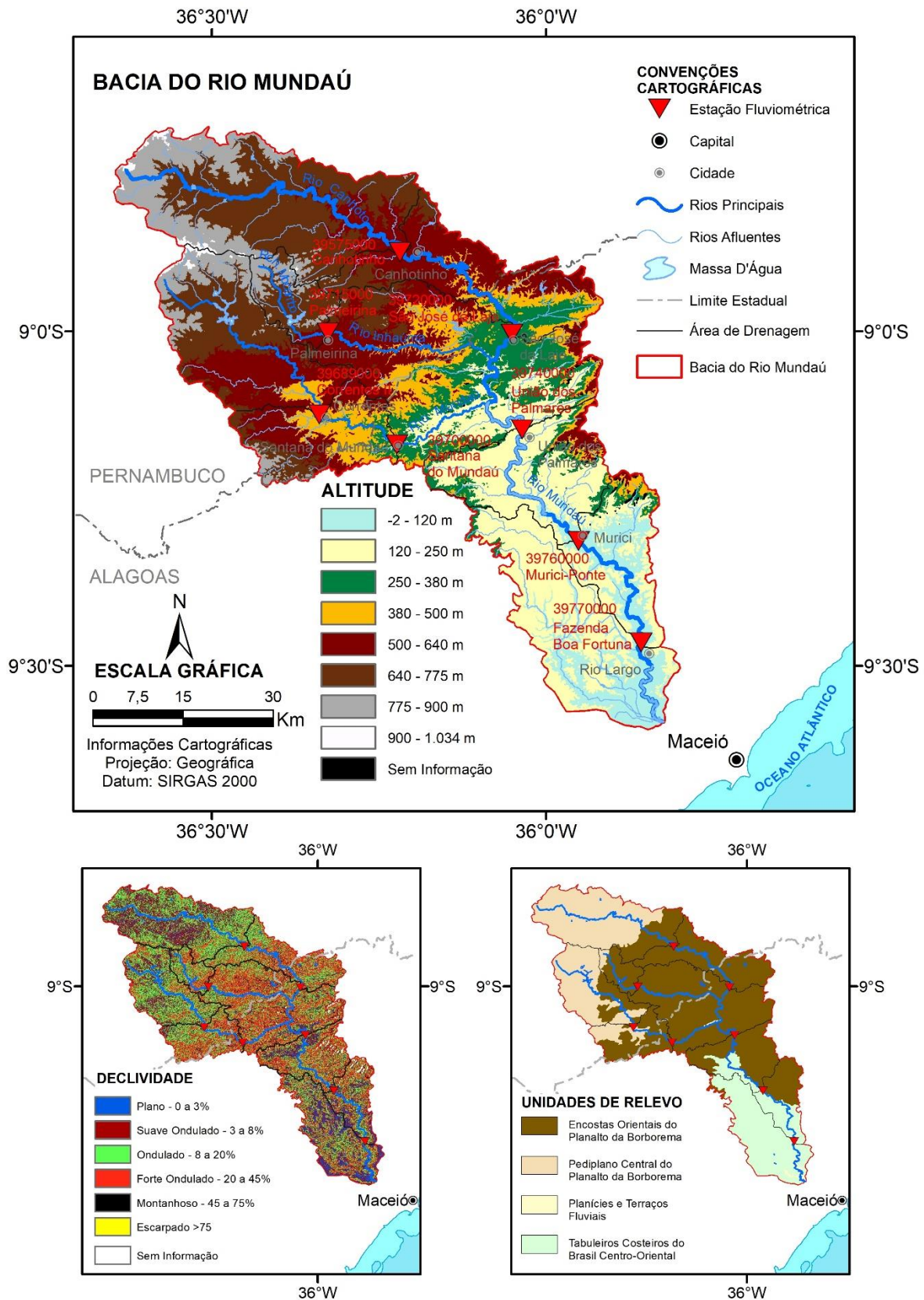


Figura 3.3.1 – Mapa do Relevo para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de Unidades de Relevo IBGE (2006), 1:5.000.000, com Declividade e Altitude obtido a partir do SRTM 30m elaborado pelos autores.

As altitudes na bacia do Mundaú (Figura 3.3.1) vão diminuindo das cabeceiras dos principais rios estudados, a noroeste da região hidrográfica, até o exutório do curso principal no setor sudeste, variando entre 1034 metros até 2 metros negativos, conforme SRTM de 30 metros obtido USGS – ArcExplorer, 2021.

Segundo critério de classificação topográfica do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos – SNLC, (Embrapa, 1988), são reconhecidas as seguintes classes de relevo:

Plano - Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis entre 0 e 3 %;

Suave ondulado - Superfície topográfica pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%;

Ondulado - Superfície topográfica pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%;

Forte ondulado - Superfície topográfica movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45 %;

Montanhoso - Superfície topográfica vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%;

Escarpado - Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

Como pode se observar a seguir na Figura 3.3.1, a bacia do Mundaú apresenta a maior parte de seu relevo enquadrado na classificação de relevo Ondulado, com 37,3% da sua área com essa característica, seguido de 27,7% de relevo Forte Ondulado e 23,5% de relevo Suave Ondulado. Relevos de maiores declives (> 20%) totalizam 30,8% da área da bacia. Sendo a região montanhosa e escarpada concentrada próxima às estações União dos Palmares - 39740000 e Nordeste de Murici-Ponte – 3976000 (apresentando muita falha de dados no SRTM30 metros), região mais central da bacia do Mundaú, com traços montanhosos não se estendendo muito mais que na margem esquerda do rio Inhaúma, nas proximidades de Palmeirina – 39715000, na margem esquerda e direita do rio Mundaú, entre Correntes II – 39689000 e a confluência com o rio Canhoto, e entre Canhotinho - 39575000 e São

José da Laje - 39720000. Relevos de menores declividades (< 8%) totalizam 31,9% da área da bacia. Com regiões planas a suaves onduladas encontradas em toda a bacia, mas com 04 áreas bem destacadas no setor noroeste, envolvendo a região de cabeceira do curso principal, setor oeste, e região mais central nas proximidades da estação União dos Palmares - 39740000, além da área sul-sudeste da bacia, com ocorrências na localidade da estação Murici- Ponte 3976000, mais concentrada à jusante, na margem direita do curso principal até o exutório do rio Mundaú.

As unidades geomorfológicas de terceiro nível se referem as formas de relevo que compõe as unidades de relevo como planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras, conforme descrição no Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009). Desta forma, as unidades de relevo encontradas na bacia do Mundaú (Figura 3.3.1) se dividem em parte do Planalto da Borborema e fora dele. Compondo o mesmo, observa-se as Encostas Orientais, área íngreme, a qual abrange 56,7% da área hidrográfica ocupando o setor mais central, norte e leste da bacia, e o Pediplano Central, área plana acima da região das Encostas Orientais, que ocupa o setor noroeste a oeste (25,6% da área da bacia). Externamente ao Planalto da Borborema, observa-se os Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental na região sudeste da bacia, 17,1% da área hidrográfica, em direção ao Oceano Atlântico. Ainda surgem com pouca expressão, com 0,5% da área da bacia do Mundaú, as Planícies e terraços Fluviais que ocorrem em trechos dos rios, na confluência do rio Canhoto e o rio Mundaú, no exutório da do curso principal, e os Corpos D'água Continental com menos de 0,1% da região estudada.

Olhando do ponto de vista das áreas de drenagens, as altitudes médias variam entre 582 metros e 512 metros para as 03 estações com maiores áreas e mais a jusante no curso principal, 39770000, 39760000, e 39740000. A área de drenagem com maior altitude média é a estação 39715000 (745,42 m), seguida da estação 39575000 (732,31 m). As duas Unidades de Relevo: Encostas Orientais e Pediplano Central do Planalto Central fazem parte de todas as áreas das estações estudadas. A área da estação 39740000, inclui também as Planícies e Terraços Fluviais. Já as áreas das estações 39760000 e 39770000, são as únicas que possuem todas as 04 Unidades de Relevo, incluindo também os Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental. Com respeito à Declividade do relevo das áreas das estações estudadas, todas as estações possuem como maior percentual o tipo Ondulado, declive entre 8% a 20%, sempre com percentual acima de 38% de suas áreas de drenagens. Relevo escarpado não ultrapassa 0,08% de qualquer área de drenagem, sendo praticamente nula esta classificação entre as áreas de drenagens das estações 39575000, 39689000 e 39715000.

Para fins de estudo foi desenvolvido um mapa de declividade revelando áreas com declividades maiores que 20% (Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado), na Figura 3.3.2 a seguir, para estudar o impacto destas nas médias das vazões máximas anuais das estações fluviométricas.

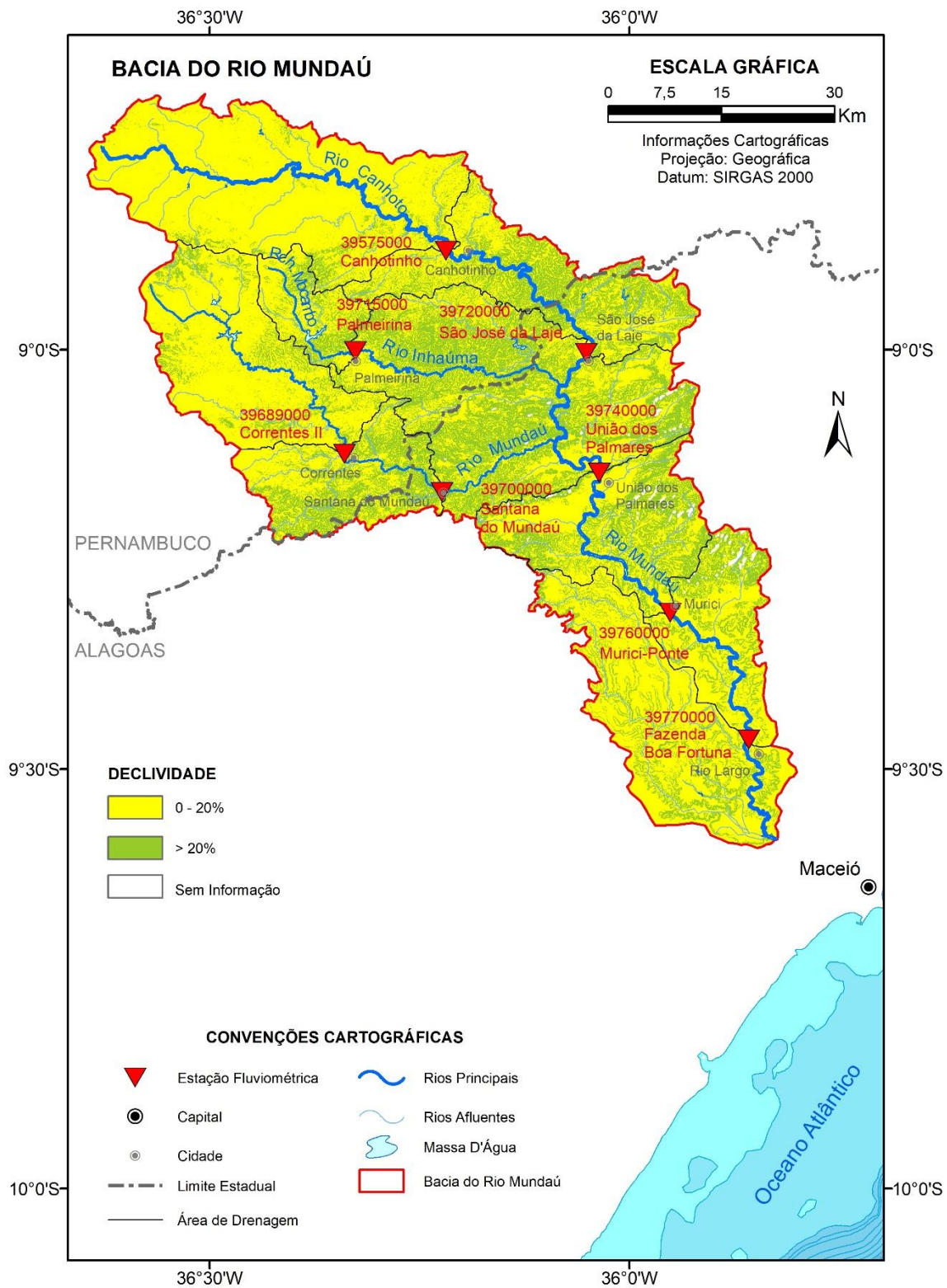


Figura 3.3.2 – Mapa do Relevo para a bacia do Mundaú 2021 destacando áreas acima e abaixo de 20% de declividade. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 3.3.1 informa os valores percentuais encontrados em cada área de drenagem das estações fluviométricas estudadas para diversas condições de declividade de relevo.

Tabela 3.3.1 – Valores percentuais das diversas condições de declividade do relevo nas áreas de drenagens das estações fluviométricas.

NOME	CÓDIGO	Relevo Plano [0 a 3%] (%)	Relevo Suave Ondulado [3 a 8%] (%)	Relevo Ondulado [8 a 20%] (%)	Declividade > 8% [AD8] (%)	Declividade > 20% [AD20] (%)
Canhotinho	39575000	10,60	39,92	42,84	49,48	6,65
Correntes II	39689000	7,28	28,72	48,58	64,00	15,42
Santana do Mundaú	39700000	5,84	23,30	44,40	70,86	26,46
Palmeirina	39715000	4,15	16,60	45,14	79,25	34,11
São José da Laje	39720000	7,92	30,49	41,95	61,59	19,64
União dos Palmares	39740000	6,03	22,64	39,99	71,33	31,35
Murici - Ponte	39760000	6,21	22,29	39,01	71,51	32,50
Fazenda Boa Fortuna	39770000	6,79	22,49	38,38	70,73	32,35

3.4 – Solos

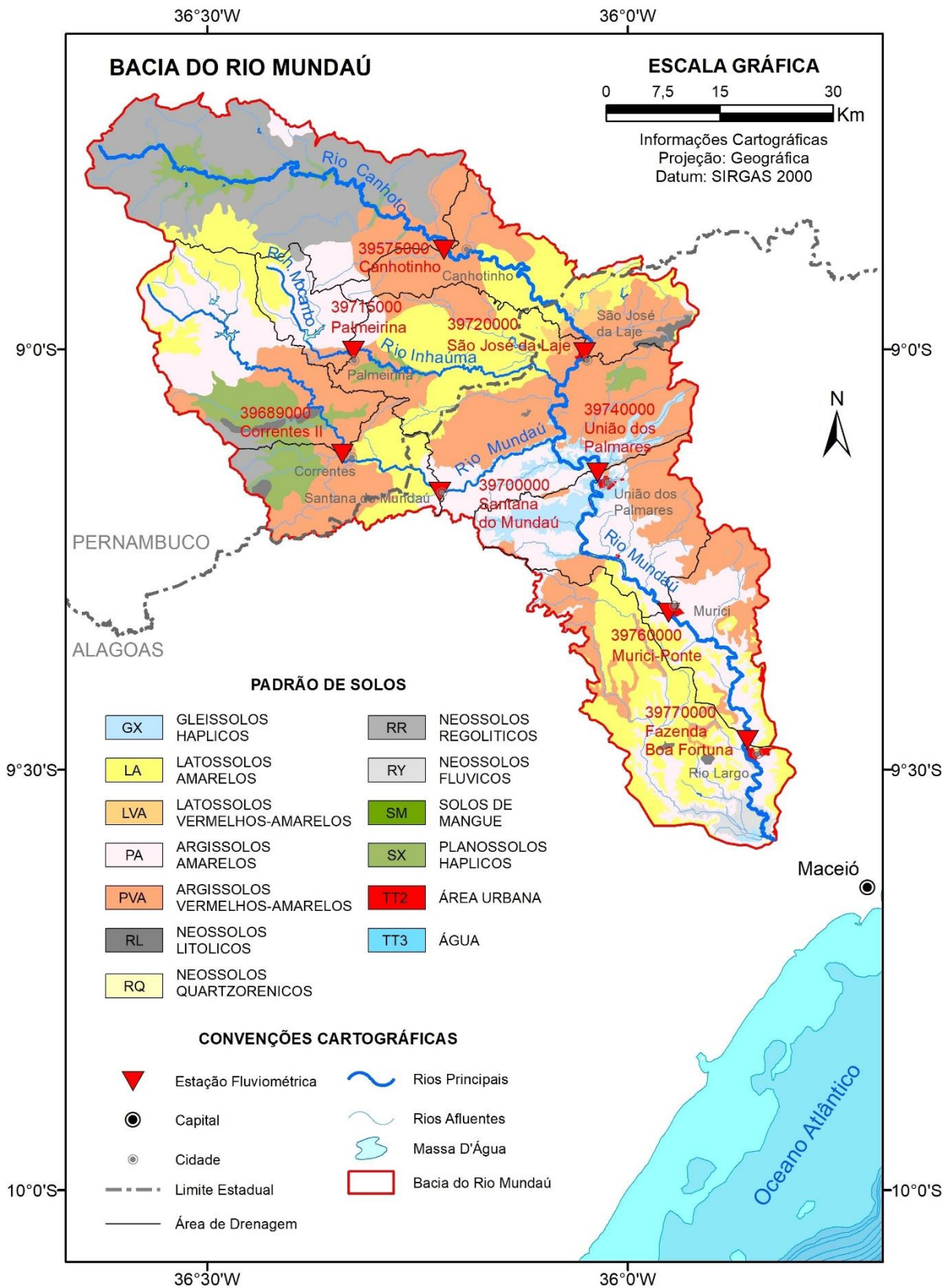


Figura 3.4.1 – Mapa de Solos para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado dos mapas estaduais de mesmo tema da Embrapa (2018, 2021a), escala 1:100.000, elaborado pelos autores.

O estudo do solo no Brasil é um processo de experiência coletiva envolvendo profissionais de diversas instituições nacionais de pesquisa e ensino sob coordenação da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), cujas publicações do Sistema de Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) datam de 1999, com a quinta edição em 2018.

O mapa de Solos para a bacia do Mundaú foi obtido a partir dos estudos da EMBRAPA divididos em duas publicações: Em 2018 o mapa de Solos para Pernambuco (Embrapa, 2018) e em 2021 para Alagoas (Embrapa, 2021a). Ambos construídos na escala 1:100.000 de acordo com SiBCS (Embrapa, 2006), cujo recorte para a bacia pode ser observado na Figura 3.4.1. Como os mapas publicado em 2018 e 2021 para a região de estudo foram elaborados conforme a segunda edição do SiBCS de 2006, está será a referência utilizada aqui.

A Tabela 3.4.1 mostra os valores das áreas e percentuais encontrados por classificação dos solos para a bacia do Mundaú:

Tabela 3.4.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as classes de Solos presentes na bacia do Rio Mundaú.

CLASSES	ÁREA (km ²)	PERCENTUAL (%)
GX - Gleissolos Háplicos	121,44	2,97
LA - Latossolos Amarelos	932,30	22,84
LVA - Latossolos Vermelhos-Amarelos	28,33	0,69
PA - Argissolos Amarelos	887,05	21,73
PVA - Argissolos Vermelhos-Amarelos	1246,70	30,54
RL - Neossolos Litólicos	32,22	0,79
RQ - Neossolos Quartzorênicos	0,52	0,01
RR - Neossolos Regolíticos	537,20	13,16
RY - Neossolos Flúvicos	37,56	0,92
SM - Solos De Mangue	0,10	0,002
SX - Planossolos Háplicos	240,04	5,88
TT2 - Área Urbana	12,09	0,30
TT3 - Água	6,52	0,16

Observa-se que algumas classes possuem percentuais insignificantes e não serão retratados nesse estudo. Para não ficar cansativo a descrição destes solos, apenas serão apresentadas algumas classes mais presentes na bacia do Mundaú associadas ao 1º nível categórico (*Ordem*), não sendo detalhado a outros níveis categóricos. Mais informações podem ser obtidas no SiBCS (Embrapa, 2006).

Para alguns entendimentos, esclarece-se resumidamente que:

Caráter Alítico – São solos em condição dessaturada, com baixa fertilidade, principalmente alto teor de alumínio (≥ 4 cmol_c/kg) que afeta raízes das plantas e atividade de argila (≥ 20 cmol_c/kg) (Embrapa, 2021b; Embrapa, 2006).

Cerosidade – Revestimento de aspecto lustroso e brilho graxo (oleoso), similar à cera derretida e escorrida, em unidades estruturais ou partículas primárias, resultante de material inorgânico (muitas vezes argilas), ou rearranjo de partículas causada pela mudança do volume da massa do solo em resposta a períodos secos e úmidos. (Embrapa, 2006).

Horizontes Diagnósticos – São estratificações dos solos conforme a profundidade encontrada, por exemplo, Horizonte A são solos das camadas superficiais e Horizonte B são solos das camadas subsuperficiais. (Branco, 2014; Embrapa, 2006).

Horizonte A Chernozêmico (“*Cherno*”, preto, rico em matéria orgânica) – Segundo o SiBCS (Embrapa, 2006), este é um horizonte mineral superficial, relativamente espesso, de cor escura, com alta saturação por bases (65% ou mais, com predomínio do íon cálcio e/ou magnésio).

Horizonte B Textural – Conforme Embrapa (2006), é um horizonte mineral subsuperficial com textura franco-arenosa ou mais fina, onde houve incremento de argila (fração <0,002mm), resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação (recepção de material oriundo de outros horizontes) e/ou formação in situ e/ou herdada do material de origem e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila no horizonte A e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é maior que o do horizonte A ou E e pode, ou não, ser maior que o do horizonte C.

Horizonte B Plânico - É um tipo especial de horizonte B textural, com ou sem caráter sódico, subjacente a horizontes A ou E, apresentando transição abrupta para os horizontes superiores, normalmente com mudança textural abrupta. Apresenta permeabilidade lenta ou muito lenta e cores acinzentadas ou escurecidas, podendo ou não possuir cores neutras de redução, com ou sem mosqueados (salpicado com manchas escuras). Este horizonte apresenta teores elevados de argila dispersa e pode ser responsável pela formação de lençol de água suspenso, de existência temporária. As cores do horizonte plânico refletem a sua baixa permeabilidade. (Embrapa, 2006)

Horizonte B Latossólico (“*Lat*”, muito alterado) – Horizonte que pode conter mais argila do que o horizonte sobrejacente, porém o incremento da fração argila com o aumento da profundidade é pequeno, de maneira que comparações feitas a intervalos de 30cm ou menos entre os horizontes A e B, ou dentro da seção de controle para cálculo da relação textural, apresentam diferenças menores que aquelas necessárias para caracterizar um horizonte B textural. Apresenta baixa a fraca cerosidade. (Embrapa, 2006)

Horizonte Vértico (“*Vertere*”, *inverter*) - É um horizonte mineral subsuperficial que, devido à expansão e contração das argilas, apresenta feições pedológicas típicas, que são as superfícies de fricção (“*slickensides*”). A sua textura mais frequentemente varia de argilosa a muito argilosa, admitindo-se na faixa de textura média um mínimo de 300g/kg de argila.

Horizonte plíntico – Caracteriza-se por possuir Plintita $\geq 15\%$, formação constituída de mistura material de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro ou ferro e alumínio, com grãos de quartzo e outros minerais. A presença de Plintita indica drenagem imperfeita e restringe a profundidade efetiva do solo. Se forma em terrenos com lençol freático alto ou que pelo menos apresente restrição temporária à percolação da água (Embrapa, 2006; Embrapa, 2021c).

Horizonte Glei – São solos minerais hidromórficos, Plintita $\leq 15\%$, resultado da modificação sofrida pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento durante todo o ano ou parte dele por influência do lençol freático (Embrapa, 2006; Embrapa, 2021c).

Horizonte Hístico - É um tipo de horizonte constituído predominantemente de material orgânico, contendo 80 g/kg ou mais de carbono orgânico, resultante de acumulações de resíduos vegetais depositados superficialmente, ainda que, no presente, possa encontrar-se recoberto por horizontes ou depósitos minerais e mesmo camadas orgânicas mais recentes. Compreende materiais depositados nos solos sob condições de excesso de água (horizonte H), por longos períodos ou todo o ano, ainda que no presente tenham sido artificialmente drenados, e materiais depositados em condições de drenagem livre (horizonte O), sem estagnação de água, condicionados pelo clima úmido, como em ambiente altimontano.

As classes mais relevantes encontradas na bacia hidrográfica do Mundaú foram as seguintes:

ARGISSOLOS (*Argila*):

São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico, na maior parte do horizonte B, podendo apresentar horizontes plíntico ou glei, desde que não se enquadrem nos critérios para Plintossolo ou Gleissolo, respectivamente.

LATOSSOLOS (“*Lat*”, muito alterado):

São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura.

NEOSSOLOS (“Neo”, novo):

São solos poucos evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, podendo apresentar horizontes plíntico, glei, vértico e A chernozêmico, desde que não se enquadrem nas classes Plintossolos, Gleissolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente.

PLANOSSOLOS:

São solos formados por material mineral mal drenados com horizonte A ou E seguidos de horizonte B plânico, não coincidente com horizonte plíntico ou glei. Apresentam geralmente acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta. Ocorrem em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde há periodicidade anual de excesso de água, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada e clima semiárido.

GLEISSOLOS:

São solos compostos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos (solos orgânicos), **não** apresentando:

- a) Horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizontes glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou
- b) Textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico, podendo apresentar horizonte plíntico desde que com profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

Apresentadas as características das classes de Solos encontradas na bacia do Mundaú, avalia-se a participação destas nas áreas de drenagem das estações estudadas.

Observando as classes de Solos nas áreas de drenagem e na área da bacia, as duas classes com respeito ao 1º nível categórico (Ordem) que não é comum a ambas é a SM – Solos de Mangue e RQ - Neossolos Quartzorênicos, que surgem apenas na foz do rio Mundaú, próximo a influência da Lagoa Mundaú, com área insignificante com respeito à área de estudo.

As classes que estão presentes em todos as áreas de drenagem estudadas são, em ordem de maior participação, Argissolos, Latossolos e Neossolos, conforme Figura 3.4.2 e Tabela 3.4.2.

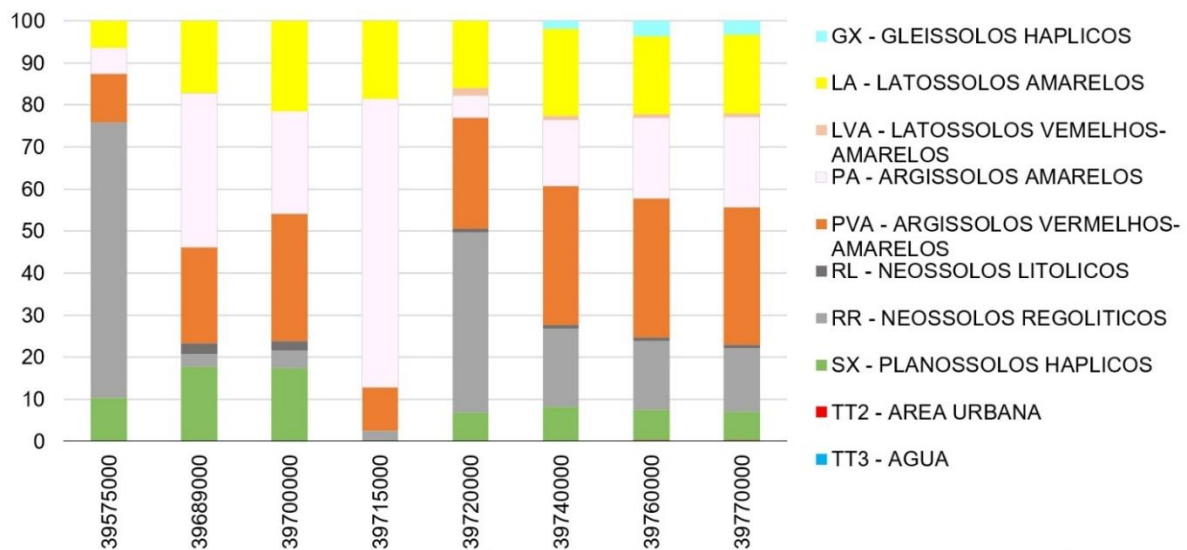


Figura 3.4.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas classes de Solos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3.4.2 – Valores das áreas ocupadas pelas classes nas áreas de drenagens das estações estudadas (km²).

CLASSES	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
GX - Gleissolos Háplicos	-	-	-	-	-	54,07	117,05	117,05
LA - Latossolos Amarelos	48,47	82,15	163,74	24,99	187,00	601,71	611,82	668,56
LVA - Latossolos Vermelhos-Amarelos	-	-	-	-	19,93	28,33	28,33	28,33
PA - Argissolos Amarelos	47,11	175,04	186,41	92,40	62,41	459,45	632,05	766,11
PVA - Argissolos Vermelhos-Amarelos	89,47	109,06	231,19	13,97	308,04	960,91	1088,86	1166,75
RL - Neossolos Litólicos	-	12,41	17,14	-	9,99	28,86	28,86	28,86
RR - Neossolos Regolíticos	501,84	14,22	31,87	3,49	501,84	537,20	537,20	537,20
SX - Planossolos Háplicos	78,93	85,42	133,43	-	78,93	240,04	240,04	240,04
TT2 - Área Urbana	-	-	0,08	-	0,17	0,92	4,78	7,56
TT3 - Água	-	-	-	-	0,50	1,74	4,41	4,56

Os Argissolos ocupam uma área de 2133,75 km² na bacia do Mundaú, enquanto nas áreas de drenagens estudadas ocupam 1932,86 km², uma diferença de cerca de 201 km².

Dentro da área de drenagem da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, a qual engloba todas as outras estações estudadas, vemos a presença dos Argissolos Amarelos, que ocupam 21,49% (766,11 km²) desta região hidrográfica, a partir do trecho entre as estações de 39700000-Santana do Mundaú (24,40%-186,41 km²) e 39740000-União dos Palmares (15,77%-459,45 km²) envolvendo o curso principal dessa estação nesta localidade, seguindo a Sudeste até sua foz. Destaca-se também, para esta subordem, sua forte presença na área de drenagem da estação 39715000-Palmeirina (68,53%-92,40 km²). Estendendo-se ainda para a nascente do rio Mundaú nas áreas de drenagem das estações 396890000-Correntes II (36,60%-175,04 km²) e 39700000-Santana do Mundaú, no entorno da Barragem de Cajueiro, onde também é possível identificar áreas de Latossolos Amarelos.

Porém a Subordem Argissolos Vermelhos-Amarelos tem a maior predominância nesta Ordem na área de drenagem da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, com 1166,75 km² (32,73% da área de drenagem da estação) contra 766,11 km² (21,49%) da Subordem Argissolos Amarelos nesta mesma região hidrográfica. Esta Subordem se localiza em áreas diversas, principalmente a partir da localização da estação 39715000-Palmeirina (10,36%-13,97 km²) até a direção Sul-Sudoeste da estação 396890000-Correntes II (22,80%-109,06 km²) até o limite da bacia do Mundaú; entornos da localização da estação 39575000-Canhotinho (11,68%-89,47 km²); e vizinhanças da estação 39720000-São José da Laje (26,36%-308,04 km²), expandindo-se de Nordeste a Sudoeste em direção a estação 39700000-Santana do Mundaú (30,27%-231,19 km²), mas ainda limitando-se distante desta, atendo-se a meados do curso principal, antes da confluência do rio Mundaú e Canhoto. Ainda continuamente se identifica Argissolos Vermelhos-Amarelos desta área se estendendo para a direção Sudeste próximo ao limite leste da bacia do Mundaú, porém afastado do curso principal, até um paralelo médio entre a estação 39760000-Murici-Ponte (33,06%-1088,86 km²) e 39770000-Fazenda Boa Fortuna, onde a jusante encontram-se Latossolos Amarelos.

Os Latossolos ocupam uma área de 960,63 km² na bacia do Mundaú, enquanto nas áreas de drenagens estudadas ocupam 696,89 km², uma diferença de cerca de 264 km².

Dentro da área de drenagem da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, a qual engloba todas as outras estações estudadas, vemos a presença dos Latossolos Amarelos, que ocupam 18,75% (668,56 km²) desta região hidrográfica, nas vizinhanças próximas e acima da nascente do curso principal associado a área de drenagem 39715000-Palmeirina (18,53%-24,99 km²); restrito ao limite leste e oeste da bacia do Mundaú e ao mesmo tempo cercado em todas as direções pelos Argissolos descritos anteriormente, abrangendo aproximadamente uma região entre 39575000-Canhotinho (06,33%-48,47 km²) e 39720000-São José da Laje (16,00%-187,00 km²), 39715000-Palmeirina e 39720000-São José da Laje, e 396890000-Correntes II (17,18%-82,15 km²) e 39700000-Santana do Mundaú (21,44%-163,74

km²), ocupando a área próxima à divisão estadual entre Pernambuco e Alagoas dentro da bacia; e ocorre também de forma alongada porém mais discreta, paralela ao rio Mundaú (tanto na direção Leste quanto a Oeste deste) na maior parte distantes das proximidades de suas margens, iniciando a partir da margem direita no paralelo médio entre a estação 39740000-União dos Palmares (20,65%-601,71 km²) e 39760000-Murici-Ponte (18,58%-611,82 km²) até a localização da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, destacando-se que a Leste esta subordem é limitada pelo limite da bacia hidrográfica do Mundaú, situando-se após a região à montante de Argissolos Vermelhos-Amarelos já citada nessa localidade.

A área de Latossolos Vermelhos-Amarelos, seja na bacia ou nas áreas de drenagens, apenas encontra-se em uma pequena região próxima à montante da estação 39720000-São José da Laje, cercada por Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelhos-Amarelos conforme Figura 3.4.1. Possui área de apenas 28,33 km², seja na bacia (cerca de 0,69% da bacia do Mundaú) ou nas 04 áreas de drenagens das seguintes estações: 39770000 (0,79%), 39760000 (0,86%), 39740000 (0,97%), e, com percentual máximo de 1,70% (19,93 km²), na estação 39720000 - São José da Laje.

Os Neossolos ocupam uma área de 607,50 km² na bacia do Mundaú, enquanto nas áreas de drenagens estudadas ocupam 566,06 km², uma diferença de cerca de 41 km².

Dentro da área de drenagem da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, a qual engloba todas as outras estações estudadas, vemos a presença dos Neossolos Regolíticos, que ocupam 15,07% (537,20 km²) desta região hidrográfica, apenas a Oeste da localização da estação 39689000-Correntes II (02,97%-14,22 km²) com pequeno destaque, e, com maior destaque, a montante da estação 39575000-Canhotinho (65,53%-501,84 km²). O que caracteriza pouca presença nas outras estações fora do curso principal da bacia do Mundaú: 39715000-Palmeirina (02,59%-03,49 km²) e 39700000-Santana do Mundaú (04,17%-31,87 km²), e bem mais evidente nas outras estações pertencentes ao curso principal da bacia do Mundaú: 39760000-Murici-Ponte (16,31%-537,20 km²), 39740000-União dos Palmares (18,44%- 537,20 km²) e 39720000-São José das Lajes (42,94%- 501,84 km²).

Já os Neossolos Litolíticos representam pouca influência na região com apenas 0,79%(32,22 km²) da bacia do Mundaú e 0,81% (28,86 km²) da área de drenagem da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, sendo mais evidente numa pequena faixa alongada a Leste da estação 39720000-São José da Laje (0,85%-09,99km²), e a Noroeste e a Oeste-Sudoeste da estação 39689000-Correntes II (02,59%-12,41 km²).

Os Gleissolos e Planossolos apresentam pouca presença no contexto dos solos nas áreas de drenagens estudadas, ocupando com respeito a área de drenagem

da estação 39770000-Fazenda Boa Fortuna, 117,05 km² (03,28%), e 240,04 km² (06,73%).

Os Gleissolos estão numa região mesclada com Argissolos, na direção Nordeste-Sudoeste, localizados nas proximidades da estação 39740000-União dos Palmares (01,86%-54,07 km²), porém não participando das áreas de drenagens associadas às estações a montante: Estações 39720000-São José da Laje, e 39700000-Santana do Mundaú. Sua participação na estação 39760000-Murici-Ponte atinge os maiores percentuais, chegando a 3,55% (117,05 km²) da área desta.

Os Planossolos estão localizados espalhados na região mais acima da bacia do Mundaú, só não participando da área de drenagem da estação 39715000-Palmeirina, ainda que seja identificada sua presença a Sudeste (jusante) dessa estação. Também surge a Sudeste da estação 39720000-São José da Laje (06,75%-78,93 km²), a montante, entre as direções Norte e Sudoeste, da estação 39689000-Correntes II (17,86%-85,42 km²), e na área de drenagem da estação 39575000-Canhotinho (10,31%-78,93 km²), participando restritamente em boa parte do leito e margens do curso principal a montante dessa estação, conjuntamente com alguns trechos de parte dos seus afluentes.

3.5 – Vegetação

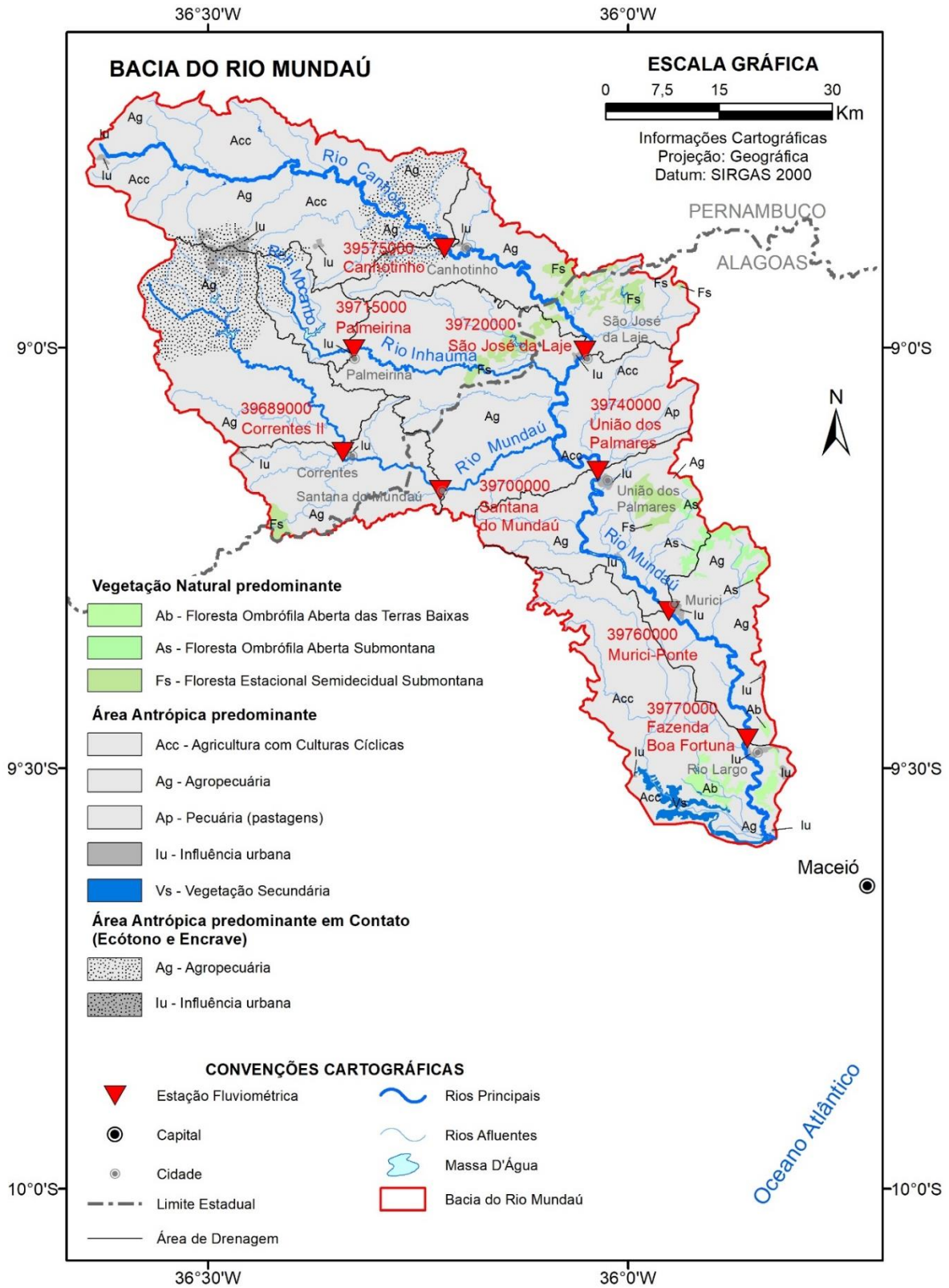
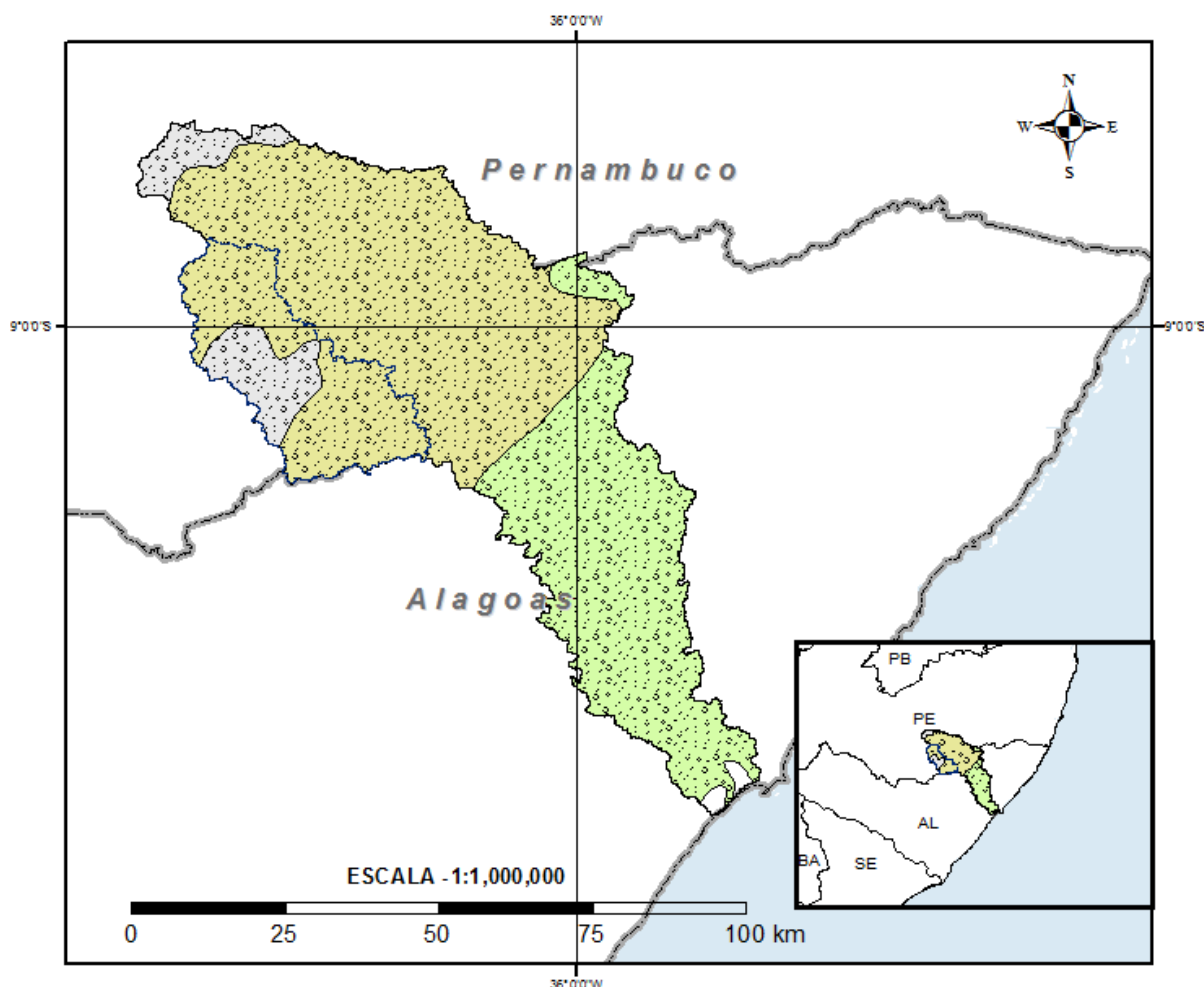


Figura 3.5.1 – Mapa de Vegetação para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2021), 1:250.000, elaborado pelos autores.

A vegetação da área da bacia do Mundaú sofreu grandes transformações quando comparada a situação existente em 2021 (IBGE, 2021) observada na Figura 3.5.1 e as condições descritas em mapas mais antigos, como aquele de 2004 (Figura 3.5.2) disponível na dissertação da Engenheira Keyla Almeida (Santos, 2013). A região praticamente não tem mais predominância de Florestas Ombrófila ou Estacional, tudo foi substituído por Agricultura, Agropecuária e Pecuária nessas duas últimas décadas.



Legenda:

Convenção Cartográfica

- Limites de Estados
- Bacia do Mundaú
- Bacia de drenagem de Santana do Mundaú

Vegetação

Grupo, Classe

- ÁREAS DE TENSÃO ECOLÓGICA (CONTATOS ENTRE TIPOS DE VEGETAÇÃO), Estepe-Floresta Estacional
- FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL (MATA SEMICADUCIFOLIA), Veg. Secundária e Atividades Agrícolas
- FLORESTA OMBROFILA ABERTA (FLORESTA DE TRANSIÇÃO), Veg. Secundária e Atividades Agrícolas

Figura 3.5.2 – Mapa de Vegetação para a bacia do Mundaú 2004. Fonte: Santos (2013).

Segundo o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), as Florestas Ombrófilas (Do grego, “amiga das chuvas”) Aberta das Terras Baixas apresenta predominância de faciação com palmeiras (Florestas com copas de árvores

destacadas junto às palmeiras), compreendidas em altitudes que variam de 5 metros até máximo de 100 metros. Esta formação foi submetida à intensa devastação florestal causada pela expansão das fronteiras agrícolas. As Florestas Ombrófilas Aberta Submontana, é observada na Amazônia e fora dela também com faciação de florestas com palmeiras, porém situadas acima de 100 m de altitude. E a Floresta Estacional Semidecidual Submontana é um trecho de Mata Atlântica, no pior estado de conservação, que tem característica em sua semidecuidade da folhagem variar com o clima estacional, perdendo menos folhas durante a estiagem (20 a 50% de suas árvores) do que Floresta Estacional Decidual (50% das árvores ou mais), ocorrendo também acima dos 100 metros de altitude. Diferenciam-se das ombrófilas por possuir fanerófitos (caules projetados para o ar) com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catafilos ou pelos) e cujas folhas adultas são esclerófilas (do grego, folhas duras) ou membranáceas decíduais.

Tabela 3.5.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as fitotipos presentes na bacia do Rio Mundaú.

FITOTIPOS	ÁREA (km²)	PERCENTUAL (%)
Vegetação Natural Predominante		
Ab - Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	29,20	0,72
As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana	32,26	0,79
Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana	96,37	2,36
Área Antrópica Predominante		
Acc - Agricultura com Culturas Cíclicas	1312,28	32,15
Ag - Agropecuária	2072,59	50,77
Ap - Pecuária (pastagens)	92,87	2,28
Iu - Influência urbana	21,62	0,53
Vs - Vegetação Secundária	26,74	0,65
Área Antrópica Predominantemente em Contato (Ecótono e Enclave)		
Ag - Agropecuária	374,42	9,17
Iu - Influência urbana	20,57	0,50
Outros		
Corpo d'água continental	3,14	0,08

Conforme as informações obtidas do mapa de Vegetação da bacia do Mundaú (Figura 3.5.1 e Tabela 3.5.1), as Florestas Ombrófila Aberta das Terras Baixas ocupam 29,20 km², 0,72% da área da bacia do Mundaú, localizando-se mais a sudeste da bacia, próximo ao exutório da mesma. Enquanto as Florestas Ombrófila Aberta Submontana se encontram a leste da bacia, numa área de 32,26 km² (0,79% da área da bacia), totalizando todo esse fitotipo aberto em 61,46 km² (1,51% da bacia), não havendo mais presença de Florestas Ombrófila Densa. Ainda persiste a Floresta Estacional Semidecidual de forma residual espalhada entre a região oeste, leste e nordeste da bacia, totalizando uma área de 96,37km² (2,36% da área da bacia), que

é a vegetação natural mais abundante atualmente. Ou seja, toda a vegetação natural de Florestas Ombrófila ou Estacional, não passa de 3,87% da área da bacia do Mundaú em 2021.

Todo o restante terrestre da bacia do Mundaú, cerca de 3921,09 km² (96,06% da bacia), é área antropizada, formada por áreas urbanas (42,19 km² - 1,03%) espalhadas ao longo do curso dos rios. Destaca-se a noroeste da bacia, a agricultura de culturas cíclicas (1.312,28 km² - 32,15%) atravessando a região centro-leste até o sul-sudeste da bacia, pecuária (92,87 km² - 2,28%) concentrada na região Leste, e agropecuária (2.447,01 km² - 59,95%) espalha por toda a bacia. Ainda existe a Vegetação Secundária, oriunda da Floresta Ombrófila Aberta pretérita, ao sul da bacia, ocupando 26,74 km² (0,65 % da bacia) que não faz parte de nenhuma área de drenagem das estações estudadas.

Tabela 3.5.2 – Valores das áreas ocupadas pelos Fitotipos nas áreas de drenagens das estações estudadas (km²).

FITOTIPOS	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Agricultura	423,47	-	-	1,23	478,63	616,19	721,05	896,82
Agropecuária	330,55	466,76	740,35	131,86	635,54	2124,23	2333,67	2405,84
Corpo d'água Continental	0,79	0,48	0,48	1,27	0,92	2,93	2,93	2,93
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	-	-	9,91	-	39,77	73,14	96,37	96,37
Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	-	-	-	-	-	-	-	1,70
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	-	-	-	-	-	-	13,71	32,26
Influência urbana	11,01	11,07	13,12	0,49	13,94	29,05	32,81	36,23
Pecuária (pastagens)	-	-	-	-	-	67,70	92,87	92,87

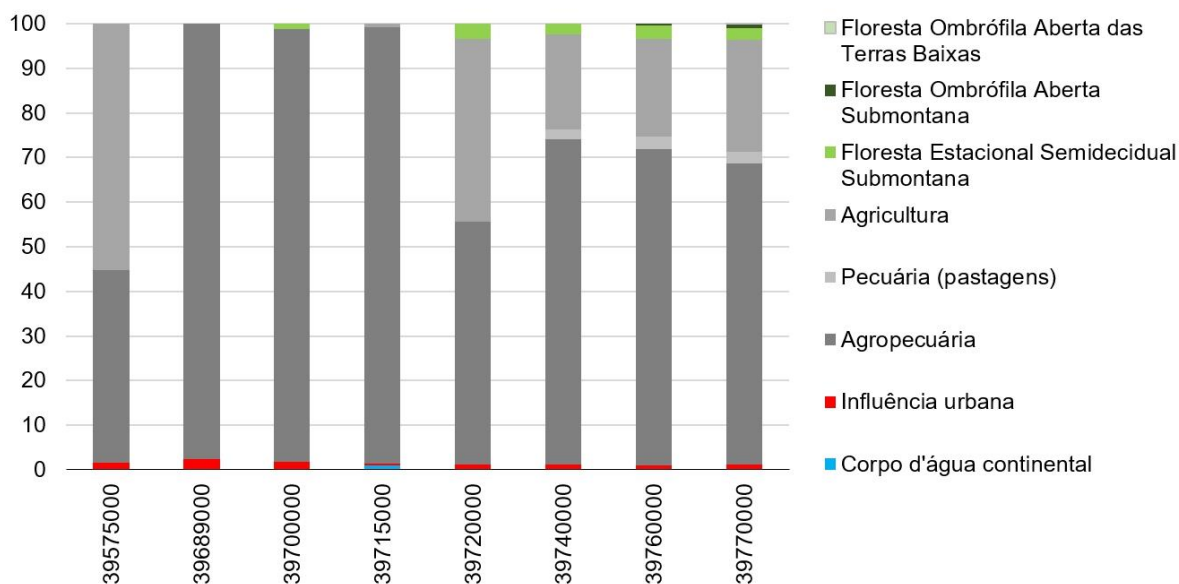


Figura 3.5.3 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas Fitotipos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Do ponto de vista das áreas de drenagens (Figura 3.5.3 e Tabela 3.5.2), as estações 39575000 – Canhotinho, 39689000 – Correntes II e 39715000 – Palmeirina possuem áreas 100% antropizadas, sem vegetação natural de Florestas Ombrófilas ou Estacional. As estações 39700000 - Santana do Mundaú e 39740000 – União dos Palmares apresentam, com 1,30% e 2,51% de suas áreas de drenagem, respectivamente, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ainda pouco significativa dentro do grande impacto antrópico. Os maiores percentuais de Florestas em suas áreas de drenagens ocorrem nas estações 39770000 – Fazenda Boa Fortuna, 39720000 – São José da Laje, e 39760000 – Murici-Ponte, com respectivos valores de 3,66% (130,33 km²), 3,40% (39,77km²), e 3,34% (110,08km²). Destaca-se também região de contato (Ecótono e Enclave) dos fitotipos Agropecuária e Influência Urbana nas cabeceiras dos diversos rios que deságuam no rio Inhaúma, onde se localiza a estação 39715000 - Palmeirina, da cabeceira do rio Mundaú, a montante do primeiro ponto de monitoramento deste rio, a estação 39689000 - Correntes II, e no rio Canhoto, nas proximidades a montante da estação 39575000 – Canhotinho.

3.6 - Cobertura e Uso da terra

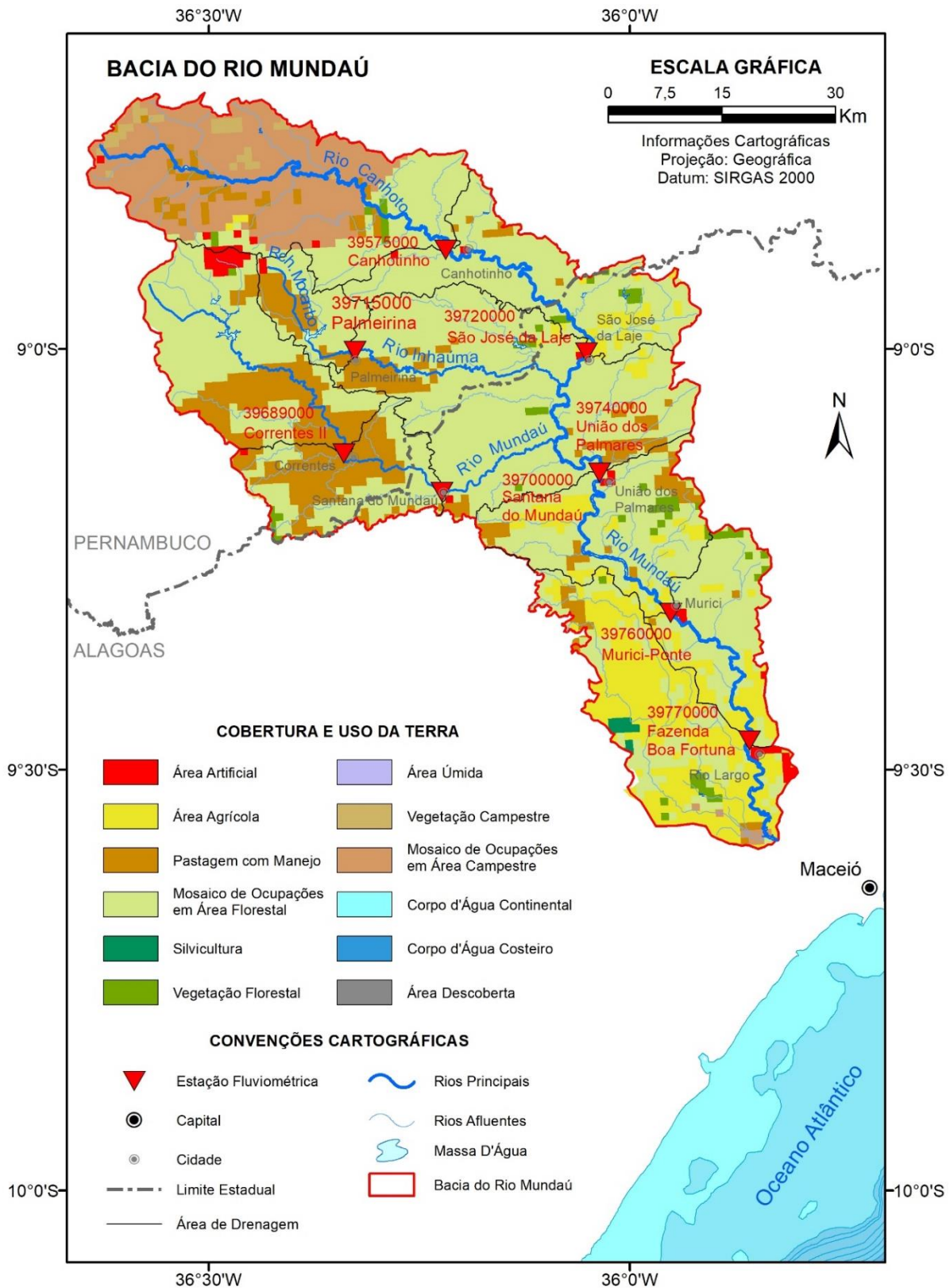


Figura 3.6.1 – Mapa de Cobertura e Uso da terra para a bacia do Mundaú 2018/2020. Fonte: adaptado do mapa de mesmo tema do IBGE (2020) a partir de células de 1 km² e elaborado pelos autores.

A Figura 3.6.1 apresenta o mapa de Cobertura e Uso da terra para a bacia do Mundaú, conforme obtido do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), produzido a partir de interpretação de imagens de satélites (OLI/Landatsat-8), além de informações complementares e levantamentos de campo, Base Cartográfica Contínua do IBGE (BC250) e mapa de Vegetação do IBGE. Os dados são apresentados em Grade Estatística do IBGE, a partir de células de 1km². O relatório associado ao estudo do IBGE apresenta dados referentes a 2018 e a contabilidade das mudanças do período 2016-2018 adicionadas à série histórica (IBGE, 2020).

Para a bacia do Mundaú, a maior parte da Cobertura e Uso da terra está relacionada ao Mosaico de Ocupações em Área Florestal (59,14%), Pastagem com Manejo (13,13%), Área Agrícola (12,18%) e Mosaico de Ocupações em Área Campestre (11,74%), conforme tabela 3.6.1.

Tabela 3.6.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as classes de Cobertura e Uso da terra presentes na bacia do Mundaú.

CLASSES	ÁREA (km²)	PERCENTUAL (%)
Área Artificial	47,41	1,16
Área Agrícola	497,04	12,18
Pastagem com Manejo	536,15	13,13
Mosaico de Ocupações em Área Floresta	2414,07	59,14
Silvicultura	8,66	0,21
Vegetação Florestal	67,17	1,65
Vegetação Campestre	32,46	0,80
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	479,12	11,74

A classe Mosaico de Ocupações em Área Florestal se refere a regiões que sofrem perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não, como o fogo. É caracterizada por ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais, onde não é possível individualizar seus componentes.

A classe Pastagem com Manejo está associada as áreas destinadas ao pastoreio do gado e outros animais, com vegetação herbácea cultivada (braquiária, azevém, etc.) ou vegetação campestre (natural) com grande interferência antrópica. Interferências estas de limpeza da terra (destocamento e despedramento), eliminação de ervas daninhas de forma mecânica ou química (herbicidas), gradagem, calagem, adubação e outras interferências que descaracterizam a cobertura natural.

A Área Agrícola é a classe caracterizada por lavouras temporárias, semi-perenes e permanentes, irrigadas ou não, a qual a terra tem a finalidade de produção de alimentos, fibras, combustíveis e outras matérias-primas. Engloba também terrenos alagáveis. Sendo representadas por zonas agrícolas heterogêneas ou extensas áreas de plantations, incluindo os tanques de aquicultura.

O Mosaico de Ocupações em Áreas Campestres engloba as ocupações mistas de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres, onde não é possível individualizar seus componentes. Inclui também áreas que sofrem perturbações naturais e antrópicas, mecânicas ou não, que dificultem a caracterização da região.

A bacia do Mundaú foi analisada do ponto de vista das áreas de drenagens com respeito a Cobertura e Uso da terra. A seguir, a Figura 3.6.2 apresenta o gráfico dos percentuais e a Tabela 3.6.2 apresenta os valores ocupados pelas classes da Cobertura e Uso da terra nas áreas de drenagens das estações estudadas.

A estação 395750000 apresenta o menor percentual associado a classe de Mosaico de Ocupações em Área Florestal, apenas 25% de sua área, enquanto as outras estações apresentam valores acima dos 59% nesta mesma classe, exceção da estação 397200000 que apresenta 46,11% de sua área de drenagem sob esta classificação.

A Pastagem com Manejo ocupa 519,36 km² das áreas de drenagens das estações estudadas, equivalente a 96,87% da área total desta classe ocupada na bacia do Mundaú (536,15km²). Ocorre entre 37,99% e 32,37% das áreas de drenagens das estações 397000000, 397150000 e 3968900000, entre 16,5% e 14,57% nas estações 397400000, 397600000, 397700000, e entre 6,79% e 5,14%, nas estações 395750000 e 397200000.

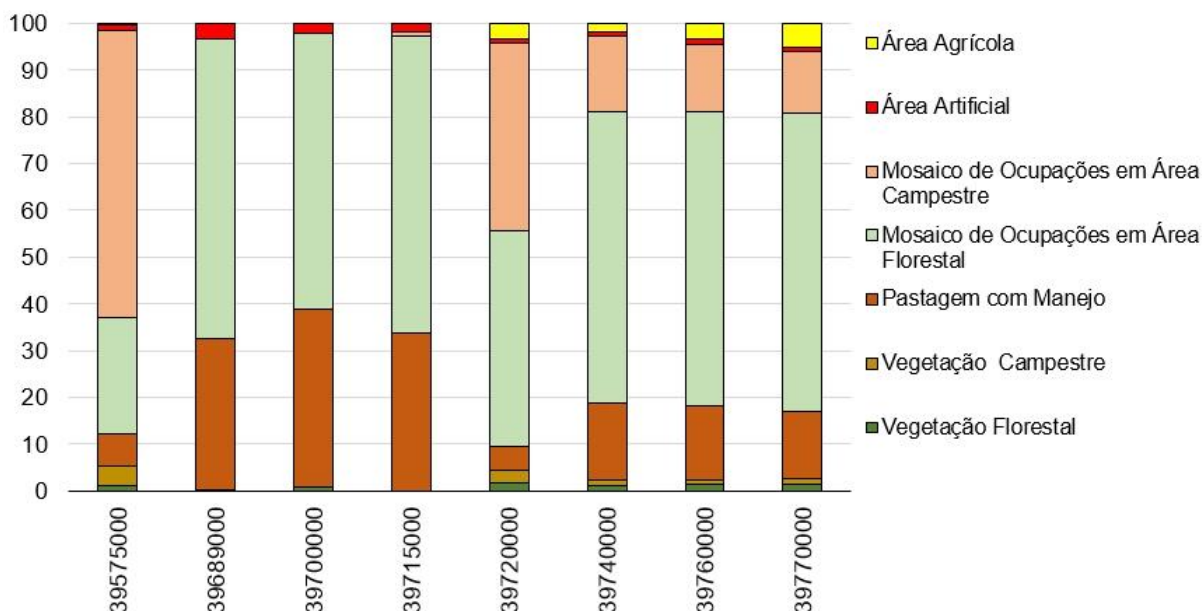


Figura 3.6.2 – Gráfico dos percentuais ocupados pelas classes da Cobertura e Uso da terra nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3.6.2 – Valores das áreas ocupadas pelas classes nas áreas de drenagens das estações estudadas (km²).

CLASSES	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Área Agrícola	3,00	-	-	-	38,71	52,29	113,52	177,63
Área Artificial	7,81	15,44	16,30	2,59	9,81	31,11	34,23	37,90
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	470,03	0,04	0,04	1,04	470,03	471,12	471,12	471,12
Mosaico de Ocupações em Área Florestal	191,49	307,00	451,40	85,67	538,95	1812,71	2077,17	2270,40
Pastagem com Manejo	52,02	154,82	290,21	45,55	60,06	480,71	517,42	519,36
Vegetação Campestre	32,46	-	-	-	32,46	32,46	32,46	32,46
Vegetação Florestal	9,00	1,00	5,91	-	18,77	32,84	47,49	56,15

A Área Agrícola, do ponto de vista das áreas de drenagens (Figura 3.6.2 e Tabela 3.6.2), ocupa apenas 177,63 km², 35,7% da Área Agrícola total da bacia do Mundaú (497,04 km²). Sendo assim, esta classe apresenta baixos valores percentuais de Cobertura e Uso da terra nas áreas de drenagens das estações, entre 4,98% e 0,39%, não ocorrendo nas áreas de drenagens das estações 39689000, 39700000, e 39715000, as quais se localizam fora do curso principal da bacia do Mundaú.

O Mosaico de Ocupações em Áreas Campestres ocupa, dentro das áreas de drenagens das estações estudadas (Figura 3.6.2 e Tabela 3.6.2), 471,12 km² dos 479,12 km² total desta classe na bacia do Mundaú (98,33%). Contudo o percentual entre 61,38% e 13,21% de ocupação desta classe ocorre preponderantemente nas áreas associadas as estações do curso principal. Nas áreas associadas as estações 39715000, 39700000, e 39689000, esses percentuais ficam entre 0,77% e 0,01%.

3.7- Geologia

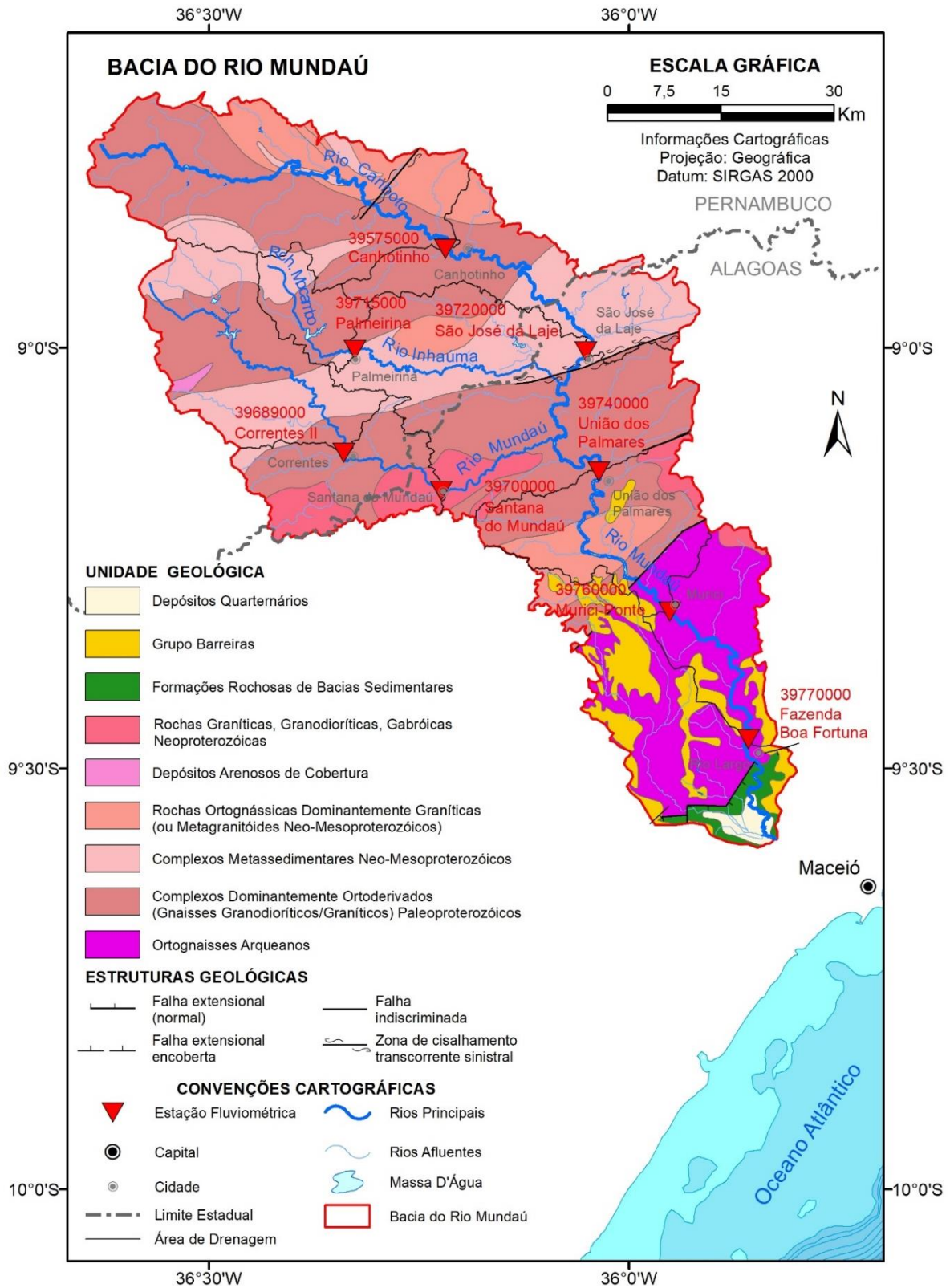


Figura 3.7.1 – Mapa geológico simplificado para a bacia do Mundaú. Fonte: adaptado das folhas Recife, Angelim e Wanderley (2004), e Kosin *et al.* (2004) a partir da elaboração dos autores.

A Geologia da região é descrita a partir de informações obtidas da dissertação da engenheira hidróloga da CPRM/SGB, Keyla Almeida (Santos, 2013), Gomes (2001), Mendes *et al.* (2017) e das tabelas de atributos dos arquivos vetoriais dos mapas.

A bacia do Mundaú está localizada geotectonicamente na porção meridional da Província Borborema, conhecida como Domínio Pernambuco-Alagoas, ao Sul do lineamento Pernambuco, a qual apresenta as rochas mais antigas e mais novas que encaixam a bacia hidrográfica.

A região é formada por rochas de litologias e idades variadas, incluindo rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Este conjunto de rochas forma, estratigraficamente, complexos, grupos e formações, além de unidades de ortognaisses abrangendo o tempo geológico entre o Arqueano ao Quaternário, conforme disposto espacialmente no mapa geológico simplificado da Figura 3.7.1 para a bacia hidrográfica do Mundaú.

Tabela 3.7.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados as litologias presentes na bacia do Rio Mundaú.

UNIDADES GEOLÓGICAS	ÁREA (km²)	PERCENTUAL (%)
Complexos Dominantemente Ortoderivados (Gnaisses Granodioríticos/Graníticos) Paleoproterozóicos	1826,56	44,75
Complexos Metassedimentares Neo-Mesoproterozóicos	818,45	20,05
Depósitos Arenosos de Cobertura	8,24	0,20
Depósitos Quarternários	28,97	0,71
Formações Rochosas de Bacias Sedimentares	46,89	1,15
Grupo Barreiras	222,75	5,46
Ortognaisses Arqueanos	502,96	12,32
Rochas Graníticas, Granodioríticas, Gabróicas Neoproterozóicas	212,29	5,20
Rochas Ortognássicas Dominantemente Graníticas (ou Metagranitóides Neo-Mesoproterozóicos)	414,96	10,17

As rochas ígneas, oriundas do resfriamento e solidificação do magma, são predominantemente encontradas, conforme Figura 3.7.1 e Tabela 3.7.1, nas Unidades Geológicas de Rochas Graníticas, Granodioríticas, Gabróicas Neoproterozóicas em 5,20% da bacia hidrográfica do Mundaú, porém estão presentes também, conjuntamente com rochas metamórficas, em parte dos Depósitos Arenosos de Cobertura e das Rochas Ortognássicas Dominantemente Graníticas (ou Metagranitóides Neo-Mesoproterozóicos). Nessas Unidades Geológicas a maior parte são formadas por rochas plutônicas, originadas em ambiente profundo (manto ou crosta) onde o magma se cristaliza lentamente, criando textura com grãos visíveis a olho nu, como o granito e o gabro (Geociências USP, 2021a).

As rochas sedimentares são formadas por sedimentos (seixos, areia, silte e argila), ou até restos de plantas e animais. Na bacia hidrográfica do Mundaú, conforme os dados obtidos do mapa geológico simplificado (Figura 3.7.1 e Tabela 3.7.1), estas rochas são encontradas predominantemente nos Grupos Barreiras (5,46%) e Formações Rochosas de Bacias Sedimentares (1,15%), bem como sedimento inconsolidado nos Depósitos Quarternários (0,71%), depósitos flúvio-lagunares, totalizando apenas 7,32% da bacia do Mundaú. Em todos os casos desta região hidrográfica, essas Unidades Geológicas são formadas por rochas do tipo clásticas constituídas por detritos de rochas e minerais transportados (Geociências USP, 2021b).

Rochas metamórficas são aquelas oriundas de transformações das rochas pré-existentes soterradas, sejam originalmente ígneas, sedimentares ou até mesmo metamórficas, a partir da alteração da condição de temperatura e pressão, provocando alterações mineralógicas, químicas e físicas mais estáveis nas condições que estão sujeitas (Geociências USP, 2021c). Conforme os dados obtidos do mapa geológico simplificado (Figura 3.7.1 e Tabela 3.7.1), as Unidades Geológicas encontradas na bacia hidrográfica do Mundaú associadas as estas rochas são predominantemente nos Complexos Dominantemente Ortoderivados (Gnaisses Granodioríticos/Graníticos) Paleoproterozóicos, compreendendo a maior parte da bacia com 44,75% da região, seguido por Complexos Metassedimentares Neo-Mesoproterozóicos ocupando 20,05% da bacia, e Ortognaisses Arqueanos (unidade mais antiga) como a terceira maior área ocupada com 12,32%. Encontra-se também esse tipo de rocha, conjuntamente com rochas ígneas, em parte dos Depósitos Arenosos de Cobertura e nas Rochas Ortognássicas Dominantemente Graníticas (ou Metagranitóides Neo-Mesoproterozóicos).

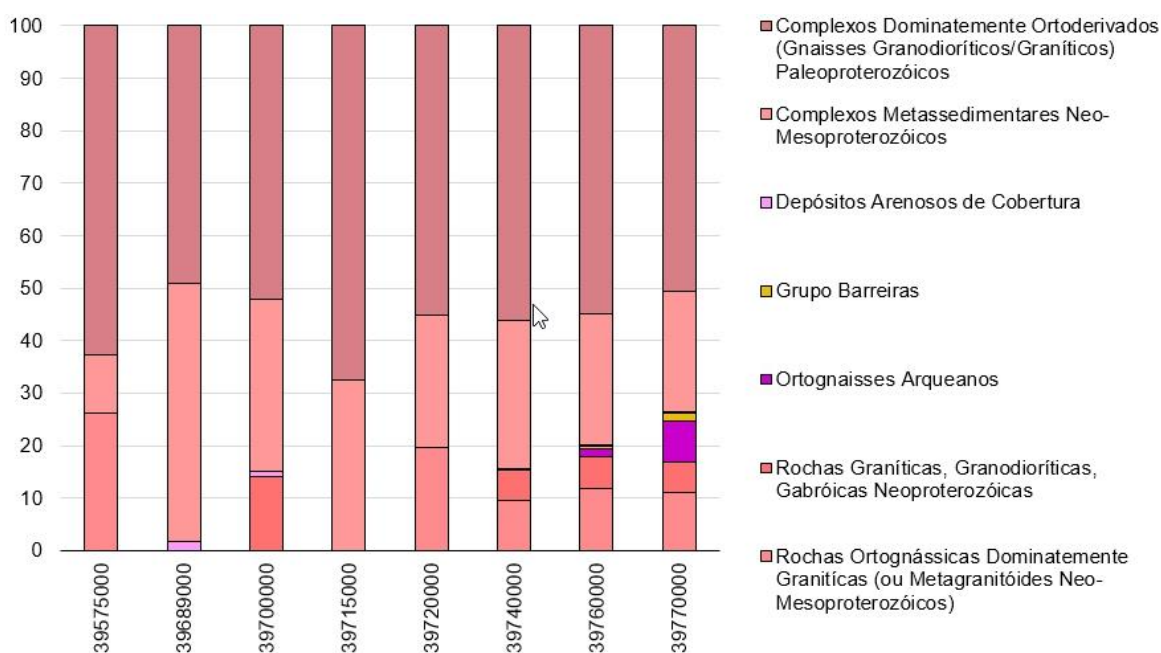


Figura 3.7.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelas Unidades Geológicas nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3.7.2 – Valores das áreas ocupadas pelas Unidades Geológicas nas áreas de drenagens das estações estudadas (km²).

UNIDADES GEOLÓGICAS	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Complexos Dominantemente Ortoderivados (Gnaisses Granodioríticos/ Graníticos) Paleoproterozóicos	479,26	234,53	397,07	90,99	644,00	1639,12	1807,71	1807,71
Complexos Metassedimentares Neo- Mesoproterozóicos	86,53	235,54	251,42	43,85	296,03	818,45	818,45	818,45
Depósitos Arenosos de Cobertura	-	8,24	8,24	-	-	8,24	8,24	8,24
Grupo Barreiras	-	-	-	-	-	-	16,30	53,97
Ortognaisses Arqueanos	-	-	-	-	-	-	51,72	273,41
Rochas Graníticas, Granodioríticas, Gabróicas Neoproterozóicas	-	-	107,12	-	-	168,30	200,03	212,29
Rochas Ortognássicas Dominantemente Graníticas (ou Metagranitóides Neo- Mesoproterozóicos)	200,02	-	-	-	228,77	279,12	390,96	390,96

Do ponto de vista das áreas de drenagens das estações estudadas apenas as maiores possuem todas as Unidades Geológicas da bacia do Mundaú, que são as estações 39770000 – Fazenda Boa Fortuna e 39760000 – Murici-Ponte, com o Grupo Barreiras (Rocha Sedimentar, Clástica) e Ortognaisses Arqueanos (Rocha Metamórfica mais antiga) ocorrendo apenas nestas (Tabela 3.7.2), na região mais sudeste, próximos aos seus exutórios, sendo percentualmente mais relevante em Fazenda Boa Fortuna com ocupação de 1,51% e 7,67%, respectivamente (Figura 3.7.2).

As Rochas Graníticas, Granodioríticas, Gabróicas Neoproterozóicas (Rochas Ígneas, plutônicas) só ocorrem, além das duas áreas maiores citadas, nas áreas de drenagens das estações de 39700000 – Santana do Mundaú, e 39740000 – União dos Palmares com percentuais de 14,02% e 5,78% (Figura 3.7.2), respectivamente, na área centro-oeste da bacia do Mundaú (Tabela 3.7.2).

Como pode ser observado na Figura 3.7.1, os Complexos Metassedimentares Neo-Mesoproterozóicos abrangem a região mais centro-norte a noroeste da bacia do Mundaú nas direções Oeste a Nordeste, escalonando-se entre os Complexos Dominantemente Ortoderivados (Gnaisses Granodioríticos/Graníticos) Paleoproterozóicos, sendo ambas Unidade Geológicas constituídas por Rochas Metamórficas e dessa forma predominantemente em todas as áreas de drenagem das estações estudadas, como pode-se observar na Tabela 3.7.2 e Figura 3.7.2, exceção a estação 39575000 – Canhotinho que apresenta significativa presença de Rochas Ortognássicas Dominantemente Graníticas (ou Metagranitóides Neo-Mesoproterozóicos) em sua área (26,12%).

3.8 – Hidrogeologia

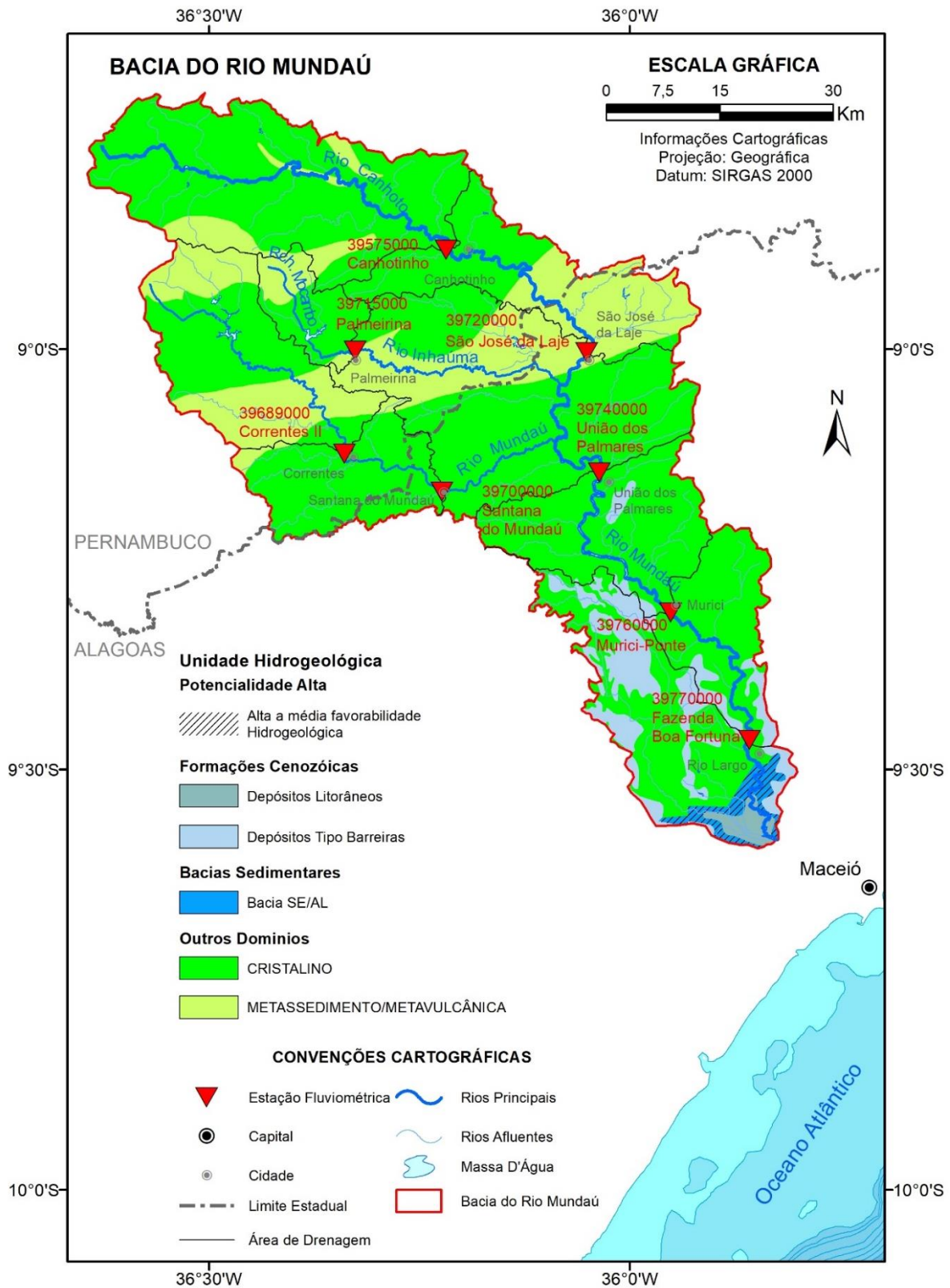


Figura 3.8.1 – Mapa de Hidrogeologia para a bacia do Mundaú 2021. Fonte: adaptado do mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007) elaborado pelos autores.

A hidrogeologia da região é descrita a partir das informações da dissertação da engenheira hidróloga da CPRM/SGB, Keyla Almeida (Santos, 2013). A bacia do Mundaú (Figura 3.8.1) apresenta 04 domínios hidrogeológicos de 07 denominados por Bomfim *et al* (2007):

- **Domínio 1 - Formações Cenozoicas (Aquíferos Porosos):**

Subdomínio Depósitos Tipo Barreiras (Fcb)

Subdomínio Depósitos Litorâneos (Fcdl)

- **Domínio 2 - Bacias Sedimentares (Aquíferos Porosos):**

Subdomínio Bacia Sergipe/Alagoas (BcSA)

- **Domínio 4 - Metassedimentos/Metavulcânicas (M/M) (Aquíferos Fissurais)**

- **Domínio 6 - Cristalino (C) (Aquíferos Fissurais)**

Tabela 3.8.1 – Valores das áreas e seus percentuais associados aos Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos presentes na bacia do Rio Mundaú.

DOMÍNIOS/SUBDOMÍNIOS	ÁREA (km ²)	PERCENTUAL (%)
Domínio 1- Formações Cenozoica - Depósitos tipo Barreiras	222,76	5,46
Domínio 1- Formações Cenozoica - Depósitos litorâneos	28,97	0,71
Domínio 2 : Bacia Sergipe/Alagoas (BcSA)	46,91	1,15
Domínio 4 - Metassedimentos/Metavulcânicas	818,42	20,05
Domínio 6 - Cristalino (C)	2965,01	72,64

Domínios Hidrogeológicos 1 - FORMAÇÕES CENOZÓICAS

Depósitos Tipo Barreiras (Fcb): Apresentam-se com um percentual de 5,46% da área da bacia do Mundaú com média a alta favorabilidade hidrogeológica (Tabela 3.8.1). São representados litologicamente por alternâncias de sedimentos arenosos, argilosos e areno-conglomeráticos, com bruscas variações laterais de fácies (camadas).

Depósitos Litorâneos (Fcdl): Apresentam-se com um percentual pouco significativo de 0,71% da área da bacia do Mundaú (Tabela 3.8.1), com variável favorabilidade hidrogeológica. São representados litologicamente por areais, cascalhos, siltes e argilas intercaladas e não sequenciados. Possui possibilidade de água muito variável nestes depósitos devido à grande heterogeneidade e anisotropia

dos aquíferos. Este subdomínio só se encontra no exutório da bacia, fora das áreas de drenagens estudadas.

Domínios Hidrogeológico 2 - BACIAS SEDIMENTARES

Bacia Sergipe/Alagoas (BcSA): Apresenta-se com 1,15% da área da bacia do Mundaú, com baixa favorabilidade hidrogeológica (Tabela 3.8.1). No entanto as áreas hachuriadas indicam áreas de alta a média favorabilidade hidrogeológica. Inclui as principais unidades aquíferas da bacia (excluídas as carbonáticas que estão englobadas no Domínio 7, como Serraria, Penedo e Muribeca). Este subdomínio também só ocupa a região de exutório da bacia, fora das áreas de drenagens estudadas.

Domínios Hidrogeológicos 4 - METASSEDIMENTOS/METAVULCÂNICAS (M/M)

A ocorrência deste domínio ocupa 20,05% da área da bacia do Mundaú (Tabela 3.8.1). Este domínio apresenta baixa favorabilidade hidrogeológica. Os litótipos relacionados aos Metassedimentos/Metavulcânicas reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfibolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvas, metavulcânicas diversas, etc., relacionados ao aquífero fissural. A ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária, devido a inexistência de porosidade primária nesses tipos de rochas, representadas por fraturas e fendas, ou seja, reservatórios aleatórios, descontínuos e de pouca extensão. Esse domínio, apesar da semelhança, se difere do domínio Cristalino tradicional (granitos, migmatitos, etc.), por suas rochas apresentarem comportamento reológico distintos, possuindo estruturação e competência diferentes, reagindo diferentemente aos esforços geradores das fendas e fraturas, parâmetros fundamentais no acúmulo e fornecimento de água. Desta forma, aumenta a possibilidade de maior favorabilidade hidrogeológica neste domínio do que no Cristalino tradicional. Grande parte das supracrustais pode ser enquadrada neste domínio, incluindo-se os “*greenstones belts*”.

Domínios Hidrogeológicos 6 - CRISTALINO (C)

Este é o domínio com maior presença na bacia do Mundaú ocupando 72,64% da área desta (Tabela 3.8.1). Apresenta baixa/muito baixa favorabilidade hidrogeológica. Neste Cristalino se encontra basicamente granitoides, gnaisses, granulitos, migmatitos, básicas e ultrabásicas, que constituem o tipicamente denominado aquífero fissural. Não apresentando porosidade primária nesses tipos de rochas, a ocorrência de água ocorre na porosidade secundária, fraturas e fendas, ou seja, reservatórios aleatórios, descontínuos e de pouca extensão.

Tabela 3.8.2 – Valores das áreas ocupadas pelos Domínios/Subdomínios nas áreas de drenagens das estações estudadas (km²).

DOMÍNIOS/ SUBDOMÍNIOS	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Domínio 1- Formações Cenozoica: <i>Depósitos tipo Barreiras</i>	-	-	-	-	-	-	16,29	53,96
Domínio 4 - Metassedimentos/ Metavulcânicas	86,53	235,5 3	251,3 9	43,8 6	296,0 3	818,42	818,42	818,42
Domínio 6 - Cristalino (C)	679,2 9	242,7 7	512,4 6	90,9 9	872,7 6	2094,8 1	2458,7 0	2692,6 4

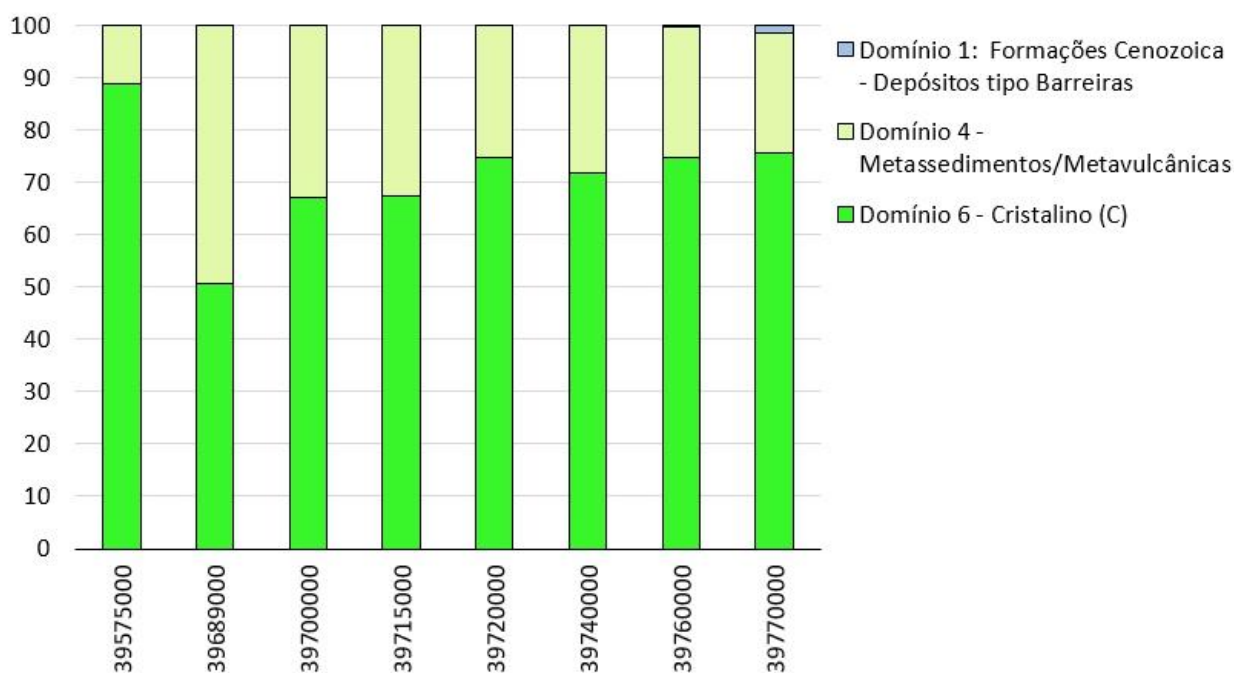


Figura 3.8.2 - Gráfico dos percentuais ocupados pelos Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos nas áreas de drenagens das estações estudadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Analisando as áreas de drenagens das estações fluviométricas estudadas nota-se a ausência de um domínio hidrogeológico associado à favorabilidade hidrogeológica, já que, diferente da situação observada ao sul-sudeste da bacia do Mundaú, não há ocorrência de bacias sedimentares, Domínio Hidrogeológico 2, nas áreas de drenagens destas estações (Tabela 3.8.2 e Figura 3.8.2).

Contudo, a estação Murici-Ponte - 39760000 ainda apresenta em sua área de drenagem Depósitos tipo Barreiras (0,49% - Figura 3.8.2), que podem apresentar de média a alta favorabilidade hidrogeológica, próximos à estação, e entre esta e a estação de União dos Palmares – 39740000, sendo a área restante formada pelos domínios Cristalino e Metassedimentos/Metavulcânicas.

A estação Fazenda Boa Fortuna – 39770000, a qual engloba todas as áreas das estações estudadas na bacia do Mundaú, apresenta, igualmente como dito sobre a estação 39760000 – Murici-Ponte, Depósitos tipo Barreiras, incluindo-se também regiões cercadas as proximidades da esta estação, assumindo uma percentagem de 1,51% deste subdomínio (Figura 3.8.2) associada a uma possibilidade de média a alta favorabilidade hidrogeológica, sendo a área restante formada pelos domínios Cristalino e Metassedimentos/Metavulcânicas.

Porém, conforme a área hachuradas na Figura 3.8.1, em nenhuma área de drenagem estudada foi associada a uma presença que caracterize uma favorabilidade hidrogeológica significativa, mesmo havendo esta possibilidade conforme características de alguns subdomínios citados nestas áreas. Isso significa que toda as áreas de drenagem das estações estudada na bacia do Mundaú caracterizam-se em sua totalidade com uma favorabilidade hidrogeológica baixa ou muito baixa.

3.9 – Infiltração Potencial Máxima

Para a realização do estudo da Infiltração Potencial Máxima, inicialmente foram calculadas em planilhas eletrônicas as precipitações efetivas para diversos eventos de cheias de cada estação, sendo selecionados os melhores resultados daquelas estações que possuíam tempo de concentração (T_c) maiores que 12 horas, evitando as estações cujos monitoramento dos eventos de cheia poderiam estar comprometidos devido a resposta rápida da bacia. Sendo assim, não participaram do estudo inicial as estações: 39689000 – Correntes II, 39700000 – Santana do Mundaú, e 39715000 – Palmeirina que apresentaram T_c menor que 12 horas.

$$T_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times D^{-0,385} \text{ (Kirpich)} \quad (3.9.1)$$

$$T_c = 0,160 \times L^{0,64} \times D^{-0,32} \text{ (Ven te Chow)} \quad (3.9.2)$$

$$T_c = 0,191 \times L^{0,76} \times D^{-0,19} \text{ (Corps Engineers)} \quad (3.9.3)$$

Onde T_c [h] é o tempo de concentração, L [km] é o curso principal da bacia, e D [m/km] é a declividade média do perfil do curso principal da bacia.

O método do Soil Conservation Service (SCS) parte da seguinte formulação:

$$Fa / S = Pe / (P - Ia) \quad (3.9.4)$$

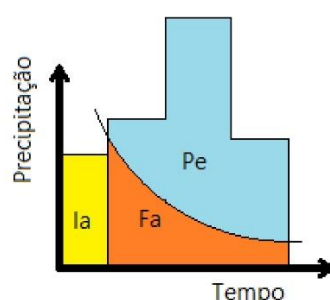


Figura 3.9.1 – Representação gráfica da formulação do método do Soil Conservation Service (SCS) no cálculo da Infiltração Potencial Máxima. Fonte: elaborado pelos autores.

Onde F_a é a infiltração após o início do escoamento superficial, S é a Infiltração Potencial Máxima, P_e é a precipitação efetiva, P é a precipitação total, e I_a é infiltração inicial, tudo em milímetros (Figura 3.9.1 e Equação 3.9.4). Como $P = I_a + F_a + P_e$, obtêm-se:

$$P_e = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S) \quad (3.9.5)$$

Após estudos de diversas bacias, o SCS sugere que $I_a = 0,2 S$. Levando a equação:

$$P_e = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S), \text{ para } P > I_a = 0,2S \quad (3.9.6)$$

A obtenção de S nesta equação é a solução de uma equação de segundo grau. Uma vez obtido S, é possível calcular CN a partir da relação:

$$CN = 25400 / (S + 254) \quad (3.9.7)$$

Onde S é a Infiltração Potencial Máxima [mm] e CN é a *Curve Number* [adimensional] que varia entre 0 e 100.

O parâmetro de CN é um valor cujo diversos autores brasileiros, no processo de tradução, adaptaram para a condição do Brasil a partir de alterações da tabela original de CN do SCS. O valor de CN depende do tipo e uso do solo.

Sendo assim, foram calculados em planilhas eletrônicas os valores de infiltração Potencial Máxima (S) e CN (Curva Number) para condição de umidade antecedente com padrão de 05 dias ($\lambda = 0,2$) e para a condição de umidade encontrada nas diversas cheias com período estimado, obtendo assim o cálculo real de λ : Razão entre I_a (abstração da infiltração inicial estimada a partir da precipitação inicial) e S (Infiltração Potencial Máxima). Contudo, das 05 estações com TC maior que 12 horas, devido ao tamanho reduzido da série e os registros dos eventos de cheias comprometidos para leituras 7h/17h, a estação 39575000 – Canhotinho foi também retirada do estudo, restando apenas 04 estações para serem avaliadas: 39770000 – Fazenda Boa Fortuna, 39760000 – Murici-Ponte, 39740000 – União dos Palmares e 39720000 – São José da Laje. Os valores de λ (I_a/S) encontrados no estudo destas 04 estações ficaram em torno de 0,02 (Tabela 3.9.1). Importante frisar que estes resultados serviram apenas como referência para obtenção dos mapas de S e CN médios posteriormente.

Tabela 3.9.1 – Valores de Infiltração Potencial Máxima e de CN obtidos de cheias de diversos anos das 04 estações selecionadas para o estudo.

Código	39770000	39760000	39740000	39720000
Nome	Fazenda Boa Fortuna	Murici-Ponte	União dos Palmares	São José da Laje
Número de amostras	16	12	11	12
S_($\lambda=0,2$) min - máx (mm)	113,4 – 585,0	41,3 - 433,3	125,1 - 479,9	42,4 - 746,9
CN(S_($\lambda=0,2$)) máx - min (Adimensional)	69 - 30	86 - 37	67 - 35	86 - 25
S_{λ} min - máx (mm)	235,8 - 1505,2	79,1 - 1260,9	332,5 - 1395,3	73,3 - 3721,9
CN(S_{λ}) máx - min (Adimensional)	52 - 14	76 - 17	43 - 15	78 - 6
λ médio (Adimensional)	0,02	0,05	0,02	0,03

Com base nos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011), foi gerado para a bacia do Mundaú mapa da Infiltração Potencial Máxima (S) e de CN (Curva Number) do método Soil Conservation Service (SCS) para 03

condições de Umidade Antecedente. Estes valores mapeados são médios, pois foram obtidos de estimativas do tipo do solo e seu uso.

A metodologia do SCS considera três (03) condições de umidade antecedente do solo para estimar CN, que é função da precipitação, e é obtida a partir da chuva que antecede o evento no período de 05 dias:

- Condição I: Solos seco, com umidade acima do ponto de murchamento das plantas (menor que 13 mm na estação seca, ou menor que 36 mm na estação úmida);
- Condição II: Solo úmido, com umidade que precede naturalmente uma enchente máxima anual (entre 13 a 28 mm na estação seca, ou entre 36 a 53 mm na estação úmida);
- Condição III: Solo em condição de quase saturado, quando da ocorrência de chuvas no período de 05 anterior ao evento (maior que 28 mm na estação seca, ou maior que 53 mm na estação úmida);

Para obtenção dos mapas de S e CN nestas 03 condições de umidade, foram utilizados os mapas de Solos e de Cobertura e Uso da terra da bacia do Mundaú.

Os tipos de Solos existentes na bacia foram enquadrados em grupos hidrológicos, conforme Sartori (2005a, 2005b). E para realizar o processo de álgebra de mapas, os tipos A, B, C e D dos grupos hidrológicos foram respectivamente classificados como 100, 200, 300 e 400 (Tabela 3.9.2):

Tabela 3.9.2 – Reclassificação dos tipos de solos em grupos hidrológicos e sua codificação para geoprocessamento (álgebra de mapas).

SOLOS EXISTENTES	GRUPO HIDROLÓGICOS	CÓDIGO
GX - Gleissolos Háplicos	D	400
LA - Latossolos Amarelos	A	100
LVA - Latossolos Vermelhos-Amarelos	A	100
PA - Argissolos Amarelos	C	300
PVA - Argissolos Vermelhos-Amarelos	C	300
RL - Neossolos Litólicos	D	400
RQ - Neossolos Quartzorênicos	A	100
RR - Neossolos Regolíticos	B	200
RY - Neossolos Flúvicos	D	400
SM - Solos de Mangue	D	400
SX - Planossolos Háplicos	D	400
TT2 - Área Urbana	D	400
TT3 - Água	D	400

Os tipos de Cobertura e Uso da terra existentes na bacia do Mundaú foram reclassificados e numerados de 1 a 8 (Tabela 3.9.3):

Tabela 3.9.3 – Reclassificação dos tipos de Cobertura e Uso da terra para geoprocessamento (álgebra de mapas).

CLASSES	CÓDIGO
Área Artificial	1
Área Agrícola	2
Pastagem com Manejo	3
Mosaico de Ocupações em Área Floresta	4
Silvicultura	5
Vegetação Florestal	6
Vegetação Campestre	7
Mosaico de Ocupações em Área Campestre	8

Estabelecido os dois mapas temáticos com nova classificação foi realizada uma operação de soma de ambos produzindo em cada pixel do raster da bacia do Mundaú uma nova codificação que caracteriza o tipo de solos e seu uso. Com a nova codificação produzida pela soma dos mapas temáticos, cada pixel foi associado a um CNII a partir do grupo hidrológico e uso da terra na tabela de CNII, conforme Oliveira, Menezes e Pinto (2011). A Tabela 3.9.4 apresenta a nova codificação com seu respectivo CN associado:

Tabela 3.9.4 – Codificação para o mapa de CNII.

Valor	CNII	Descrição
101	49	Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva de 50 a 75% da área
102	60	Plantações de legumes ou cultivados
103	47	Pastagens
104	46	Florestas esparsas
105	64	Plantações regulares
106	36	Florestas normais
108	45	Campos permanentes esparsos
201	85	ZR 65% Impermeável
202	72	Plantações de legumes ou cultivados
203	67	Pastagens
204	68	Florestas Esparsas
206	60	Florestas normais
207	58	Campos permanentes normais
208	66	Campos permanentes esparsos
301	94	Zonas comerciais e de Escritórios
302	81	Plantações de legumes ou cultivados
303	81	Pastagens
304	78	Florestas esparsas
305	76	Plantações regulares
306	70	Florestas normais
307	71	Campos permanentes normais
308	77	Campos permanentes esparsos
401	98	arruamentos e estradas
402	84	Plantações de legumes ou cultivados
403	88	Pastagens
404	84	Florestas esparsas
406	76	Florestas normais
407	78	Campos permanentes normais
408	83	Campos permanentes esparsos

A partir do mapeamento de CNII é possível, através de álgebras de mapas, calcular a Infiltração Potencial Máxima (S) para condição de umidade antecedente II, bem como o S e CN para condição de umidade I e III utilizando as seguintes fórmulas:

$$S = (25000/CN) - 254 \quad (3.9.8)$$

$$CNI = (4,2 \times CNII) / (10 - 0,058 \times CNII) \quad (3.9.9)$$

$$CNIII = (23 \times CNII) / (10 + 0,13 \times CNII) \quad (3.9.10)$$

Uma vez estabelecidos os 03 mapas da bacia do Mundaú de infiltração Potencial Máxima (S) para as condições de umidade I, II e III, e os 03 mapas da bacia para CNI, CNII e CNIII, foi possível também obter essas mesmas informações para cada área de drenagem das 08 estações.

A Tabela 3.9.5 expõe os valores obtidos de S e CN para as 03 condições de umidade.

Tabela 3.9.5 – Valores médios obtidos a partir dos mapas de Infiltração Potencial Máxima (S) e CN para 03 condições de umidade.

NOME	CÓDIGO	CNI	CNII	CNIII	S1 (mm)	S2 (mm)	S3 (mm)
Canhotinho	39575000	49	69	83	293,6	123,6	53,3
Correntes II	39689000	57	74	86	247,1	103,2	45,3
Santana do Mundaú	39700000	55	73	85	272,0	113,4	49,7
Palmeirina	39715000	54	73	85	263,6	110,4	48,1
São José da Laje	39720000	48	68	82	324,2	135,7	58,9
União dos Palmares	39740000	52	70	83	304,9	127,3	55,6
Murici - Ponte	39760000	53	71	84	289,2	120,8	52,8
Fazenda Boa Fortuna	39770000	53	71	84	285,6	119,4	52,1

Estando com estes dados de S e CN obtidos para as três (03) condições de umidade antecedentes, a partir de então foi possível adicionar mais estas características físicas ao estudo de regressão.

A seguir é apresentado o mapa de Infiltração Potencial Máxima (Figura 3.9.2) e de CN (Figura 3.9.3) para a bacia do Mundaú nas três (03) condições de umidade antecedentes desenvolvidos aqui neste projeto a partir dos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011).

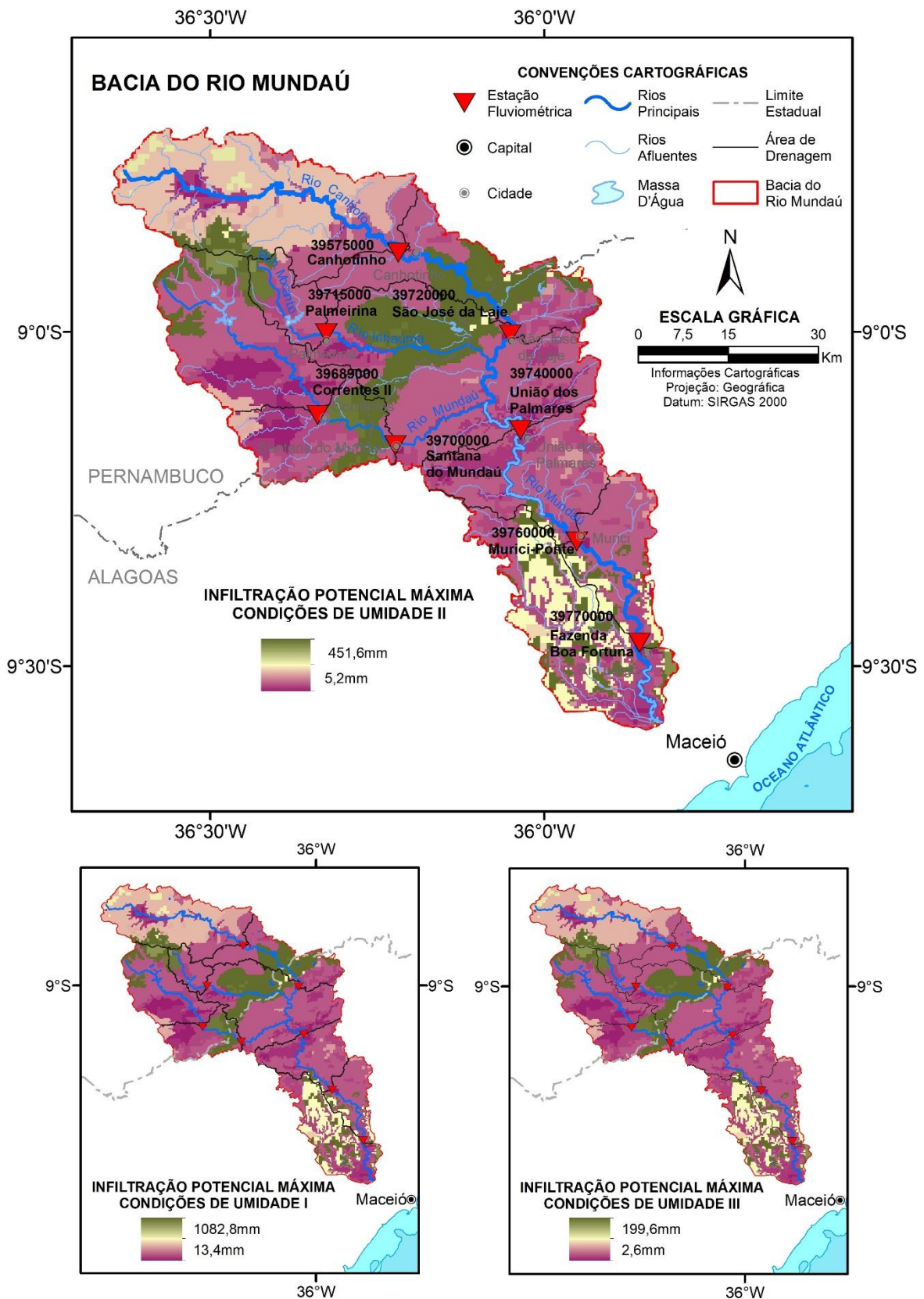


Figura 3.9.2 – Mapa dos valores de Infiltração Potencial Máxima nas três (03) condições de umidade antecedente obtidos a partir dos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011). Fonte: elaborado pelos autores.

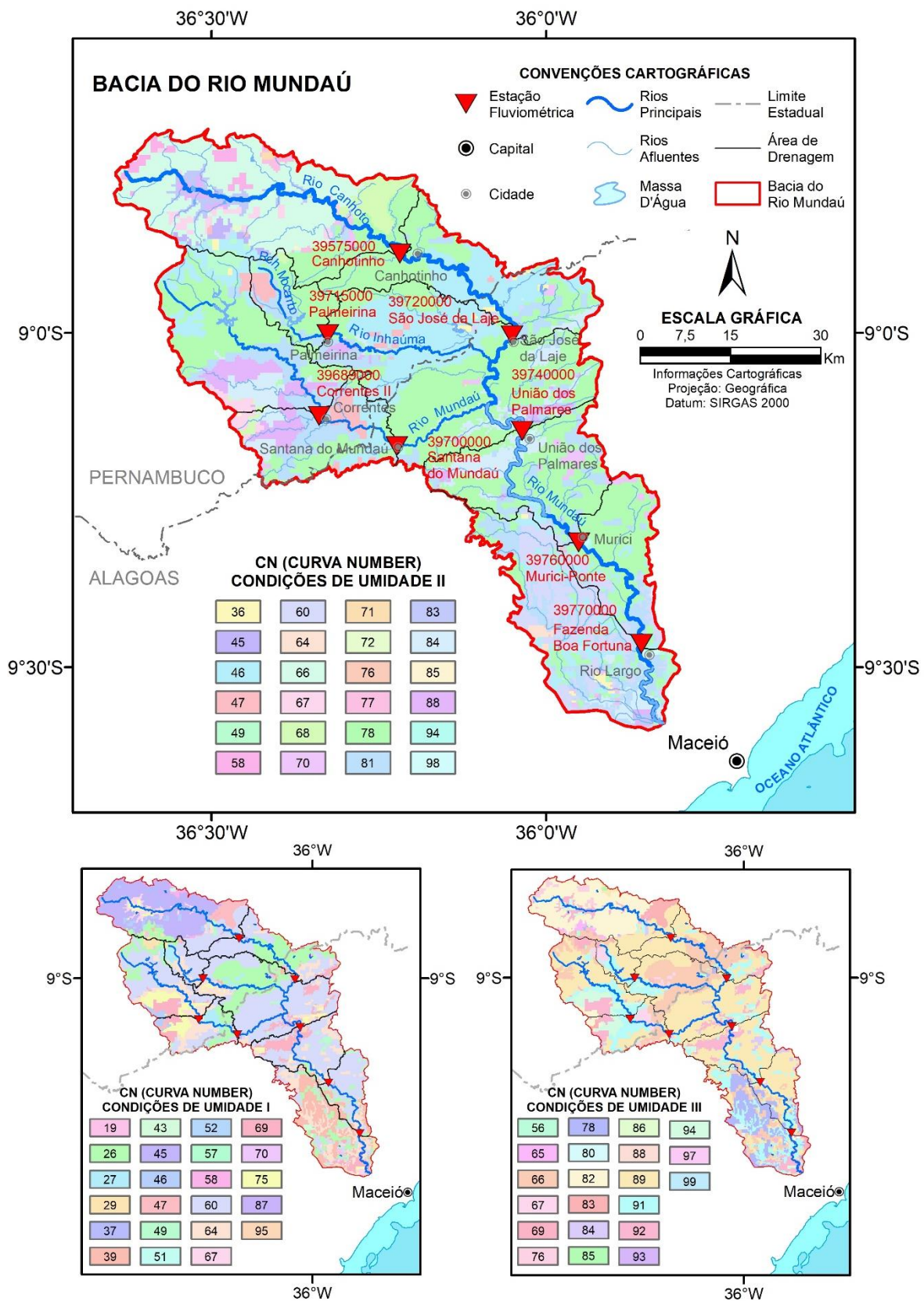


Figura 3.9.3 – Mapa dos valores de CN nas três (03) condições de umidade antecedidas obtidos a partir dos estudos de Sartori (2005a, 2005b) e Oliveira, Menezes e Pinto (2011). Fonte: elaborado pelos autores.

4 – METODOLOGIA

4.1 – Regionalização de vazões máximas anuais

A regionalização das vazões máximas anuais foi realizada com a aplicação do método “index-flood”, utilizando momentos-L e empregando as estatísticas-L. O método “index-flood” assume as seguintes premissas:

- As observações de qualquer estação são identicamente distribuídas;
- As observações de qualquer estação não podem ser autocorrelacionáveis;
- As observações de diferentes estações são independentes, ou seja, tem que haver independência espacial;
- As distribuições de frequência das diferentes estações são as mesmas, diferindo apenas o fator de escala;
- A forma matemática da curva de frequência regional é definida.

Assim, para se aplicar esta metodologia, é necessário verificar a independência serial e espacial das séries que serão utilizadas nos estudos. Isto pode ser realizado com o cálculo do coeficiente de autocorrelação de cada série para assegurar a independência serial e construir a matriz de covariância, contendo a correlação entre todas as estações da região, duas a duas, nos períodos comuns, a fim de verificar se há independência espacial.

As etapas necessárias para aplicação do método “index-flood” são as seguintes:

a) Organização e adimensionalização das séries

Na proposta inicial de Dalrymple (1960), as séries utilizadas devem ter períodos comuns de dados. Assim a primeira etapa consiste na montagem das séries com a variável a ser regionalizada e quando necessário é efetuado um estudo de preenchimento de falhas. Em seguida cada elemento, X_{ij} , das séries, onde i é o número de ordem do elemento na estação (j), é adimensionalizado através da relação entre o elemento e o fator de adimensionalização, μ_j , da estação (j). Formando, dessa maneira, série de elementos adimensionais X_{ij}/μ_j .

b) Definição das curvas empíricas de frequência de cada estação hidrometeorológica

As curvas são traçadas de uma forma não paramétrica, plotando-se, no papel de probabilidades os valores das séries adimensionalizadas com a correspondente posição de plotagem. NERC (1975) e Dalrymple (1960) utilizaram o papel de Gumbel.

c) Definição das regiões homogêneas e das curvas de frequência regional

As regiões hidrológicas homogêneas são definidas a partir das características meteorológicas, geográficas e da similaridade da "tendência" das curvas de frequência individuais. Dessa forma, um grupo de curvas com a mesma "tendência", dentro de uma região com características geográficas e meteorológicas semelhantes, formam uma região homogênea. A partir das curvas empíricas das estações da mesma região homogênea, grafadas no papel de probabilidade, é possível definir a curva regional. Esta é traçada a sentimento, de maneira que a curva regional seja a mediana das curvas empíricas individuais da região homogênea. Entretanto, como o traçado da curva regional tem caráter subjetivo, a sua extrapolação para tempos de retorno maiores é problemática. Procurando apresentar uma solução para este problema, NERC (1975), desenvolveu uma metodologia para efetuar as extrapolações.

d) Análise de regressão

A regressão é elaborada a partir do fator de adimensionalização, μ_j , de cada estação (j) da região homogênea, com as características da bacia, tais como, áreas de drenagem, precipitação anual, declividade do canal principal, intensidade da chuva horária em T anos de recorrência, entre outros. Dessa maneira, temos que:

$$\hat{\mu}_j = f(\text{características da bacia}) \quad (4.1.1)$$

A função de regressão pode ser de vários tipos: potencial, exponencial, logarítmica etc. De uma forma geral, a função potencial tem apresentado resultados convincentes. Independente do tipo de função, o modelo ideal é aquele com o menor número de variáveis explicativas e que apresenta pequeno erro fatorial, com alto coeficiente de determinação não tendencioso (Pires, 1994).

e) Estimativa de um evento com um período de retorno qualquer

A partir da curva adimensional regional determina-se o quantil associado a um período de retorno, $(X/\mu)_T$. Em seguida estima-se o fator de adimensionalização, $\hat{\mu}_j$, através da equação de regressão para qualquer local da região homogênea, e calcula-se o evento, X_T , para o período de retorno, T, através da seguinte equação:

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (4.1.2)$$

Segundo Pires, 1994, a grande vantagem do "index-flood" em relação aos outros métodos, parece residir no fato da regressão ser feita com uma medida de tendência central, pois observa-se que valores médios costumam apresentar menor variabilidade amostral que os momentos de ordens superiores".

No presente trabalho não foram adotadas séries com períodos comuns de dados, mas as séries completas, com todo o período observado, conforme apresentado por Tucci (2002).

Os momentos-L foram apresentados por Hosking (1986) como sendo combinações lineares dos momentos ponderados por probabilidade de uma variável aleatória X , ou simplesmente MPP's. Esses momentos foram definidos por Greenwood *et al.* (1979). Maiores informações sobre os conceitos básicos dos momentos-L estão apresentadas no Anexo II.

Esquemáticamente, as etapas de aplicação do método "index-flood" utilizando momentos-L são as seguintes:

- Cálculo do fator de adimensionalização, μ_j , de cada estação, j , através da média aritmética dos eventos observados;
- Adimensionalização das séries através da relação, (X_{ij} / μ_j) , onde X_{ij} é o i ésimo elemento da estação j ;
- Cálculo dos momentos-L amostrais $l_{r,j}$ das séries adimensionalizadas para $r = 1, 2, 3$ e 4 ;
- Cálculo das razões-L amostrais, t_j e $t_{r,j}$, das séries adimensionalizadas para $r = 3$ e 4 ;
- Definição das regiões homogêneas;
- Cálculo das estimativas adimensionais regionais a partir da média ponderada dos momentos-L e razões-L amostrais das estações da região homogênea. As médias são ponderadas pelo tamanho das séries:

$$\bar{l}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j l_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 1, 2, 3 \text{ e } 4 \quad (4.1.3)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_j}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (4.1.4)$$

$$\bar{t}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 3 \text{ e } 4 \quad (4.1.5)$$

- Seleção da distribuição teórica regional de probabilidades, e a estimativa, através dos momentos-L, dos parâmetros, θ_i^R , para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, onde n é o número de parâmetros da distribuição selecionada;

- Análise de regressão do fator de adimensionalização através de variáveis independentes, como as características fisiográficas e/ou meteorológicas da região.

Procurando minimizar subjetividades na definição de regiões homogêneas e escolha da distribuição teórica de probabilidades, Hoskinge e Wallis (1997) desenvolveram três estatísticas-L para serem utilizadas nas etapas de consistência de dados, delimitação de regiões homogêneas e seleção da distribuição de probabilidades regional, as quais encontram-se apresentadas a seguir.

4.1.1 – Medida de discordância – D_i

A medida de discordância, definida em termos dos momentos-L dos locais estudados, procura identificar as estações que são grosseiramente discrepantes das características médias regionais.

Considerando L-CV, assimetria-L e curtose-L, de um local j , como um ponto em um espaço tridimensional, temos u_i um vetor (1x3) contendo essas razões-L, dado por:

$$u_i = \left(t^{(j)} \quad t_3^{(j)} \quad t_4^{(j)} \right)^T \quad (4.1.1.1)$$

Considerando também, \bar{u} um vetor (3x1), da média aritmética simples entre todos os postos estudados:

$$\bar{u} = N^{-1} \sum_{j=1}^N u_j \quad (4.1.1.2)$$

$$u = \left(t^{(R)} \quad t_3^{(R)} \quad t_4^{(R)} \right)^T \quad (4.1.1.3)$$

Temos que a matriz de covariância amostral é dada por

$$S = (N-1)^{-1} \sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})(u_j - \bar{u})^T \quad (4.1.1.4)$$

Sendo N , o número de locais da região, e T indica matriz transposta.

A medida de discordância D_j , para o local j , é definida por Hoskinge e Wallis (1997) como:

$$D_j = \frac{N}{3(N-1)} (u_j - \bar{u})^T S^{-1} (u_j - \bar{u}) \quad (4.1.1.5)$$

Hoskinge e Wallis (1997) sugerem os valores críticos de D_i apresentados na Tabela 4.1.1.1 e recomendam o uso dessa estatística somente quando $N \geq 7$. Assim, em regiões com mais de 15 estações uma delas é discordante quando $D_i \geq 3$.

Tabela 4.1.1.1 - Valores críticos da medida de discordância - Di

Nº de locais na região	Di	Nº de locais na região	Di
5	1,333	11	2,632
6	1,648	12	2,757
7	1,917	13	2,869
8	2,140	14	2,971
9	2,329	≥ 15	3
10	2,491		

Fonte: Hoskinge e Wallis (1997)

4.1.2 – Medida de heterogeneidade - H

A medida de heterogeneidade H, tem por objetivo verificar o grau de heterogeneidade de uma região através da comparação da variabilidade amostral observada e a variabilidade esperada de uma região homogênea, a qual é simulada através do método de Monte Carlo.

De acordo com Hoskinge e Wallis (1997), numa região homogênea todas as estações com as séries adimensionalizadas dispõem dos mesmos momentos populacionais. Porém, devido à variabilidade amostral, os seus momentos amostrais são diferentes.

O cálculo da dispersão das regiões proposta e simulada, segundo Hoskinge e Wallis (1997), deve ser realizado através do coeficiente de variação amostral (L-CV), ou seja, t. Esses autores apresentam a medida da variância como uma medida de dispersão, ponderada pelo tamanho das séries, pela seguinte equação:

$$V = \frac{\sum_{j=1}^N n_j \left(t^{(j)} - t \right)^2}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (4.1.2.1)$$

Hoskinge e Wallis (1997) recomendam o uso da distribuição Kappa de quatro parâmetros na simulação da região homogênea. Todavia, caso não se consiga ajustar essa distribuição aos momentos-L médios regionais, os autores mencionados aconselham a utilização da distribuição Logística Generalizada na simulação, sendo esta distribuição um caso particular da distribuição Kappa, quando o parâmetro de forma h é igual a 1.

Hoskinge e Wallis (1997) apresentou as equações da função densidade de probabilidade, da função de distribuição acumulada e da sua inversa, relativas à distribuição Kappa de quatro parâmetros, respectivamente, como:

$$f(x) = \alpha^{-1} \left\{ \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} [F(x)]^{1-h} \right\} \quad (4.1.2.2)$$

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}^{\frac{1}{h}} \quad (4.1.2.3)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\frac{1 - (F(x))^h}{h} \right]^k \right\} \quad (4.1.2.4)$$

Sendo ξ o parâmetro de posição, α o parâmetro de escala e k e h os parâmetros de forma.

O número adequado de simulações do "universo" Kappa, N_{SIM} , realizadas através dos momentos-L regionalizados adimensionalizados observados, segundo Hosking e Wallis (1997), é igual a 500.

A variância dos dados simulados, V_{SIM} , é obtida através da equação (4.1.2.1), para cada uma das $m = 1, \dots, N_{SIM}$ populações Kappa. A média aritmética da variância fornecerá a dispersão média esperada na região homogênea, μ_{SIM} :

$$\mu_{SIM} = \frac{\sum_{I=1}^{N_{SIM}} V_{SIM}}{N_{SIM}} \quad (4.1.2.5)$$

A comparação da dispersão observada com a simulada, ou seja, a medida de heterogeneidade, H , é:

$$H = \frac{V - \mu_{SIM}}{\sigma_{SIM}} \quad (4.1.2.6)$$

Onde, σ_{SIM} é o desvio padrão dos valores da medida de dispersão V_{SIM} , ou seja

$$\sigma_{SIM} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{N_{SIM}} (V_{SIM} - \mu_{SIM})^2}{N_{SIM} - 1}} \quad (4.1.2.7)$$

Os critérios de classificação propostos por Hosking e Wallis (1997) são:

$H \leq 1,0 \Rightarrow$ região "aceitavelmente homogênea"

$1,0 \leq H < 2,0 \Rightarrow$ região "possivelmente heterogênea"

$H \geq 2,0 \Rightarrow$ região "definitivamente heterogênea"

4.1.3 – Teste de aderência - Z

O teste de aderência sugerido por Hosking e Wallis (1997) auxilia na escolha da distribuição de frequência apropriada para a estimação dos quantis regionais e consiste de uma estatística-L, denotada por Z, para verificar se a distribuição candidata fornece um bom ajuste aos dados regionais, isto é, se os momentos-L médios regionais são coerentes com os da distribuição candidata.

Pinheiro (1997) apresentou o seguinte roteiro de procedimentos de cálculo e análise para definição da distribuição de frequência regional:

- (i) "assuma uma série de distribuições de três parâmetros como candidatas.

As distribuições possíveis são a Logística Generalizada - GLO, Generalizada de Valores Extremos - GEV, Generalizada de Pareto - GP, log-Normal - LN e Pearson tipo III - P3. Devido ao fato de uma distribuição de três parâmetros poder conter outra distribuição de 2 parâmetros, caso particular em que o parâmetro de forma é nulo, são testadas ainda, de forma indireta, as seguintes distribuições de dois parâmetros: Uniforme, Logística, Normal, Exponencial, Pareto e de valor extremo do tipo I - Gumbel;"

- (ii) "ajuste cada distribuição candidata ao grupo de momentos-L regionais: l , \bar{t}_2 , \bar{t}_3 e \bar{t}_4 . Denote por τ_4^{DIST} a curtose-L da distribuição ajustada, onde DIST poderá ser qualquer uma das distribuições, GLO, GEV, etc;"
- (iii) "ajuste a distribuição Kappa ao grupo de momentos-L regionais;"
- (iv) "simule um grande número de NSIM regiões para essa população Kappa. Esta simulação deverá ser efetuada da mesma forma como apresentada na descrição da medida de Heterogeneidade;"
- (v) "calcule a assimetria-L regional $\bar{t}_3^{(m)}$, e a curtose-L regional $\bar{t}_4^{(m)}$, para a m ésima região simulada;"
- (vi) "calcule a medida de tendenciosidade de \bar{t}_4 , β_4 :"

$$\beta_4 = (N_{SIM})^{-1} \sum_{m=1}^{N_{SIM}} \left(\bar{t}_4^{(m)} - \bar{t}_4 \right)^2 \quad (4.1.3.1)$$

- (vii) "calcule o desvio padrão de \bar{t}_4 , σ_4 :"

$$\sigma_4 = \sqrt{(N_{SIM})^{-1} \left[\sum_{m=1}^{N_{SIM}} \left(\bar{t}_4^{(m)} - \bar{t}_4 \right)^2 - N_{SIM} \beta_4^2 \right]} \quad (4.1.3.2)$$

- (viii) "calcule a estatística-L, Z, para cada distribuição candidata:"

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \bar{t}_4 + \beta_4)}{\sigma_4} \quad (4.1.3.3)$$

(ix) "declare o ajuste adequado, se $|Z^{DIST}| \leq 1,64$;"

(x) "plote a curva de frequência adimensional regional."

Cabe ressaltar que a indicação do valor absoluto da estatística Z ser inferior a 1,64 está associado a consideração de que a região estando próxima de ser aceitavelmente homogênea e os dados em locais diferentes serem estatisticamente independentes, então, como consequência, a distribuição da medida de aderência é a normal padrão. Sendo assim, o valor absoluto de Z ser inferior a 1,64 indica que o ajuste pode ser considerado aceitável ao nível de significância de 10%. Caso se considere o nível de significância de 5%, o valor absoluto de Z deve ser inferior a 1,96.

Além das curvas de todas as distribuições candidatas aceitáveis, deverão ser plotados o ponto médio regional da assimetria-L e da curtose-L (τ_3 e τ_4), e verificado graficamente a melhor distribuição ajustada. Hosking e Wallis (1997) sugerem que, se o ponto médio regional cair acima da curva da distribuição Logística Generalizada-GLO, nenhuma distribuição de três ou de dois parâmetros será aceita, devendo então ser ajustada uma distribuição mais genérica, como a Wakeby de cinco parâmetros ou a Kappa de quatro parâmetros."

4.1.4 – Equações de Regressão do Fator de Adimensionalização

Após a delimitação das regiões homogêneas, são levantadas as principais grandezas fisiográficas e meteorológicas (climáticas) que poderão ser utilizadas como variáveis independentes ou explicativas na análise de regressão com o fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas. As variáveis explicativas podem ser: a área de drenagem, a comprimento do rio principal, a densidade de drenagem, a declividade, a precipitação total anual média etc. Neste trabalho as grandezas fisiográficas e meteorológicas foram obtidas com a utilização de geoprocessamento, na tentativa de automatizar os procedimentos.

Dentre os vários tipos de equações de regressão destacam-se as lineares e as potenciais. As formas destas equações estão apresentadas a seguir:

$$Q_{\max\text{-med}} = aA + bP + cDD + \dots$$

$$Q_{\max\text{-med}} = a A^b P^c DD^d \dots$$

Onde, A, P e DD são as variáveis explicativas e a, b, c e d são parâmetros das equações.

O cálculo dos parâmetros das equações acima foi realizado através de regressão linear múltipla, sendo que, no caso da equação potencial foi efetuada uma anamorfose logarítmica para linearizar a equação.

A definição do modelo a ser adotado foi realizada a partir das estatísticas dos resultados da regressão, ou seja, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}), o teste de parte de um modelo de regressão múltipla (Teste F parcial), o teste dos coeficientes de regressão (Teste t) e o teste F para verificação da não aleatoriedade das relações estabelecidas. O nível de significância adotado nos testes mencionados anteriormente foi de 5%. Também foram utilizados os desvios quadráticos mínimos (*DQM*) e os desvios percentuais médios absolutos (*DPMA*), cujas as fórmulas estão apresentadas a seguir, em conjunto com uma análise criteriosa dos resíduos encontrados para escolher o modelo final.

Desvios quadráticos mínimos:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{N - 1}} \quad (4.1.4.1)$$

Desvios percentuais médios absolutos:

$$DPMA = \frac{\sum \left(\frac{|Q_{obs} - Q_{cal}|}{Q_{obs}} \right) \cdot 100}{N} \quad (4.1.4.2)$$

Onde,

Q_{obs} é a vazão observada,

Q_{cal} é vazão calculada.

Maiores informações sobre a metodologia aqui adotada de regressão e do fator de adimensionalização das vazões máximas anuais podem ser encontradas ao consultar o livro Hidrologia Estatística (Naghetini; Pinto, 2007).

5 – RESULTADOS DA REGIONALIZAÇÃO

5.1 – Análise dos dados

A regionalização de vazões diárias máximas foi realizada empregando os dados das séries históricas de 6 estações fluviométricas da ANA operadas pelo Serviço Geológico do Brasil. A Tabela 5.1.1 apresenta as estações empregadas no estudo. As estações fluviométricas de Canhotinho, código 39575000, e Correntes II, código 39689000, não foram empregadas na regionalização por possuírem séries curtas, 5 e 6 anos respectivamente.

Inicialmente foi realizada uma avaliação da consistência das séries de vazões diárias máximas por ano civil. Os dados de vazões e as curvas chaves empregados neste estudo de regionalização estão apresentados no Anexo III. A vazão máxima do ano de 2010 na estação de Santana do Mundaú, código 39700000, de 874m³/s, foi estimada a partir da cota de nivelamento da marca de cheia, ou seja, 11,625m. Esta vazão é 4,3 vezes maior que a segunda máxima histórica da série de Santana do Mundaú, 203m³/s, e foi considerada um *outlier*, pois supera o valor de referência definido pela soma do terceiro quartil com 1,5 vezes a amplitude interquartil (3^oQ + 1,5.AIQ). A vazão máxima de 874m³/s distorcia as análises realizadas neste estudo, pois, a probabilidade empírica de superação deste evento, estimada por meio das fórmulas de posição de plotagem, se afasta muito da probabilidade de superação “real” do evento. Além disso, a vazão estimada de 874m³/s, associada a cota nivelada de 11,625m, está no ramo superior extrapolado da curva chave, o qual apresenta incerteza. Sendo assim, optou-se por excluir o evento de 874m³/s das análises.

Tabela 5.1.1 – Estações Fluviométricas utilizadas no estudo de regionalização.

NOME	CÓDIGO	UF	Rio	ÁREA (km ²)	N	D(I)
Santana do Mundaú*	39700000	AL	Mundaú	764	26	0,44
Palmeirina	39715000	PE	Inhaúma	135	7	1,44
São José da Laje	39720000	AL	Canhoto	1169	28	1,43
União dos Palmares	39740000	AL	Mundaú	2913	21	1,46
Murici - Ponte	39760000	AL	Mundaú	3293	29	1,05
Fazenda Boa Fortuna	39770000	AL	Mundaú	3565	43	0,18

*A vazão máxima de 2010, 874m³/s, não foi considerada.

Além dos procedimentos de avaliação de consistência padrões, também foi aplicada a medida de discordância, definida em termos dos momentos-L dos locais estudados. Os resultados das medidas de Discordância, D(I), estão apresentados na Tabela 5.1.1. No caso das seis estações, as medidas de discordância foram inferiores ao valor crítico de 1,65, dessa forma, podemos aceitar que as séries utilizadas não são grosseiramente discrepantes das características médias regionais.

5.2 – Definição das regiões homogêneas

Inicialmente foram plotadas as curvas empíricas adimensionais para avaliar se as séries de toda a bacia do rio Mundaú poderiam formar uma região homogênea. O fator de adimensionalização utilizado foi a média das séries. As curvas empíricas adimensionais estão na Figura 5.2.1. A fórmula de posição de plotagem empregada foi a de Weibull, $[m/(N+1)]$. No gráfico, além das seis séries utilizadas, também foi plotada a de Santana do Mundaú com o *outlier* identificada na legenda como 39700000 com triângulo preenchido vermelho. Observa-se na figura que a exclusão do *outlier* da estação de Santana do Mundaú (39700000-SO*) indica que as 6 séries históricas podem formar uma região homogênea.

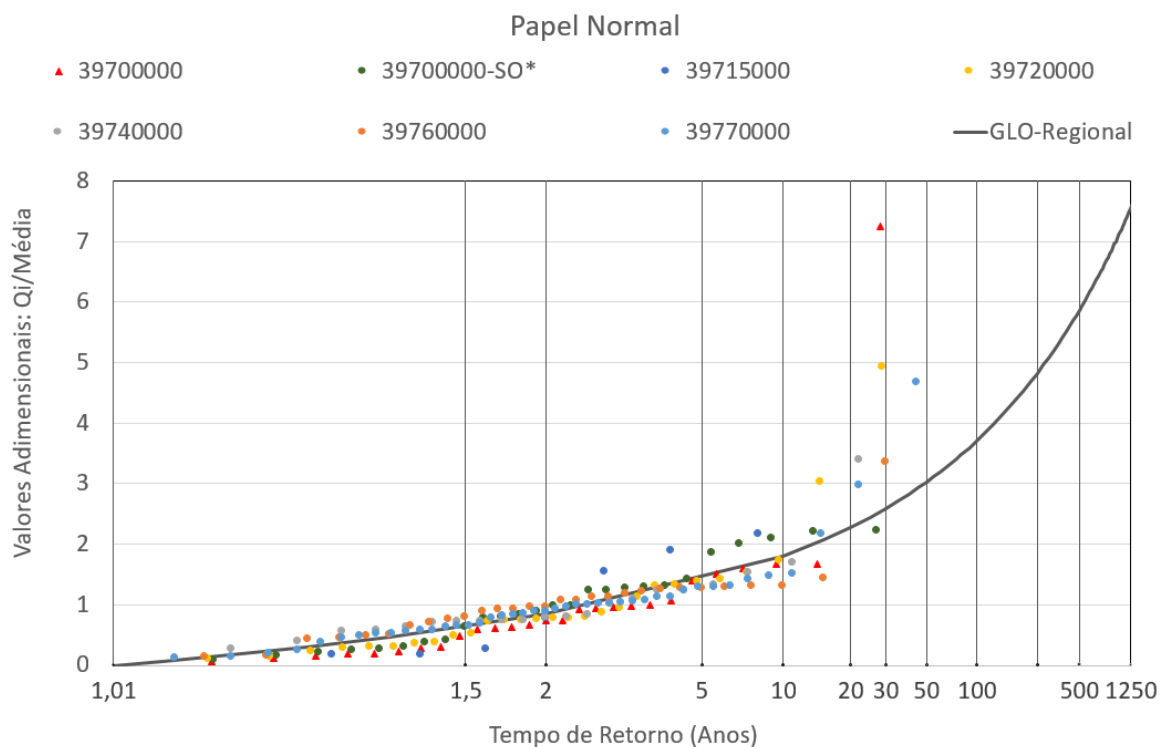


Figura 5.2.1 – Distribuições Adimensionais e a Regional. (SO* - Sem *Outlier*). Fonte: elaborado pelos autores.

Assim, para confirmar se a bacia pode formar uma região homogênea, foi utilizada a medida de heterogeneidade. O resultado obtido, segundo o critério de Hosking e Wallis (1997), indica que a região é considerada “aceitavelmente homogênea”, pois a medida de heterogeneidade, H , é igual a 0,77 e menor que 1.

5.3 – Seleção das distribuições de frequência regionais

A seleção da distribuição de frequência regional foi efetuada com os métodos propostos por Hosking e Wallis (1997). Os autores propõem o ajuste das distribuições Logística Generalizada (GLO), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Log-Normal (LN-3P) ou Generalizada Normal, Pearson tipo III (P-III) e Generalizada de Pareto (GP), estimando os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais. A Tabela 5.3.1 apresenta os valores das razões-L e dos momentos-L regionais de cada uma das séries utilizadas no estudo. Enquanto que na Tabela 5.3.2 estão apresentadas as razões-L da região considerada homogênea.

Tabela 5.3.1 – Momentos-L e Razões-L das séries empregadas no estudo

Estação	Código	N	L1	L2	L3	L4	L5	L-CV	L-SKEW	L-KURT
Santana do Mundaú	39700000	26	91,56	35,29	4,04	1,3	1,02	0,3854	0,1146	0,0368
Palmeirina	39715000	7	11,36	5,76	1	-1,63	-0,52	0,5068	0,1742	-0,2829
São José da Laje	39720000	28	76,84	34,66	14,01	11,39	9,24	0,4511	0,4043	0,3286
União dos Palmares	39740000	21	311,25	96,11	37,58	34,48	18,06	0,3088	0,391	0,3588
Murici - Ponte	39760000	29	414,16	114,06	12,28	32,53	26,62	0,2754	0,1077	0,2852
Fazenda Boa Fortuna	39770000	43	479,99	166,89	52,05	57,88	42,44	0,3477	0,3119	0,3468

Tabela 5.3.2 – Momentos-L e Razões-L regionais

	L1	L-CV	L-SKEW	L-KURT	t5
Região Homogênea	1	0,361184	0,26139	0,252571	0,189826

A Tabela 5.3.3 apresenta os resultados dos testes de aderência para a região homogênea segundo o critério de Hosking e Wallis (1997). Como mencionado no item 4.1.3, considerando o nível de significância de 10%, o valor absoluto de Z deve ser inferior a 1,64 para que o ajuste da distribuição aos dados adimensionais regionais seja considerado aceitável. Ao se analisar os resultados apresentados na Tabela 5.3.3 observa-se que a distribuição que adere aos dados regionais é a Generalizada Logística (GLO).

Tabela 5.3.3 – Resultados do teste de aderência Z

Distribuição	GLO	GEV	LN-3P	P-III	GP
Z	-1,49	-2,11	-2,44	-3,04	-3,70

Além dos resultados do teste de aderência, também foi avaliado o posicionamento dos valores regionais no diagrama Curtose-L x Assimetria-L, apresentado na Figura 5.3.1, para definir a Generalizada Logística (GLO) como distribuição regional adimensional.

As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da Generalizada Logística (GLO), além das inversas destas distribuições são apresentados por Hosking e Wallis (1997) como:

$$f_x(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)y}}{(1+e^{-y})^2}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \ln[1 - k(x - \xi)/\alpha] & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (5.3.1)$$

Os limites da função são:

Para $K < 0$: $\xi + \frac{\alpha}{k} \leq x \leq \infty$, para $K = 0$: $-\infty \leq x \leq \infty$ e para $K > 0$: $-\infty < x \leq \xi + \frac{\alpha}{k}$

$$F_x(x) = 1/(1+e^{-y}) \quad (5.3.2)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[(1-F)/F] \quad , K = 0 \quad (5.3.3)$$

$$x(F) = \xi + \alpha \{1 - [(1-F)/F]^k\} / k \quad , K \neq 0 \quad (5.3.4)$$

Onde K , α e ξ são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente.

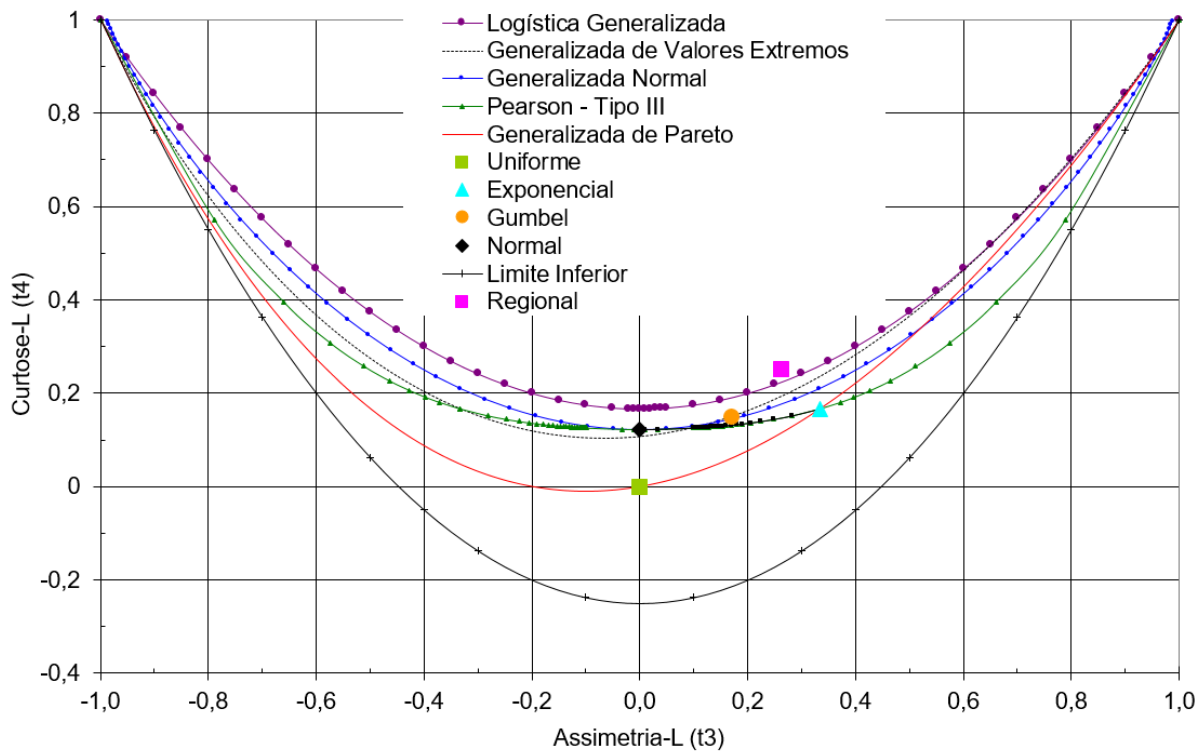


Figura 5.3.1 – Diagrama Assimetria-L x Curtose-L. Fonte: elaborado pelos autores.

A estimativa dos parâmetros da distribuição pelos momentos-L está apresentada no Anexo II.

Os parâmetros da distribuição regional foram estimados utilizando os momentos-L e as razões-L regionais apresentados na Tabela 5.3.2. Os parâmetros calculados encontram-se na Tabela 5.3.4.

Tabela 5.3.4 – Parâmetros da distribuição regional adimensional.

Distribuição	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
Logística Generalizada	0,850	0,322	-0,261

Após a determinação dos parâmetros da distribuição, foram estimados os quantis regionais adimensionalizados associados a vários períodos de retorno, de acordo com a equação (5.3.4); os valores obtidos estão apresentados na Tabela 5.3.5. Recomenda-se que este estudo seja empregado para estimativa de quantis adimensionais associados aos tempos de retorno menores que 200 anos. A Figura 5.2.1 apresenta além das curvas empíricas adimensionais a curva adimensional Regional da Generalizada Logística.

Tabela 5.3.5 – Quantis regionais adimensionais

T (Anos)	1,1	2	5	10	20	25	50	100	150	200
Quantil Adimensional	0,293	0,850	1,388	1,805	2,277	2,444	3,023	3,710	4,171	4,528

5.4 – Regressões para Estimativa das Médias das Vazões Máximas Anuais

Para analisar os possíveis relacionamentos matemáticos entre a média das vazões máximas anuais das séries fluviométricas disponíveis das 08 estações, e as variáveis explicativas (Anexo I) oriundas dos levantamentos temáticos, foram estudados modelos lineares e modelos não-lineares baseados nos melhores valores obtidos da matriz de correlação linear, excluídas as variáveis explicativas redundantes. Ao utilizar a função de regressão em planilha eletrônica, foram observados os resultados estatísticos de *F de significação* e *valor – p* (abaixo do nível de significação de 5%), R^2 (acima de 90%) e *desvios percentuais* até 25%.

Os modelos lineares testados foram do tipo $y = cte + a_1 x v_1 + a_2 x v_2 + \dots + a_n x v_n$, onde y é a média das vazões máximas anuais, a_n é o coeficiente linear na posição ' n ', e v_n é a variável explicativa escolhida na posição ' n ' para avaliar a possibilidade de relacionamento com y . Sabe-se que, para modelos linear ou não-linear, o número de variáveis explicativas da equação de regressão não deve ultrapassar de 03 a 04 vezes o número de estações amostrais, limitando-se a 01 ou 02 o número de variáveis explicativas. Acima disto é possível que se forme uma equação com R^2 (coeficiente de determinação) bastante elevado, mas sem significado fora da equação amostral (*overfitting*), não sendo aplicável para o estudo aqui desenvolvido. Contudo não se obteve sucesso com um modelo linear, sugerindo uma relação não-linear entre as variáveis para a equação de regressão.

Os modelos não-lineares testados foram do tipo $y = cte x (v_1^{a1}) x (v_2^{a2}) x \dots x (v_n^{an})$, onde y é a média das vazões máximas anuais, an é o coeficiente não-linear na posição ' n ', e v_n é a variável explicativa escolhida na posição ' n ' para avaliar a possibilidade de relacionamento com y . Alguns modelos não-lineares testados apresentaram bons resultados, sendo que os 02 melhores escolhidos apresentaram relacionamento entre o logaritmo neperiano da média da vazão máxima anual (m^3/s) e os logaritmos neperiano da área de drenagem (km^2) juntamente com o logaritmo neperiano do percentual da área de drenagem com declividade do relevo acima de 20% (AD20 em valor absoluto), bem como o modelo relacionando o logaritmo neperiano da média da vazão máxima anual (m^3/s) e os logaritmos neperiano da área de drenagem da estação (km^2) juntamente com o logaritmo neperiano da precipitação anual média em metros (m) nas mesmas áreas.

Os dois modelos não-lineares adotados na região, os quais foram denominados Equação Principal e Equação Secundária, estão descritos a seguir. A Tabelas 5.4.1 apresenta os resultados da análise de regressão para a Equação Principal e a Tabela 5.4.2 para a Equação Secundária.

Equação Principal:

$$\overline{Q_{max}} = 0,14395 \times (A^{1,14457}) \times (AD20abs)^{1,16105} \quad (5.4.1)$$

Onde $\overline{Q_{max}}$ é a média das vazões máximas anuais [m³/s], A é a área de drenagem [km²] e $AD20abs$ é o percentual da área de drenagem com declividade do relevo maior que 20% [Valor absoluto].

Tabela 5.4.1 – Resultados estatísticos do modelo não-linear relacionando a Média das Vazões Anuais Máximas e Área de Drenagem conjuntamente com o Percentual da Área de Drenagem (em valor absoluto) que possua declividade do relevo maior que 20%.

NOME DAS ESTAÇÕES UTILIZADAS PARA REGRESSÃO	CÓDIGO	UF	LN VAZÃO MÁXIMA MÉDIA (m ³ /s)	LN ÁREA (km ²)	LN (DECLIVIDADE > 20%) Ou LN AD20
Canhotinho	39575000	PE	2,5072	6,6409	-2,7112
Correntes II	39689000	PE	2,9172	6,1702	-1,8698
Palmeirina	39715000	PE	2,4292	4,9041	-1,0756
São José da Laje	39720000	AL	4,3417	7,0637	-1,6276
União dos Palmares	39740000	AL	5,7406	7,9770	-1,1601
Murici - Ponte	39760000	AL	6,0263	8,0997	-1,1241
Fazenda Boa Fortuna	39770000	AL	6,1738	8,1789	-1,1286
NOME DAS ESTAÇÕES DA BACIA DO MUNDAÚ	CÓDIGO	UF	VAZÃO MÁXIMA MÉDIA (m ³ /s)	$\overline{Q_{max}}$ (m ³ /s)	DESVIOS (%)
Canhotinho	39575000	PE	12,3	12,4	0,78
Correntes II	39689000	PE	18,5	19,2	3,65
Santana do Mundaú	39700000	AL	91,6	61,3	-33,02
Palmeirina	39715000	PE	11,4	11,3	-0,32
São José da Laje	39720000	AL	76,8	70,6	-8,13
União dos Palmares	39740000	AL	311,2	345,5	11,01
Murici - Ponte	39760000	AL	414,2	414,6	0,10
Fazenda Boa Fortuna	39770000	AL	480,0	451,6	-5,92
ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO	F DE SIGNIFICAÇÃO	VARIÁVEIS EXPLICATIVAS		VALOR-P	
R múltiplo	0,999325	Interseção		9,29x10 ⁻⁰⁴	
R-Quadrado	0,998651	LN Área (km ²)		1,71x10 ⁻⁰⁶	
R-quadrado ajustado	0,997977	LN (Declividade > 20%) ou LN AD20		2,56x10 ⁻⁰⁵	
Erro padrão	0,076145				
Observações	7				

Equação Secundária:

$$\overline{Q_{max}} = 17,72563 \times (A^{0,47551}) \times (PMA)^{7,63563} \quad (5.4.2)$$

Onde $\overline{Q_{max}}$ é a média das vazões máximas anuais [m³/s], A é a área de drenagem [km²] e PMA é a Precipitação Média Anual [m].

Tabela 5.4.2 – Resultados estatísticos do modelo não-linear que relaciona a Média das Vazões Anuais Máximas e Área de Drenagem conjuntamente com a Precipitação Média Anual.

NOME DAS ESTAÇÕES UTILIZADAS PARA REGRESSÃO		CÓDIGO	UF	LN VAZÃO MÁXIMA MÉDIA (m ³ /s)	LN ÁREA (km ²)	LN PMA (m)
Canhotinho		39575000	PE	2,50716	6,64094	-0,45713
Correntes II		39689000	PE	2,91723	6,17024	-0,36658
Santana do Mundaú		39700000	AL	4,51696	6,63838	-0,20334
Palmeirina		39715000	PE	2,42922	4,90415	-0,36370
São José da Laje		39720000	AL	4,34167	7,06373	-0,26906
União dos Palmares		39740000	AL	5,74058	7,97702	-0,13091
Murici - Ponte		39760000	AL	6,02628	8,09968	-0,07289

NOME DAS ESTAÇÕES DA BACIA DO MUNDAÚ		CÓDIGO	UF	VAZÃO MÁXIMA MÉDIA (m ³ /s)	$\overline{Q_{max}}$ (m ³ /s)	DESVIOS (%)
Canhotinho		39575000	PE	12,3	12,7	3,58
Correntes II		39689000	PE	18,5	20,3	9,71
Santana do Mundaú		39700000	AL	91,6	88,1	-3,73
Palmeirina		39715000	PE	11,4	11,4	0,07
São José da Laje		39720000	AL	76,8	65,3	-14,97
União dos Palmares		39740000	AL	311,2	289,6	-6,95
Murici - Ponte		39760000	AL	414,2	478,1	15,44
Fazenda Boa Fortuna		39770000	AL	480,0	698,5	45,52

ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO		F DE SIGNIFICAÇÃO	VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	VALOR-P
R múltiplo	0,997624	2,25x10 ⁻⁰⁵	Interseção	8,52x10 ⁻⁰³
R-Quadrado	0,995253		LN Área (km ²)	2,49x10 ⁻⁰³
R-quadrado ajustado	0,992879		LN PMA (m)	1,60x10 ⁻⁰⁴
Erro padrão	0,125895			
Observações	07			

A Figura 5.4.1 a seguir apresenta espacialmente a região aplicável para a Equação 5.4.1 (*Equação Principal*) em verde e para a Equação 5.4.2 (*Equação Secundária*) em marrom-claro, levando em conta a superposição da área de validade dos resultados de cada solução obtida.

Conforme as Tabelas 5.4.1 e 5.4.2, observa-se que para a área incremental entre Santana do Mundaú e Correntes II é válida a Equação Secundária 5.4.2 (em marrom-claro), pois a Equação 5.4.1 apresenta valor mais próximo de 01 para o coeficiente de determinação da regressão, e menores valores para F de significação, valor-P, além de menor desvio em Correntes II (3,65%) que a Equação 5.4.2 (9,71%), bem como a Equação 5.4.2 apresenta melhores desvios para Santana do Mundaú (-3,73%) que a Equação 5.4.1 (33,02%).

Também é observado que a Equação 5.4.2 apresenta melhores desvios para Palmeirina que a Equação 5.4.1, apesar da pouca diferença (menos de 0,4%), repetindo-se este resultado para União dos Palmares, com -6,95% de desvio para Equação 5.4.2 contra 11,01% obtida pela Equação 5.4.1. Diferentemente, para São José da Laje e Canhotinho, a Equação 5.4.1 apresenta melhores desvios (-8,13%, e

0,78%, respectivamente) que a Equação 5.4.2 (-14,97%, e 3,58%, respectivamente). Ocorrendo também melhores desvios para a Equação 5.4.1 em Murici-Ponte e Fazenda Boa Fortuna com 0,10% e -5,92%, respectivamente, contra 15,44% e 45,52%, respectivamente, ao se utilizar a Equação 5.4.2.

Desta forma, origina-se uma área central na bacia do Mundaú válida para a Equação 5.4.2, e fora desta região hidrográfica, mas pertencente a área de drenagem de Fazenda Boa Fortuna que engloba todas as estações analisadas, fica estabelecida a Equação 5.4.1 como válida, conforme Figura 5.4.1.



Figura 5.4.1 – Regiões definidas para aplicação das equações de regressão na estimativa da média das vazões máximas anuais, desde que atenda à condição mínima de monitoramento fluviométrico.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os rasters ou shapes criados no estudo da bacia hidrográfica do rio Mundaú, tais como as Precipitações Médias Anuais, ou Percentual da área de drenagem com declividade do relevo maior que 20%, necessários à utilização das fórmulas aqui desenvolvidas neste trabalho devem ser solicitados aos autores deste projeto por e-mail: mucio.viraes@sgb.gov.br e/ou eber.andrade@sgb.gov.br .

6 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Utilizando as equações regionais de regressão e a distribuição ajustada a região homogênea é possível determinar a vazão máxima anual associada a um tempo de retorno em qualquer ponto ao longo dos cursos d'água da região homogênea. Bem como é possível estimar o tempo de retorno de uma vazão máxima registrada na bacia. Para ilustrar o uso da regionalização das vazões máximas anuais resolveremos os seguintes exemplos descrito a seguir.

1º Exemplo

Suponha que um empreendedor necessite da estimativa da vazão de cheia com tempo de retorno de 100 anos para definir a cota da longarina de uma ponte que atravessará o rio Canhoto. A área de drenagem até o ponto de construção da ponte é de 1659 km².

As etapas para solução são as seguintes:

- a) Avaliar se a ponte está localizada na região homogênea.

Como a região homogênea é toda a bacia e a área de drenagem é superior ao limite inferior de aplicação das equações de regressão, pode ser aplicado o método desenvolvido neste estudo.

- b) Calcular o quantil regional adimensionalizado referente ao tempo de retorno de 100 anos.

A distribuição selecionada foi Generalizada Logística, cuja a função inversa é calculada pela equação (5.3.4), e os parâmetros estão apresentados na Tabela 5.3.4.

Distribuição	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
Logística Generalizada	0,850	0,322	-0,261

$$x(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - [(1 - F) / F]^k \right\} / k, \quad K \neq 0 \quad (5.3.4)$$

O tempo de recorrência de 100 anos corresponde a seguinte probabilidade:

$$P(X \leq x) = F = 1 - \frac{1}{Tr(anos)} = 1 - \frac{1}{100} = 0,99$$

Aplicando a equação (5.3.4), temos:

$$x(0,99) = 0,850 + \{0,322 \cdot \{1 - [(1 - 0,99) / 0,99]^{-0,261}\} / -0,261\} = 3,710$$

Este valor também pode ser obtido na Tabela 5.3.5, considerando o tempo de retorno de 100 anos.

- c) Cálculo do fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas anuais.

Caso não se disponha de dados no local, é possível fazer a estimativa da média das vazões máximas anuais através da equação de regressão da região homogênea. Neste exemplo vamos estimar a vazão com a equação de regressão secundária (5.4.2).

$$\overline{Qmax} = 17,72563 \times (A^{0,47551}) \times (PMA^{7,63563}) \quad (5.4.2)$$

Onde \overline{Qmax} é a média das vazões máximas anuais [m³/s], A é a área de drenagem [km²] e PMA é a Precipitação Média Anual [m].

Neste exemplo, temos:

$$A = 1659 \text{ Km}^2$$

$$PMA = 811,3 \text{ mm} = 0,8113 \text{ m}$$

PMA seu valor obtido do raster *pma_mundau* a partir da área de drenagem estudada utilizando a ferramenta *Zonal Statistic* do ArcToolBox/ArcGIS.

$$\overline{Qmax} = 17,72563 \times (1659^{0,47551}) \times (0,8113^{7,63563})$$

A estimativa da média das vazões máximas anuais é de 122,0 m³/s.

- d) Cálculo da vazão máxima associada a um tempo de retorno de 100 anos

A estimativa desta vazão é realizada através da equação (3.1.2)

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (3.1.2)$$

$(X/\mu)_T$ é igual a 3,710 e foi calculado no item b)

$\hat{\mu}_j$ é igual a 122,0 m³/s e foi calculado no item c)

$$X_T = 3,710 \cdot 122,0 = 453,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, a vazão máxima com tempo de recorrência de 100 anos no rio Canhoto no local da futura ponte é de 453,0 m³/s.

2º Exemplo

Suponha agora que o empreendedor necessite da estimativa da vazão de cheia com tempo de retorno de 100 anos para definir a cota da longarina da ponte que atravessará o mesmo rio Canhoto, porém que a área de drenagem até o ponto de construção da ponte é de 1005 km².

As etapas para solução são as seguintes:

- a) Avaliar se a ponte está localizada na região homogênea.

Como a região homogênea é toda a bacia e a área de drenagem é superior ao limite inferior de aplicação das equações de regressão, pode ser aplicado o método desenvolvido neste estudo.

- b) Calcular o quantil regional adimensionalizado referente ao tempo de retorno de 100 anos.

A distribuição selecionada foi Generalizada Logística, cuja a função inversa é calculada pela equação (5.3.4), e os parâmetros estão apresentados na Tabela 5.3.4.

Distribuição	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
Logística Generalizada	0,850	0,322	-0,261

$$x(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - [(1 - F) / F]^k \right\} / k, \quad K \neq 0 \quad (5.3.4)$$

O tempo de recorrência de 100 anos corresponde a seguinte probabilidade:

$$P(X \leq x) = F = 1 - \frac{1}{Tr(anos)} = 1 - \frac{1}{100} = 0,99$$

Aplicando a equação (5.3.4), temos:

$$x(0,99) = 0,850 + \{0,322 \cdot \{1 - [(1 - 0,99) / 0,99]^{-0,261}\} / -0,261\} = 3,710$$

Este valor também pode ser obtido na Tabela 5.3.5, considerando o tempo de retorno de 100 anos.

- c) Cálculo do fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas anuais.

Caso não se disponha de dados no local, é possível fazer a estimativa da média das vazões máximas anuais através da equação de regressão da região homogênea. Neste novo exemplo vamos agora estimar a vazão com a equação de regressão principal (5.4.1).

$$\overline{Q_{max}} = 0,14395 \times (A^{1,14457}) \times (AD20abs^{1,16105}) \quad (5.4.1)$$

Onde $\overline{Q_{max}}$ é a média das vazões máximas anuais [m³/s], A é a área de drenagem [km²] e AD20abs é o percentual da área de drenagem com declividade do relevo maior que 20% [Valor absoluto].

Neste segundo exemplo, temos:

$$A = 1005 \text{ Km}^2$$

$$AD20abs = 15,3\% = 0,153 \text{ (valor absoluto)}$$

AD20abs tem seu valor obtido do raster *Mundau_AD20* a partir da área de drenagem estudada utilizando a ferramenta *Extract by Mask* (ArcToolBox/ArcGIS). Sendo assim, a partir da tabela de atributos obtida teremos:

Declividade	Count	Porcentagem da área da área de drenagem (%)
0-20%	903323	84,7%
>20%	162918	15,3%
Total	1066241	100,0%

$$\overline{Q_{max}} = 0,14395 \times (1005^{1,14457}) \times (0,153^{1,16105})$$

A estimativa da média das vazões máximas anuais é de 44,4 m³/s.

d) Cálculo da vazão máxima associada a um tempo de retorno de 100 anos

A estimativa desta vazão é realizada através da equação (3.1.2)

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (3.1.2)$$

$(X/\mu)_T$ é igual a 3,710 e foi calculado no item b)

$\hat{\mu}_j$ é igual a 44,4 m³/s e foi calculado no item c)

$$X_T = 3,710 \cdot 44,4 = 165 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, a vazão máxima com tempo de recorrência de 100 anos no rio Canhoto no local da futura ponte é de 165 m³/s.

3º Exemplo

O sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Mundaú, SAH Mundaú, é composto por 8 estações fluviométricas. Porém, em 2022, a estação Correntes II, código 39689000, foi extinta. A equipe de operação do sistema definiu as cotas de alerta, atenção e inundação das 7 estações fluviométricas apresentadas na Tabela 6.1. Com as curvas chaves que constam no Anexo III foi possível estimar as vazões associadas a estas cotas. As vazões estão apresentadas na coluna Vazão (m³/s) da Tabela 6.1. Aplicando o método de regionalização desenvolvido neste estudo, estime quais são os tempos de retorno das vazões de atenção, alerta e inundação?

Inicialmente devem ser levantados os fatores de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas anuais das estações fluviométricas. Assim, a partir das séries de dados apresentados no Anexo III estimou-se as médias das vazões máximas diárias, as quais estão na coluna Qmédia (m³/s) da Tabela 6.1.

Após a definição das vazões médias de cada estação fluviométrica, deve ser estimado o quantil adimensional, ou seja, dividir a vazão de referência, coluna Vazão (m³/s), pela média, coluna Qmédia (m³/s). Na Tabela 6.1 os quantis adimensionais estão na coluna Adimensional.

Em seguida, aplicando a equação 5.3.1 calcula-se o fator y . Os valores calculados estão na coluna y da Tabela 6.1.

Os valores de y permitem que se aplique a equação 5.3.2 para estimar a probabilidade de não superação, ou seja, $F(x) = P(X < x)$, como apresentado na coluna $F(x)$ da Tabela 6.1.

Finalmente, o tempo de retorno é estimado pela seguinte relação:

$$T(\text{anos}) = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{1 - P(X < x)}$$

Os tempos de retorno estimados estão na coluna T (anos) da Tabela 6.1

Tabela 6.1 – Tempos de retorno das vazões de referência do sistema de Alerta do Mundaú

	Nome	Qmédia (m³/s)	Referência	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Adimen- sional	y	F(x)	T (anos)
1	39575000 Canhotinho (2023)	12,3	Atenção	250	11,1	0,90	0,1596	0,539823	2,2
			Alerta	300	19,7	1,60	1,8253	0,861196	7,2
			Inundação	-	-				
2	39700000 Santana do Mundaú (2023)	121*	Atenção	450	108	0,90	0,1393	0,534766	2,1
			Alerta	531	167	1,38	1,3761	0,798365	5
			Inundação	698	318	2,63	3,4226	0,968404	31,6
3	39715000 Palmeirina (2023)	11,4	Atenção	170	14,1	1,23	1,0343	0,737756	3,8
			Alerta	210	22,2	1,95	2,4393	0,919775	12,5
			Inundação	-	-				
4	39720000 São José da Laje (2023)	76,8	Atenção	320	61,7	0,80	-0,1466	0,463409	1,9
			Alerta	420	122	1,58	1,7862	0,856456	7
			Inundação	510	185	2,41	3,1326	0,958217	23,9
5	39740000 União dos Palmares (2023)	311	Atenção	350	156	0,50	-1,2694	0,219363	1,3
			Alerta	450	261	0,84	-0,0302	0,492462	2
			Inundação	580	398	1,28	1,1427	0,758174	4,1
6	39760000 Murici – Ponte (2023)	414	Atenção	370	233	0,56	-1,0123	0,266529	1,4
			Alerta	496	394	0,95	0,3089	0,576618	2,4
			Inundação	596	541	1,31	1,2104	0,770374	4,4
7	39770000 Fazenda Boa Fortuna (2023)	480	Atenção	650	249	0,52	-1,1910	0,233076	1,3
			Alerta	730	417	0,87	0,0584	0,51459	2,1
			Inundação	860	764	1,59	1,8016	0,858345	7,1

*Média calculada com o evento de 2010.

4º Exemplo

Na estação fluviométrica de Santana do Mundaú, código 39700000, em 18/06/2010, ocorreu um evento extremo de vazão, a qual foi estimada a partir do nivelamento da cota de cheia de 11,625m em 874m³/s. Aplicando o método desenvolvido neste estudo, estime qual é o tempo de retorno desta vazão?

Inicialmente deve ser estimado o fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas anuais da estação de Santana do Mundaú, código 39700000. Acrescentando a vazão de 874m³/s a série de máximos anuais observa-se que a média é igual a 121 m³/s.

Após a definição da vazão média no ponto de interesse, deve ser estimado o quantil adimensional, ou seja, dividir a vazão observada pela média. Neste caso temos, 874/121 = 7,2.

Em seguida, aplicando as equações 5.3.1 e 5.3.2 obtém-se a probabilidade de não superação, ou seja, $F(x) = P(X < x) = 0,999049$.

Finalmente, o tempo de retorno é estimado pela seguinte relação:

$$T(\text{anos}) = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{1 - P(X < x)} = \frac{1}{1 - 0,999049} = 1052 \text{ anos}$$

Ressalve-se que os resultados deste estudo estão indicados para trabalhar com tempo de retorno inferiores a 200 anos.

Todavia, aplicando o método proposto por Hosking e Wallis (1997) para estimar o “90% error bounds”, limites de erro de 90%, em tradução livre, para o quantil adimensional, 7,2, associado a 1052 anos na distribuição regional obtém-se: LI = 3,993778 e LS = 15,19095. Estes limites de quantis adimensionais correspondem aos tempos de retorno de 129 e 16.560 anos na distribuição regional adimensional.

Virões e Pinto (2020a) efetuaram a análise de frequência local para a série de dados máximos diários de Santana do Mundaú, código 39700000, e estimaram um tempo de retorno de 143 anos para o evento de 18/06/2023. Os autores ajustaram a distribuição Log-Normal de 2 parâmetros, os quais foram estimados pelo método dos momentos-L. Diferentemente deste estudo, optaram por não retirar da análise de frequência o evento de 874 m³/s, uma vez que não distorcia a análise de frequência local.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As maiores cheias de caráter regional presentes na base de dados trabalhada ocorreram em junho de 2010 e agosto de 2000. Devido a magnitude desses eventos algumas estações não registraram o pico dessas cheias pois foram literalmente arrastadas. Para ilustrar esta situação o capítulo 2 apresenta algumas fotos da catástrofe ocorrida na cheia de junho de 2010. Outros eventos de grandes cheias ocorreram na bacia do Mundaú em 1945 e 1969, mas não havia monitoramento na bacia. Os intervalos de tempo entre as ocorrências das grandes cheias de 1945, 1969 e 2010, são de 24 e 41 anos, respectivamente. Em termos empíricos, o intervalo médio de ocorrência de grandes cheias na bacia do rio Mundaú é de 32,5 anos. Porém se observa que a frequência de ocorrência de cheias de menor magnitude não é desprezível. Estes eventos de menor magnitude também produzem perdas de vidas e materiais nesta região hidrográfica. Justificando a manutenção de uma rede de alerta atuante na bacia como ocorre hoje em dia.

Em relação às vazões máximas anuais, a bacia do rio Mundaú pode ser considerada uma região homogênea. Cabe ressaltar que vazões máximas utilizadas neste estudo não se referem às vazões máximas instantâneas, ou seja, aos picos dos hidrogramas de cheia pois, os dados disponíveis são obtidos através de dupla leitura diária dos níveis dos rios e não por registro contínuo dos mesmos, o que permitiria a identificação das máximas. Segundo Tucci (2002), a diferença entre o máximo instantâneo e o máximo diário depende do tempo de concentração da bacia e do tempo de pico. Assim, em pequenas bacias as diferenças entre estas vazões podem ser significativas. Tucci (2002) apresenta algumas relações que permitem a estimativa da vazão instantânea. Para amenizar este problema sugere-se a instalação de aparelhos registradores de nível nas estações cuja a área de drenagem seja inferior a 500 Km². Atualmente todas as estações já se apresentam nestas condições.

A bacia do rio Mundaú forma uma região homogênea e tem como distribuição regional a Logística Generalizada (GLO). Como o parâmetro de forma é negativo, a distribuição não tem limite superior. Além disso, o valor do parâmetro de forma encontrado gera uma cauda superior pesada. Indicando que predomina nas séries de vazões máximas diárias por ano civil assimetrias positivas e elevadas. No próximo estudo regional recomenda-se avaliar o emprego de distribuições de dois componentes. Devido ao tamanho das séries utilizadas é recomendável que os quantis adimensionalizados sejam calculados para tempos de retorno inferiores a 200 anos.

O fator de adimensionalização utilizado na aplicação do método “index flood”, ou seja, a média das vazões máximas ou média das vazões de cheia, pode ser satisfatoriamente descrita através de regressão da área de drenagem e percentual da área de drenagem com declividade do relevo maior que 20% em toda a bacia, exceto na área mais central da bacia do Mundaú, onde se aplica a regressão através da área de drenagem e a precipitação média anual. Entretanto, é necessário salientar que as equações de regressão devem ser utilizadas com cuidado para áreas inferiores a 500 km², mesmo que a área esteja na faixa de validade da equação. Este cuidado se torna necessário uma vez que os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de dupla leitura diária e, para áreas inferiores a 500km², dificilmente os picos dos hidrogramas foram anotados, já que a resposta de pequenas bacias é mais rápida.

Assim as séries de máximos dessas estações podem ter valores inferiores aos picos de cheias ocorridos. As equações de regressão devem ser utilizadas quando o local de interesse não dispõe de uma série histórica com pelo menos 5 anos de dados. Caso exista mais de 5 anos de coleta de informações no local de interesse, o fator de adimensionalização deve ser calculado com os dados disponíveis.

Os tempos de retorno das vazões de alerta das sete estações fluviométricas do SAH Mundaú, variaram de 2,1 a 12,5 anos. Sendo que, no baixo Mundaú, nas três últimas estações, União dos Palmares, Murici-Ponte e Fazenda ao Fortuna, os tempos de retorno das vazões de alerta são inferiores a 2,4 anos.

No caso das vazões de inundação das estações do SAH Mundaú, os tempos de retorno variam de 4,1 a 31,6 anos. Novamente, no baixo Mundaú, nas três últimas estações, União dos Palmares, Murici-Ponte e Fazenda ao Fortuna, os tempos de retorno das vazões de inundação foram os menores e são inferiores a 7,1 anos.

Na estação de Santana do Mundaú, código 39700000, calculou-se o maior tempo de retorno para a vazão de inundação, 31,6 anos. Este resultado é similar ao que se observa na série histórica. Na série de vazões máximas diárias por ano civil, com extensão de 27 anos, a vazão de inundação de Santana do Mundaú, 318 m³/s, foi superada apenas uma vez na grande cheia de 2010 com vazão máxima estimada de 874 m³/s.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas - Rio Mundaú**. [S.]: APAC, 2021. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/199-bacia-do-rio-mundau>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso: 14 fev. 2021.

ANGELIM, L. A. A.; WANDERLEY, A. A. Folha SC.25-Recife. *In*: SCHOBENHAUS *et al.* (ed.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Recife: folha SC.25. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil. Disponível em: Acesso em: 12 ago. 2021.

BRANCO, P. M. B. **Os solos**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, ago. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Os-Solos-2620.html>. Julho, 2015. Acesso em: 19 set. 2021.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil**: sistema de informações geográficas. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. Escala 1:2.500.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10323>. Acesso em: 19 dez. 2023.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto de monitoramento de eventos hidrológicos extremos**: enchentes de Alagoas em junho 2010. Recife: CPRM, 2010. Tomo I: levantamento de Campo.

DALRYMPLE, T. **Flood-frequency analyses, Manual of Hydrology**: Part.3. Flood-flow Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1960. 80 p. (Techniques, Geological Survey Water Supply Paper 1543-A)

EMBRAPA. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/337549>. Acesso em: 19 dez. 2023.

EMBRAPA. **Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Alagoas**. [2021a]. Vector Data. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aasolos_al_gcs_sirgas2000_010421. Acesso em: 23 ago. 2021.

EMBRAPA. **Solos tropicais**: argissolos vermelho-amarelos. 2021b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/classificacao-do-perfil/atributos-diagnosticos/carater-alitico>. Acesso em: 24 set. 2021.

EMBRAPA. **Solos tropicais**: plintita. 2021c. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/classificacao-do-perfil/atributos-diagnosticos/plintita>. Acesso em: 25 set. 2021.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338818/1/sistemabrasileirodeclassificacaodossolos2006.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

EMBRAPA. **ZAPE - Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do estado de Pernambuco**. 2018. Vector Data. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolo_pernambuco_wgs84. Acesso em: 23 ago. 2021.

GEOCIÊNCIAS USP. Seção de materiais didáticos do IGc-USP. **Rochas Ígneas**. 2021a. Disponível em : <https://didatico.igc.usp.br/rochas/igneas/#rochas-gneas>. Acesso em: 29 out. 2021.

GEOCIÊNCIAS USP. Seção de materiais didáticos do IGc-USP. **Rochas Sedimentares**. 2021b. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/rochas/sedimentares/>. Acesso em: 29 out. 2021.

GEOCIÊNCIAS USP. Seção de materiais didáticos do IGc-USP. **Rochas Metamórficas**. 2021c. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/rochas/metamorficas/>. Acesso em: 29 out. 2021.

GOMES, H. A. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM; AD-DIPER, 2001. 198 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2422>. Acesso em: 19 dez. 2023.

GREENWOOD, J. A.; LANDWEHR, J. M.; MATALAS, N. C.; WALLIS, J. R. Probability weighted moments: definition and relation to parameters expressible in inverse form. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1049-1054, 1979.

HOSKING J. R. M. **The theory of probability weighted moments**. Yorktown Heights (NY): IBM Research, 1986. Research Report RC 12210.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L-moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

IBGE. **Clima 1:5.000.000**. 2002. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>. Acesso em: 03 set. 2021.

IBGE. **Vegetação**. 2021. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/. Acesso em: 8 nov. 2021.

IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil**: 2018/2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/. Acesso em: 23 ago.2021.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.182 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>. Acesso em: 4 nov. 2021.

IBGE. **Unidades de relevo 1:5.000.000**. 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/15827-unidades-de-relevo.html?=&t=downloads>. Acesso em: 30 nov. 2021.

HISTÓRIA de São José da Laje: princesa das fronteiras. [2019]. Disponível em: <https://xandmendes5.wixsite.com/laje/enchente-1969>. Acesso em: 18 nov. 2022.

KOSIN, M., ANGELIM, L. A. A., SOUZA, J. D., GUIMARÃES, J. T., TEIXEIRA, L. R., MARTINS, A. A. M., BENTO, R. V., SANTOS, R. A., VASCONCELOS, A. M., NEVES, J. P., WANDERLEY, A. A., CARVALHO, L. M., PEREIRA, L. H. M., GOMES, I. P. Folha Aracaju SC.24. *In*: SCHOBENHAUS *et al.* (ed.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Aracaju: folha SC.24. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/4985> . Acesso em: 12 ago. 2021.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V.; CARDOSO, M. R. D. Detalhamento hidromorfológico da Bacia do Rio Mundaú. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: ABRH, 2011.

MENDES, V. A. (org.) *et al.* **Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas**: escala 1:250.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. 113 p. Programa Geologia do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17649>. Acesso em: 19 dez. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Base cartográfica RASTER. WMS Service. 2021. Banco de dados. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/cgi-bin/mapserv?MAP=%2Fopt%2Fwww%2Fhtml%2Fwebservices%2Fbaseraster.map&>. Acesso em: 1 maio 2021.

NERC. **Flood Studies Report**. London: National Environmental Research Council, 1975. v. 1

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

OLIVEIRA, M. C. L.; MENEZES, F. R. G. S. de; PINTO, E. J. A. Uso do geoprocessamento para determinação do CN nas bacias representativas de Juatuba e do Texeirão em Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais** [...]. Maceió: ABRH, 2011.

PINHEIRO, M. M. G. **Estudo de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH**. 216 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 1997.

PINTO, E. J. A.; AZAMBUJA, A. M. S.; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. B.; PICKBRENNER, K. (coord.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique///Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 12 nov. 2021.

PIRES, C. L. F. Análise de Frequência: revisão metodológica. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, n. 3., p. 13-22, out. 1994.

SANTOS, Keyla Almeida dos. **Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude**: estudo de caso Bacia do Rio Mundaú. Recife, 2013. 107 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2013.

SÃO JOSÉ da Laje AL.: catástrofe natural, ano 1969. Publicado pelo canal Sérgio Martins – Recordações. 19 ago. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=q8h4PUcc-wc>. Acesso em: 18 nov. 2022.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; NETO, F. L. “Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação” RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 19-29, 2005a.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. "Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação" RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005b.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Brasília: ABRH, 2002. 256 p.

VIRÃES, Múcio Valença; PINTO, Eber José de Andrade. **Disponibilidade hídrica do Brasil**: estudos de regionalização nas bacias hidrográficas brasileiras. Análise de frequência de vazões de sistemas de alerta: sistema de alerta bacia do Rio Mundaú, Rio Mundaú, Estação Fluviométrica Santana do Mundaú, código 39700000. Recife: CPRM, 2020a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21989>. Acesso em: 25 out. 2023

VIRÃES, Múcio Valença; PINTO, Eber José de Andrade. **Disponibilidade hídrica do Brasil**: estudos de regionalização nas bacias hidrográficas brasileiras. Análise de frequência de sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Mundaú, Rio Canhoto, Estação Fluviométrica São José da Laje, código 39720000. Recife: CPRM, 2020b. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21990>. Acesso em: 25 out. 2023.

VIRÃES, Múcio Valença; PINTO, Eber José de Andrade. **Disponibilidade hídrica do Brasil**: estudos de regionalização nas bacias hidrográficas brasileiras. Análise de frequência de sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Mundaú, Rio Mundaú, Estação Fluviométrica Fazenda Boa Fortuna, código: 39770000. Recife: CPRM, 2020c. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21994>. Acesso em: 25 out. 2023.

ANEXO I
VARIÁVEIS EXPLICATIVAS e DEPENDENTE

Variáveis Físicas e Climáticas – Variáveis Explicativas e Dependente

Código	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Área (km ²)	765,8	478,3	763,9	134,8	1168,8	2913,2	3293,4	3565,0
Perímetro (km)	163,0	117,7	168,0	67,4	263,7	315,4	355,6	408,6
Curso Principal (km)	73,9	52,7	70,9	22,1	112,2	145,3	179,4	209,9
Comprimento HD Total por Área (km)	362,2	298,0	546,6	55,2	596,5	1836,6	2065,0	2229,4
Índice de Compacidade	1,65	1,51	1,70	1,62	2,16	1,64	1,73	1,92
Densidade de Drenagem (km/km ²)	0,47	0,62	0,72	0,41	0,51	0,63	0,63	0,63
PMA (mm)	633,1	693,1	816,0	695,1	764,1	877,3	929,7	972,2
AMJ Pmed máx (mm)	256,0	352,1	400,8	340,5	315,4	389,4	407,0	424,0
MJJ Pmed máx (mm)	272,9	399,4	455,1	383,4	344,1	435,1	457,0	477,8
JJA Pmed máx (mm)	252,7	384,5	439,5	366,1	324,4	416,1	436,1	454,2
Relevo Plano [0-3%] (% área)	10,6	7,3	5,8	4,2	7,9	6,0	6,2	6,8
Relevo Suave Ondulado [3-8%] (% área)	39,9	28,7	23,3	16,6	30,5	22,6	22,3	22,5
Relevo Ondulado [8-20%] (% área)	42,8	48,6	44,4	45,1	42,0	40,0	39,0	38,4
Declividade > 8% (% Área)	49,5	64,0	70,9	79,2	61,6	71,3	71,5	70,7
Declividade > 20% (% Área)	6,6	15,4	26,5	34,1	19,6	31,3	32,5	32,3
Declividade Média do Perfil (m/km)	3,5	8,7	8,9	10,9	5,3	4,6	3,6	2,9
Cota Mín (m)	511	384	218	532	265	143	82	48
Cota Máx (m)	895	795	795	779	895	895	895	895

Variáveis Físicas e Climáticas – Variáveis explicativas (Continuação)

Código	39575000	39689000	39700000	39715000	39720000	39740000	39760000	39770000
Tc - Kirpich (horas)	16,1	8,7	10,9	4,1	18,9	24,3	31,5	38,6
Tc - Ven te Chow (horas)	15,3	9,2	11,1	4,9	17,6	21,7	26,8	31,8
Tc - Corps Engineers (horas)	14,7	9,6	11,9	4,7	18,7	23,4	28,7	33,7
CN 1	49	57	55	54	48	52	53	53
CN 2	69	74	73	73	68	70	71	71
CN 3	83	86	85	85	82	83	84	84
S1 (mm)	293,6	247,1	272,0	263,6	324,2	304,9	289,2	285,6
S2 (mm)	123,6	103,2	113,4	110,4	135,7	127,3	120,8	119,4
S3 (mm)	53,3	45,3	49,7	48,1	58,9	55,6	52,8	52,1
Vazão Máxima Média (m ³ /s)	12,3	18,5	91,6	11,4	76,8	311,2	414,2	480,0

ANEXO II
Momentos-L - Conceitos Básicos.

1. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES

Seja X uma variável aleatória contínua, cuja função de distribuição de probabilidades acumuladas é dada por

$$F_x(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

A função densidade de probabilidades, denotada por $f_x(x)$, é definida como a derivada primeira de $F_x(x)$ em relação a X , enquanto $x(p)$ representa a função dos quantis x tal que a probabilidade da variável não exceder o valor $x(p)$ é igual a p .

O valor esperado ou esperança matemática da variável aleatória X , denotado por $E(X)$, é um operador definido por

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx \quad (2)$$

Considerando a transformação $p=F(x)$, pode-se reescrever a equação (2) da seguinte forma

$$E(X) = \int_0^1 x(p) dp \quad (3)$$

Da mesma forma, a função de variável aleatória $g(X)$ é também uma variável aleatória e sua esperança matemática é dada por

$$E[g(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) f_x(x) dx = \int_0^1 g[x(p)] dp \quad (4)$$

A variância de X , simbolizada por $\text{var}(X)$, representa uma medida da dispersão dos valores de X em torno do valor central $E(X)$ e é definida pela seguinte expressão:

$$\text{var}(X) = E\{[X - E(X)]^2\} = E(X^2) - [E(X)]^2 \quad (5)$$

2. ESTIMADORES

A distribuição da variável aleatória X é completamente conhecida se também o for o conjunto de parâmetros $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$, associado à definição das funções $f_x(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ ou $x(p; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$. A maioria das funções de distribuição de probabilidades requer a definição dos parâmetros de posição e de escala. O parâmetro de posição ξ de uma distribuição é o número real que satisfaz

$$x(p; \xi, \theta_2, \dots, \theta_k) = \xi + x(p; \theta, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (6)$$

O parâmetro de escala α de uma distribuição, cujo parâmetro de posição é ξ , é dito de escala se

$$x(p; \xi, \alpha, \theta_3, \dots, \theta_k) = \xi + \alpha x(p; 0, 1, \theta_3, \dots, \theta_k) \quad (7)$$

Os parâmetros de uma distribuição devem ser estimados a partir de uma amostra de dados observados. O estimador de um certo parâmetro θ é representado por $\hat{\theta}$, o qual é uma função dos dados amostrais e, portanto, uma variável aleatória. A qualidade do estimador depende de quanto $\hat{\theta}$ desvia-se do verdadeiro valor de θ . Esse desvio pode ser decomposto em um viés e uma variabilidade. O viés representa o desvio sistemático para maior ou para menor, ou seja

$$\text{viés}(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - \theta) \quad (8)$$

A variabilidade diz respeito aos desvios aleatórios em relação ao valor populacional de θ . Essa variabilidade pode ser quantificada pela variância do estimador, simbolizada por $\text{var}(\hat{\theta})$. Outra medida que combina o viés e a variabilidade do estimador é dada pela raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) definido por

$$\text{REQM}(\hat{\theta}) = \sqrt{E(\hat{\theta} - \theta)^2} = \sqrt{[\text{viés}(\hat{\theta})]^2 + \text{var}(\hat{\theta})} \quad (9)$$

Para estimativas com base em amostras de tamanho n , o viés e a variância de $\hat{\theta}$ são assintoticamente proporcionais ao inverso de n . Consequentemente, REQM é inversamente proporcional a \sqrt{n} . Como essas quantidades possuem as unidades do parâmetro a ser estimado, Hosking e Wallis (1997) sugerem as razões $\text{var}(\hat{\theta})/\theta$ e $\text{REQM}(\hat{\theta})/\theta$, respectivamente o viés e REQM relativos, como medidas mais convenientes e representativas.

3. MOMENTOS

As características das distribuições de probabilidades podem ser sumarizadas pelos momentos populacionais. O momento de ordem 1, em relação a origem dos X , representa a média populacional, ou seja

$$\mu = E(X) \quad (10)$$

Em decorrência da equação (3), os momentos centrais de ordem superior podem ser calculados como valores esperados das r -ésimas potências dos desvios da variável em relação ao centro da distribuição μ . em termos formais,

$$\mu_r = E(X - \mu)^r; r = 2, 3, \dots \quad (11)$$

Alguns momentos centrais de particular interesse são os de ordem 2, 3, e 4. O momento central de ordem 2 é definição a variância de X , geralmente simbolizada por $\text{var}(X)$ ou σ^2 . Quantidades

deduzíveis do momento central de ordem 2 são o desvio padrão σ e o coeficiente de variação C_v , formalmente definidos a seguir

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{\sigma^2} \quad (12)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (13)$$

Para $r > 2$, é usual descreverem-se as características da função de distribuição através das razões adimensionais $\mu_r / \mu_2^{r/2}$, das quais se destacam o coeficiente de assimetria

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \quad (14)$$

e a curtose

$$k = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \quad (15)$$

Os momentos populacionais podem ser estimados por quantidades similares, calculadas a partir dos dados de uma amostra de tamanho n . O estimador natural de μ é a média aritmética ou momento amostral de 1ª ordem.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (16)$$

enquanto os momentos amostrais de ordem superior

$$m_r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r}{n} \quad (17)$$

são estimadores enviesados dos momentos populacionais de mesma ordem. Entretanto, os momentos amostrais m_r , podem ser corrigidos para produzirem estimadores sem viés. Por exemplo, as seguintes quantidades são respectivamente os estimadores sem viés da variância e dos coeficientes de variação, assimetria e curtose:

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{n}{n-1} m_2 \quad (18)$$

$$\hat{C}_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (19)$$

$$\hat{\gamma} = g = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} \frac{m_3}{s^3} \quad (20)$$

$$\hat{k} = k = \frac{n^2}{s^4(n-2)(n-3)} \left[\left(\frac{n+1}{n-1} \right) m_4 - 3m_2^2 \right] + 3 \quad (21)$$

4. MOMENTOS-L

Além de dependentes de n , as estimativas com base em momentos amostrais convencionais envolvem potências sucessivas dos desvios dos dados em relação ao valor central. Em consequência, pequenas amostras tendem a produzir estimativas não confiáveis, particularmente para as funções de momentos de ordem superior como a assimetria e a curtose. Os momentos-L, a serem abordados a seguir, compõem um sistema de medidas estatísticas mais confiáveis para a descrição das características das distribuições de probabilidades.

Os momentos-L são derivados dos “momentos ponderados por probabilidades”, ou simplesmente MPP’s, os quais foram introduzidos na literatura científica por *Grrenwood et al.* (1979). Os MPP’s de uma variável aleatória X , variável essa descrita pela função de probabilidades acumuladas $F_x(x)$, são as quantidades definidas por

$$M_{p,r,s} = E\{X^p [F_x(x)]^r [1 - F_x(x)]^s\} \quad (22)$$

Os MPP’s $\alpha_r = M_{1,0,r}$ e $\beta_r = M_{1,r,0}$ representam casos especiais de relevância particular para a inferência estatística. Com efeito, considerando-se uma distribuição cuja função de quantis seja dada por $x(p)$, pode-se combinar as equações (4) e (22) para expressar α_r e β_r da seguinte forma:

$$\alpha_r = \int_0^1 x(p) (1-p)^r dp \quad , \quad \beta_r = \int_0^1 x(p) p^r dp \quad (23)$$

1.1.1 Constatando as equações acima com a definição de momentos convencionais, ou seja

$E(X) = \int_0^1 [x(p)]^r dp$, observa-se que esses implicam em potências sucessivamente crescentes da função de quantis $x(p)$, enquanto que α_r e β_r implicam em potências sucessivamente crescentes de p ou $(1-p)$, dessa forma, os MPP’s α_r e β_r podem ser vistos como integrais de $x(p)$, ponderadas pelos polinômios p^r ou $(1-p)^r$.

Diversos autores, como *Landweher et al.* (1979) e *Hosking e Wallis* (1987), utilizaram os MPP’s α_r e β_r como base para a estimação de parâmetros de distribuições de probabilidades. *Hosking e Wallis* (1997) ponderam, entretanto, que α_r e β_r são de interpretação difícil, em termos das medidas de escala e forma de uma distribuição de probabilidades, e sugerem, para esse efeito, certas combinações lineares de α_r e β_r . Ainda segundo *Hosking e Wallis* (1997), essas combinações advém da ponderação das integrais de $x(p)$ por um conjunto de polinômios ortogonais, denotados por $P_r^*(p)$, $r = 0,1,2,\dots$, definidos pelas seguintes condições:

- (i) $P_r^*(p)$ é um polinômio de grau r em p .

$$(ii) \quad P_r^*(1) = 1$$

$$(iii) \quad \int_0^1 p_r^*(p) P_s^*(p) dp = 0, \text{ para } r \neq s \text{ (condição de ortogonalidade)}$$

1.1.2 Essas condições definem os polinômios de Legendre, devidamente modificados para a condição de ortogonalidade no intervalo $0 \leq p \leq 1$ e não $-1 \leq p \leq 1$, como em sua formulação original. Formalmente, esses polinômios são dados por

$$P_r^*(p) = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* p^k \quad (24)$$

$$\text{onde } l_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} = \frac{(-1)^{r-k} (r+k)!}{(k!)^2 (r-k)!}$$

1.1.3 De posse das definições acima, os momentos-L de uma variável aleatória X podem ser agora conceituados como sendo as quantidades

$$\lambda_r = \int_0^1 x(p) P_{r-1}^*(p) dp \quad (25)$$

1.1.4 Em termos dos MPP's, os momentos-L são dados por

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* \beta_k \quad (26)$$

Os primeiros quatro momentos-L são, portanto,

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0 \text{ (média ou momento-L de posição)} \quad (27)$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0 \text{ (momento-L de escala)} \quad (28)$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (29)$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (30)$$

Em termos de medidas de forma das distribuições, torna-se mais conveniente que os momentos-L sejam expressos em quantidades adimensionais. Essas são representadas pelos quocientes de momentos-L, dados por

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, \quad r = 3, 4, \dots \quad (31)$$

Dessa forma, τ_3 e τ_4 são, respectivamente, as medidas de assimetria e curtose, independentes da escala da distribuição de probabilidades. Pode-se definir, também em termos de momentos-L, uma medida análoga ao coeficiente de variação, qual seja

$$L - CV = \tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (32)$$

5. MOMENTOS-L E ESTATÍSTICAS DE ORDEM

Os momentos-L podem ser expressos como combinações lineares das estatísticas de ordem de uma amostra. Para esse efeito, considere uma amostra de tamanho n , disposta em ordem crescente $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$, de forma que a k -ésima menor observação, ou estatística de ordem k , seja denotada por $X_{k:n}$. Consistentemente com a equação (25), os momentos-L da distribuição de probabilidades da qual a amostra foi retirada são dados por

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \mathbf{E}(X_{r-j:r}) \quad (33)$$

onde a esperança matemática $\mathbf{E}(\cdot)$ de uma estatística de ordem r é o operador definido por

$$\mathbf{E}(X_{r:n}) = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} \int_0^1 x(p) p^{r-1} (1-p)^{n-r} dp \quad (34)$$

Dessa forma, os quatro primeiros momentos-L podem ter as seguintes expressões:

$$\lambda_1 = \mathbf{E}(X_{1:1}) \quad (35)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \mathbf{E}(X_{2:2} - X_{1:2}) \quad (36)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} \mathbf{E}(X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}) \quad (37)$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{4} \mathbf{E}(X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}) \quad (38)$$

6. PROPRIEDADES DOS MOMENTOS-L

Hosking (1989, 1990) apresenta as provas matemáticas para as seguintes propriedades dos momentos-L:

- Existência: se a média de uma distribuição existe, então todos os momentos-L existem.
- Singularidade: se a média de uma distribuição existe, então os momentos-L a definem singularmente.
- Valores Limites:

$$-\infty \leq \lambda_1 \leq \infty.$$

$$\lambda_2 \geq 0.$$

se a distribuição é definida somente para $X \geq 0 \Rightarrow 0 \leq \tau \leq 1$.

$|\tau_r| < 1$ para $r \geq 3$.

$$\frac{1}{4} \left(5\tau \frac{2}{3} - 1 \right) \leq \tau_4 \leq 1.$$

se a distribuição é definida somente para $X \geq 0 \Rightarrow 2\tau - 1 \leq \tau_3 \leq 1$.

- Transformações Lineares:

Se X e $Y = aX + b$ são duas variáveis aleatórias de momentos-L λ_r e λ_r^* , respectivamente, então são válidas as seguintes relações:

$$\lambda_1^* = a\lambda_1 + b;$$

$$\lambda_2^* = |a/\lambda_2|; e$$

$$\tau_r^* = (\langle \text{sinal de } a \rangle 1)^r \tau_r, r \geq 3.$$

- Simetria: se X é uma variável aleatória, descrita por uma distribuição de probabilidades simétrica, então todos os quocientes de momentos-L de ordem ímpar ($\tau_r, r = 3,5,\dots$) serão nulos.

7. MOMENTOS

As propriedades, os momentos-L, os quocientes de momentos-L e os parâmetros de diversas distribuições de probabilidades foram objeto de extenso estudo por *Hosking e Wallis* (1986). Essas características encontram-se transcritas a seguir, para algumas das principais distribuições usadas em hidrologia.

Uma dessas distribuições é a Pearson tipo III, a qual pode ser completamente descrita pelos parâmetros μ , de posição, σ , de escala, e γ , de forma. Se $\gamma \neq 0$, essa distribuição pode ser reparametrizada em termos de $\alpha = 4/\gamma^2$, $\beta = \sigma |\gamma|/2$ e $\xi = \mu - 2\sigma/\gamma$. Se $\gamma > 0$, o domínio da variável aleatória é $\xi \leq x < \infty$ e as respectivas funções densidade e acumulada são dadas por

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x - \xi}{\beta}\right)}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (39)$$

$$F(x) = \frac{G[\alpha, (x - \xi)/\beta]}{\Gamma(\alpha)} \quad (40)$$

onde $\Gamma(\cdot)$ representa a função gama, definida por $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$, e $G(\cdot)$ a função gama

incompleta, dada por $G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$. Se $\gamma < 0$, o domínio da variável aleatória passa a ser

$-\infty \leq x \leq \xi$ e

$$f(x) = \frac{(\xi - x)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\xi - x}{\beta}\right)}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (41)$$

$$F(x) = 1 - \frac{G[\alpha, (\xi - x)/\beta]}{\Gamma(\alpha)} \quad (42)$$

A distribuição Normal, no domínio $-\infty < x < \infty$, representa um caso particular da Pearson III, quando $\gamma=0$.

Os momentos-L e seus quocientes são dados pelas seguintes expressões:

$$\lambda_1 = \xi + \alpha\beta \quad (43)$$

$$\lambda_2 = \beta\Gamma(\alpha + 1/2)/\sqrt{\pi}\Gamma(\alpha) \quad (44)$$

$$\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3 \quad (45)$$

onde $I_x(p, q)$ representa a razão da função beta incompleta, definida por

$$I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt. \text{ Não há expressão simples para } \tau_4; \text{ o leitor interessado em}$$

expressões aproximadas para τ_4 deve consultar *Hosking e Wallis* (1997, p. 201). Dado α , os parâmetros da distribuição Pearson tipo III são dados por $\gamma = \langle \text{ sinal de } \tau_3 \rangle 2/\sqrt{\alpha}$, $\sigma = \lambda_2 \sqrt{\pi\alpha}\Gamma(\alpha)/\Gamma(\alpha + 1/2)$ e $\mu = \lambda_1$.

As Tabelas I-1 e I-2 resumizam as propriedades, os momentos-L, os quocientes de momentos-L e os parâmetros de outras distribuições de probabilidades de 2 e 3 parâmetros, respectivamente.

Tabela II-1 - Momentos-L, para algumas distribuições de 2 parâmetros
 [Fonte: Hosking e Wallis (1997)].

Distribuição:	Uniforme	Exponencial	Gumbel	Normal
$f(x)$	$\frac{1}{\beta - \alpha}$	$\frac{\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)}{\alpha}$	$\frac{\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]}{\alpha}$	$\frac{\phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{\sigma}$, onde $\phi(x) = \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)}{\sqrt{2\pi}}$
$F(x)$	$\frac{x-\alpha}{\beta-\alpha}$	$1 - \exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)$	$\exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\xi}{\alpha}\right)\right]$	$\Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$, onde $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$
$x(F)$	$\alpha + (\beta - \alpha)F$	$\xi - \alpha \ln(1 - F)$	$\xi - \alpha \ln(-\ln F)$	não tem forma analítica explícita
λ_1	$\frac{\alpha + \beta}{2}$	$\xi + \alpha$	$\xi + \alpha \gamma$, onde $\gamma = 0,5772\dots$ (c ^{te} de Euler)	μ
λ_2	$\frac{\beta - \alpha}{6}$	$\frac{\alpha}{2}$	$\alpha \ln(2)$	$0,5642\sigma$
τ_3	0	$\frac{1}{3}$	0,1699	0
τ_4	0	$\frac{1}{6}$	0.1504	0,1226
Parâmetro de Posição	-	$\xi = \lambda_1 - \alpha$	$\xi = \lambda_1 - \gamma\alpha$	$\mu = \lambda_1$
Parâmetro de Escala	-	$\alpha = 2\lambda_2$	$\alpha = \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$	$\sigma = \sqrt{\pi} \lambda_2$

Tabela II-2 - Momentos-L para algumas distribuições de probabilidades de 3 parâmetros [Fonte: Hosking e Wallis (1997)].

Distribuição:	Generalizada de Pareto	Generalizada de Valores Extremos	Logística Generalizada	Log-Normal
$f(x)$	$\frac{\exp[-(1-k)y]}{\alpha}$, onde $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]}{k}$, $k \neq 0$ $y = \frac{x-\xi}{\alpha}$, $k = 0$	$\frac{\exp[-(1-k)y - \exp(-y)]}{\alpha}$, onde $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]}{k}$, $k \neq 0$ $y = \frac{x-\xi}{\alpha}$, $k = 0$	$\frac{\exp[-(1-k)y]}{\alpha[1 + \exp(-y)]^2}$, onde $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]}{k}$, $k \neq 0$ $y = \frac{x-\xi}{\alpha}$, $k = 0$	$\frac{\exp(ky - y^2/2)}{\alpha\sqrt{2\pi}}$, onde $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]}{k}$, $k \neq 0$ $y = \frac{(x-\xi)}{\alpha}$ $k = 0$
$F(x)$	$1 - \exp(-y)$	$\exp[-\exp(-y)]$	$\frac{1}{1 + \exp(-y)}$	$\Phi(y)$ (ver tabela I-1)
$x(F)$	$\xi + \frac{\alpha[1 - (1-F)^k]}{k}$, $k \neq 0$ $\xi - \alpha \ln(1-F)$, $k = 0$	$\xi + \frac{\alpha[1 - (-\ln F)^k]}{k}$, $k \neq 0$ $\xi - \alpha \ln(-\ln F)$, $k = 0$	$\xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1-F}{F}\right)^k\right]$, $k \neq 0$ $\xi - \alpha \ln[(1-F)/F]$, $k = 0$	não tem forma analítica explícita
λ_1	$\xi + \frac{\alpha}{1+k}$	$\xi + \frac{\alpha[1 - \Gamma(1+k)]}{k}$	$\xi + \alpha \left[\frac{1}{k} - \frac{\pi}{\text{sen}(k\pi)}\right]$	$\xi + \alpha \frac{1 - \exp(k^2/2)}{k}$
λ_2	$\frac{\alpha}{(1+k)(2+k)}$	$\frac{\alpha(1-2^{-k})\Gamma(1+k)}{k}$	$\frac{\alpha k \pi}{\text{sen}(k\pi)}$	$\frac{\alpha e^{k^2}}{k} \left[1 - 2\Phi\left(-\frac{k}{\sqrt{2}}\right)\right]$
τ_3	$\frac{1-k}{3+k}$	$\frac{2(1-3^{-k})}{1-2^{-k}} - 3$	-k	$-k \frac{A_0 + A_1 k^2 + A_2 k^4 + A_3 k^6}{1 + B_1 k^2 + B_2 k^4 + B_3 k^6}$
τ_4	$\frac{(1-k)(2-k)}{(3+k)(4+k)}$	$\frac{5(1-4^{-k}) - 10(1-3^{-k}) + 6(1-2^{-k})}{1-2^{-k}} - 3$	$\frac{1+5k^2}{6}$	$\tau_4^0 + k^2 \frac{C_0 + C_1 k^2 + C_2 k^4 + C_3 k^6}{1 + D_1 k^2 + D_2 k^4 + D_3 k^6}$
Parâmetro de Posição	$\xi = \lambda_1 - (2+k)\lambda_2$	$\xi = \lambda_1 - \frac{\alpha[1 - \Gamma(1+k)]}{k}$	$\xi = \lambda_1 - \alpha \left[\frac{1}{k} - \frac{\pi}{\text{sen}(k\pi)}\right]$	$\xi = \lambda_1 - \frac{\alpha}{k} \left(1 - e^{k^2/2}\right)$
Parâmetro de Escala	$\alpha = (1+k)(2+k)\lambda_2$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1-2^{-k})\Gamma(1+k)}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 \text{sen}(k\pi)}{k\pi}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k \exp(-k^2/2)}{1 - 2\Phi(-k^2/\sqrt{2})}$
Parâmetro de Forma	$k = \frac{1-3\tau_3}{1+\tau_3}$	$k \approx 7,8590c + 2,9554c^2$	$k = \tau_3$	$k = -\tau_3 \frac{E_0 + E_1 \tau_3^2 + E_2 \tau_3^4 + E_3 \tau_3^6}{1 + F_1 \tau_3^2 + F_2 \tau_3^4 + F_3 \tau_3^6}$
Observações	-	$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$, $c = \frac{2}{3+\tau_3} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$	-	Ver Tabela II-3

Tabela II-3 - Coeficientes para o cálculo dos momentos-L da distribuição Log-Normal [Fonte: Hosking e Wallis (1997)].

$i \rightarrow$	0	1	2	3
Coeficiente ↓				
τ_4^i	$1,2260172 \cdot 10^{-1}$	-	-	-
A_i	$4,8860251 \cdot 10^{-1}$	$4,4493076 \cdot 10^{-3}$	$8,8027039 \cdot 10^{-4}$	$1,1507084 \cdot 10^{-6}$
B_i	$6,4662924 \cdot 10^{-2}$	$3,3090406 \cdot 10^{-3}$	$7,4290680 \cdot 10^{-5}$	-
C_i	$1,8756590 \cdot 10^{-1}$	$-2,5352147 \cdot 10^{-3}$	$2,6995102 \cdot 10^{-4}$	$-1,8446680 \cdot 10^{-6}$
D_i	-	$8,2325617 \cdot 10^{-2}$	$4,2681448 \cdot 10^{-3}$	$1,1653690 \cdot 10^{-4}$
E_i	2,0466543	-3,6544371	1,8396733	-0,20360244
F_i	-2,0182173	1,2420401	-0,21741801	-

Um modo conveniente de representação dos momentos-L das diversas distribuições de probabilidades é o diagrama de quocientes de momentos-L, exemplificado pela Figura I-1, onde são lançadas a assimetria-L em ordenadas e a curtose-L em abcissas. Nesse diagrama, uma distribuição de 2 parâmetros (posição e escala) será grafada como um ponto, em decorrência da propriedade das transformações lineares dos momentos-L (ver item 6). Quanto às distribuições de 3 parâmetros (posição, escala e forma), essas serão grafadas como curvas, cujos pontos irão corresponder aos diferentes valores do parâmetro de forma.

8. MOMENTOS-L AMOSTRAIS

A estimação dos MPP's e momentos-L, a partir de uma amostra finita de tamanho n , inicia-se com a ordenação de seus elementos constituintes em ordem crescente, ou seja $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$. Um estimador não-enviesado do MPP β_r pode ser escrito como

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{j:n} \quad (46)$$

Dessa forma, os estimadores de β_r , $r \leq 2$, são dados por

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n} \quad (47)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{j:n} \quad (48)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j:n} \quad (49)$$

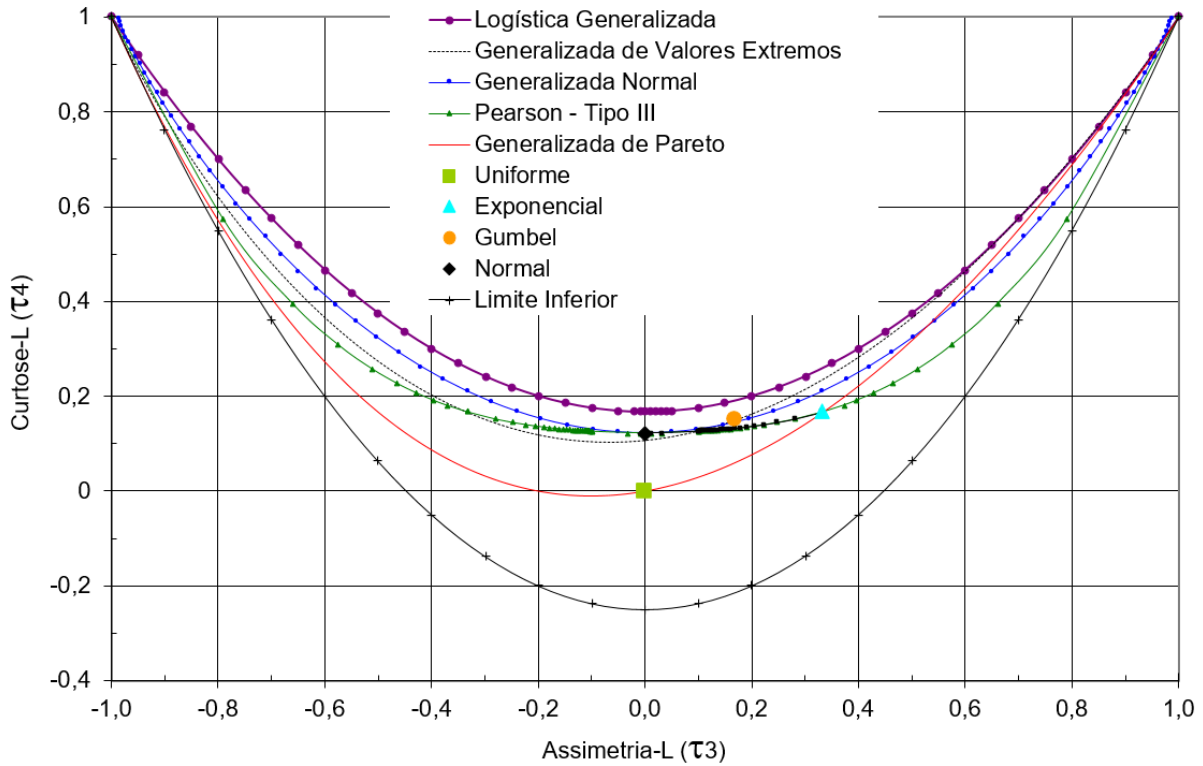


Figura II-1: Diagrama de Momentos-L para Algumas Distribuições de Probabilidades.
(L : Logística; LG : Logística Generalizada; G : Gumbel; GEV : Generalizada de Valores Extremos; N : Normal; LN3 : Log-Normal 3 Parâmetros; P3 : Pearson Tipo III; E : Exponencial; GP : Generalizada de Pareto; U : Uniforme).

Analogamente às equações (27) a (30), os estimadores não-enviesados de λ , são os momentos-L amostrais, esses definidos pelas seguintes expressões:

$$\ell_1 = b_0 \tag{50}$$

$$\ell_2 = 2b_1 - b_0 \tag{51}$$

$$\ell_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \tag{52}$$

$$\ell_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \tag{53}$$

$$\ell_{r+1} = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* b_k; \quad r = 0, 1, \dots, n-1 \tag{54}$$

Na equação (54), os coeficientes $l_{r,k}^*$ são definidos tal como na equação (24). Da mesma forma, os quocientes de momentos-L amostrais são dados por

$$t_r = \frac{\ell_r}{\ell_r}; \quad r \leq 3 \tag{55}$$

enquanto o L -CV amostral calcula-se através de

$$t = \frac{\ell_2}{\ell_1} \quad (56)$$

Os estimadores de τ_r , fornecidos pelas equações (55) e (56), são muito pouco enviesados quando calculados para amostras de tamanho moderado a grande. *Hosking* (1990, p. 116) utilizou a teoria assintótica para calcular o viés para amostras grandes; para a distribuição Gumbel, por exemplo, o viés assintótico de t_3 é $0,19n^{-1}$, enquanto o de t_4 , para a distribuição Normal, é $0,03n^{-1}$, onde n representa o tamanho da amostra. Para amostras de pequeno tamanho, o viés pode ser avaliado por simulação. Segundo *Hosking e Wallis* (1997, p. 28) e para uma gama de distribuição, o viés de t pode ser considerado desprezível para $n \geq 20$. Ainda segundo esses autores, mesmo em se tratando de amostras de tamanho em torno de 20, o viés de t_3 e o viés de t_4 são considerados relativamente pequenos e definitivamente menores do que os produzidos por estimadores convencionais de assimetria e curtose.

9. ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS ATRAVÉS DE MOMENTOS-L

Um problema clássico da inferência estatística refere-se à estimação, a partir de uma amostra de tamanho n , dos $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ parâmetros que especificam uma determinada distribuição de probabilidades. Equivalentemente ao chamado método dos momentos, o método dos momentos-L consiste em se obter as estimativas dos parâmetros igualando-se os primeiros p momentos-L amostrais aos seus correspondentes populacionais; esse procedimento irá resultar em um sistema de p equações e p incógnitas, cujas soluções pressupõem que os parâmetros sejam expressões de momentos-L. Essas expressões encontram-se sumarizadas nas Tabelas I-1 e I-2 para algumas distribuições de 2 e 3 parâmetros, respectivamente.

Hosking e Wallis (1997) mostram que os estimadores de parâmetros e quantis, obtidos por momentos-L para as distribuições mais comumente utilizadas, são assintoticamente distribuídos como uma distribuição Normal, a partir da qual podem ser calculados erros padrões das estimativas e intervalos de confiança. Além disso, mostram que, para amostras de tamanho pequeno a moderado, o método dos momentos-L é geralmente mais eficiente do que o da máxima verossimilhança.

ANEXO III

Série de Dados Utilizados – Cotas e Vazões máximas por ano hidrológico

Curva-Chave

Estatísticas da série

Vídeos na INTERNET sobre alguns grandes eventos de cheia no rio Mundaú

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Canhotinho - 39575000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazões (m ³ /s)	Observações
1	2014	2014	05/10/2014	7:00	252	11,41	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
2	2015	2015	29/07/2015	7:00	202	4,61	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
3	2016	2016	03/03/2016	17:00	171	1,59	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
4	2017	2017	28/05/2017	7:00	399	41,26	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
5	2018	2018	01/05/2018	7:00	182	2,54	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
6	2019	2019	17/08/2019	17:00	257	12,20	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
7	2014	2014	05/10/2014	7:00	252	11,41	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
8	2015	2015	29/07/2015	7:00	202	4,61	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

ANEXO III

Curva-Chave em Canhotinho - 39575000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/07/2014 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	100
		400
	a	9,591601436
	h_0 (m)	1,4
	n	1,533

ANEXO III

Estatísticas da série em Canhotinho - 39575000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m ³ /s	Desvio- Padrão m ³ /s	Máximo m ³ /s	Mínimo m ³ /s	Amplitude m ³ /s	Assimetria	Mediana m ³ /s	1º Quartil m ³ /s	3º Quartil m ³ /s	AIQ m ³ /s
12,3	14,90	41,30	1,60	39,70	2,00	8,01	3,06	12,00	8,95

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
1,92999	1,19095	3,71989	0,46373	3,25616	0,32656	1,98136	1,08118	2,48470	1,40352

Devido ao pequeno tamanho da série não foi possível realizar a análise de frequência local.

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Correntes II - 39689000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazões (m ³ /s)	Observações
1	2014	2014	08/10/2014	7:00	210	21,64	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
2	2015	2015	01/08/2015	17:00	150	9,80	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
3	2016	2016	04/03/2016	7:00	54	0,88	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
4	2017	2017	01/07/2017	7:00	280	42,61	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
5	2019	2019	08/08/2019	17:00	192	17,52	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

ANEXO III

Curva-Chave em Correntes II - 39689000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	30/04/2012 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	0
		400
	a	3,770715878
	h_0 (m)	0
	n	2,355

ANEXO III

Estatísticas da série em Correntes II - 39689000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m ³ /s	Desvio- Padrão m ³ /s	Máximo m ³ /s	Mínimo m ³ /s	Amplitude m ³ /s	Assimetria	Mediana m ³ /s	1º Quartil m ³ /s	3º Quartil m ³ /s	AIQ m ³ /s
18,50	15,60	42,60	0,90	41,70	0,90	17,52	9,80	21,64	11,84

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
2,36890	1,49137	3,75209	-0,12783	3,87992	-1,56337	2,86334	2,28238	3,07454	0,79216

Devido ao pequeno tamanho da série não foi possível realizar a análise de frequência local.

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Santana do Mundaú - 39700000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazões (m ³ /s)	Observações
1	1993	1993	02/11/1993	7:00	346	22,46	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
2	1994	1994	20/06/1994	17:00	618	191,92	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
3	1995	1995	02/07/1995	17:00	420	58,15	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
4	1996	1996	14/06/1996	17:00	520	117,69	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
5	1997	1997	08/05/1997	7:00	492	112,51	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
6	1998	1998	26/07/1998	17:00	342	33,76	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
7	1999	1999	13/10/1999	7:00	314	23,54	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
8	2000	2000	17/09/2000	17:00	574	202,59	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
9	2001	2001	27/06/2001	17:00	420	89,13	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
10	2002	2002	20/06/2002	7:00	466	119,23	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
11	2003	2003	05/09/2003	7:00	394	73,67	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
12	2004	2004	22/01/2004	7:00	462	116,48	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
13	2005	2005	02/06/2005	17:00	550	182,60	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
14	2006	2006	12/07/2006	-	456	112,40	Cota máxima obtida da estatística da cota média. DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
15	2007	2007	02/08/2007	7:00	398	75,97	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
16	2008	2008	18/07/2008	17:00	496	129,69	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
17	2009	2009	10/06/2009	7:00	590	201,98	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
18	2010	2010	18/06/2010	-	1163*	874,21*	Nivelamento da marca de cheia (ENGECON) Proj. de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos Vazão gerada a partir da curva-chave
19	2011	2011	05/05/2011	17:00	490	89,60	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
20	2012	2012	20/02/2012	7:00	320	13,79	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
21	2013	2013	29/04/2013	17:00	310	19,34	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
22	2014	2014	08/08/2014	17:00	423	71,52	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
23	2015	2015	04/07/2015	7:00	312	27,94	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
24	2016	2016	03/07/2016	17:00	242	7,11	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
25	2017	2017	01/07/2017	17:00	516	169,32	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
26	2018	2018	22/04/2018	17:00	313	37,41	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
27	2019	2019	08/08/2019	17:00	406	80,66	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

* Vazões não utilizadas na análise de frequência. “*Outlier*” superior.

ANEXO III

Curva-Chave em Santana do Mundaú - 39700000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	21/08/1992 a 10/06/1994	11/06/1994 a 08/08/1996	09/08/1996 a 14/01/1997	15/01/1997 a 01/08/2000
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	250	225	210	200
		670	670	600	650
	a	22,1	18,4	17,5	17,2
	h_0 (m)	2,45	2,24	2,04	1,94
	n	1,64	1,71	1,72	1,72
Curvas-Chaves	Período	02/08/2000 a 16/05/2008	17/05/2008 a 10/06/2009	11/06/2009 a 31/05/2010	01/06/2010 a 19/02/2012
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	195	200	186	260
		650	590	490	500
	a	21,65	18,92	24,34	24,6
	h_0 (m)	1,83	1,83	1,83	2,69
	n	1,64	1,687	1,61	1,63
Curvas-Chaves	Período	20/02/2012 a 20/08/2012	21/08/2012 a 04/07/2013	05/07/2013 a 11/09/2014	12/09/2014 a 28/05/2017
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	200	200	200	178
		320	314	370	590
	a	22,1	17,5	17,2	18,92
	h_0 (m)	2,45	2,04	1,94	1,86
	n	1,64	1,72	1,72	1,687
Curvas-Chaves	Período	29/05/2017 a 30/04/2018	01/05/2018 a 31/12/2019		
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	178	170		
		490	650		
	a	24,34	21,65		
	h_0 (m)	1,824	1,83		
	n	1,61	1,64		

ANEXO III

Estatísticas da série em Santana do Mundaú - 39700000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio-Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
120,50	162,10	874,20	7,10	867,10	4,10	89,13	35,58	124,46	88,88

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
4,30499	1,01627	6,77332	1,96207	4,81125	-0,20252	4,49015	3,57058	4,82310	1,25252

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
120,54	61,66	0,51	0,46	0,41

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
4,30499	0,56671	0,13164	-0,10313	0,17278

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: *Hosking e Wallis* (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad e \quad \hat{\sigma}$$

$$= \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	4,3050	1,0045

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Palmeirina - 39715000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazões (m ³ /s)	Observações
1	2013	2013	03/07/2013	17:00	92	3,09	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
2	2014	2014	09/10/2014	17:00	207	21,54	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
3	2015	2015	01/08/2015	17:00	79	1,97	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
4	2016	2016	07/07/2016	7:00	79	1,97	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
5	2017	2017	25/05/2017	17:00	220	24,50	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
6	2018	2018	30/04/2018	17:00	139	8,87	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico
7	2019	2019	27/07/2019	17:00	188	17,52	DL associada à vazão máxima do ano hidrológico

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

ANEXO III

Curva-Chave em Palmeirina - 39715000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	30/10/2012 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	30
		53
	a	1869,8101
	h_0 (m)	0,49
	n	2,605
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	53
		300
	a	8,1364063
	h_0 (m)	0,34
	n	1,7763

ANEXO III

Estatísticas da série em Palmeirina - 39715000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m ³ /s	Desvio- Padrão m ³ /s	Máximo m ³ /s	Mínimo m ³ /s	Amplitude m ³ /s	Assimetria	Mediana m ³ /s	1º Quartil m ³ /s	3º Quartil m ³ /s	AIQ m ³ /s
11,40	9,70	24,50	2,00	22,50	0,30	8,87	2,54	19,53	17,00

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
1,97199	1,12522	3,19867	0,67803	2,52064	-0,16731	2,18267	0,90563	2,96663	2,06099

Devido ao pequeno tamanho da série não foi possível realizar a análise de frequência local.

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em São José da Laje - 39720000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Observações
1	1991	1991	17/08/1991	17:00	310	56,47	DL / Vazões geradas pela curva-chave
2	1992	1992	15/09/1992	17:00	236	22,66	DL / Vazões geradas pela curva-chave
3	1993	1993	01/08/1993	7:00	223	17,79	DL / Vazões geradas pela curva-chave
4	1994	1994	20/06/1994	7:00	309	55,95	DL / Vazões geradas pela curva-chave
5	1995	1995	17/02/1995	7:00	248	27,47	DL / Vazões geradas pela curva-chave
6	1997	1997	07/05/1997	7:00	396	106,07	DL / Vazões geradas pela curva-chave
7	1998	1998	27/07/1998	7:00	238	23,44	DL / Vazões geradas pela curva-chave
8	1999	1999	29/12/1999	7:00	233	21,50	DL / Vazões geradas pela curva-chave
9	2000	2000	01/08/2000	17:00	570	231,94	DL / Vazões geradas pela curva-chave
10	2001	2001	14/06/2001	7:00	390	102,30	DL / Vazões geradas pela curva-chave
11	2002	2002	05/01/2002	7:00	310	56,47	DL / Vazões geradas pela curva-chave
12	2003	2003	05/9/2003	7:00	386	99,82	DL / Vazões geradas pela curva-chave
13	2004	2004	15/01/2004	7:00	314	58,55	DL / Vazões geradas pela curva-chave
14	2005	2005	18/06/2005	17:00	436	132,24	DL / Vazões geradas pela curva-chave
15	2006	2006	17/07/2006	7:00	278	40,69	DL / Vazões geradas pela curva-chave
16	2007	2007	30/4/2007	7:00	414	117,62	DL / Vazões geradas pela curva-chave
17	2008	2008	25/3/2008	17:00	316	59,60	DL / Vazões geradas pela curva-chave
18	2009	2009	25/8/2009	17:00	340	72,66	DL / Vazões geradas pela curva-chave
19	2010	2010	18/06/2010	-	738	379,19	Nivelamento da marca de cheia (ENGECON) Proj. de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos / Vazões geradas pela curva-chave
20	2011	2011	31/7/2011	7:00	315	59,08	DL / Vazões geradas pela curva-chave
21	2012	2012	26/6/2012	17:00	208	11,02	DL / Vazões geradas pela curva-chave
22	2013	2013	3/7/2013	17:00	320	61,72	DL / Vazões geradas pela curva-chave
23	2014	2014	7/10/2014	17:00	330	67,12	DL / Vazões geradas pela curva-chave
24	2015	2015	4/7/2015	17:00	272	37,92	DL / Vazões geradas pela curva-chave
25	2016	2016	10/1/2016	17:00	200	8,36	DL / Vazões geradas pela curva-chave
26	2017	2017	28/5/2017	17:00	400	108,60	DL / Vazões geradas pela curva-chave
27	2018	2018	30/4/2018	17:00	364	86,49	DL / Vazões geradas pela curva-chave
28	2019	2019	17/8/2019	7:00	252	28,64	DL / Vazões geradas pela curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

ANEXO III

Curva-Chave em São José da Laje - 39720000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/10/1990 a 30/04/2007	01/05/2007 a 29/04/2018	30/04/2018 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	100	140	140
		550	180	255
	a	28,72	23,95148784	29,22
	h_0 (m)	1,51	1,56	1,53
	n	1,4580	1,5220	1,9950
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	-	180	255
		-	268	550
	a	-	34,20365144	28,72
	h_0 (m)	-	1,64	1,51
	n	-	1,3795	1,4580
Ramo 03	Amplitude de cotas (cm)	-	268	-
		-	550	-
	a	-	28,72	-
	h_0 (m)	-	1,51	-
	n	-	1,4580	-

ANEXO III

Estatísticas da série em São José da Laje - 39720000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio- Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
76,8	75,7	379,2	8,4	370,8	2,8	58,8	28,3	100,4	72,1

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
3,99206	0,86212	5,93804	2,12297	3,81507	-0,10793	4,07440	3,34440	4,60948	1,26509

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
76,8359	34,6663	0,4512	0,4043	0,3286

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
3,9921	0,4875	0,1221	-0,0479	0,1766

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: *Hosking e Wallis* (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad \text{e} \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	3,9921	0,8641

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em União dos Palmares - 39740000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Observações
1	1993	1993	01/11/1993	7:00	460	245,34	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
2	1995	1995	03/07/1995	7:00	398	182,18	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
3	1996	1996	26/08/1996	7:00	442	226,78	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
4	1997	1997	08/05/1997	17:00	614	410,32	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
5	1998	1998	29/07/1998	7:00	294	82,50	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
6	1999	1999	17/05/1999	17:00	215	30,64*	DL – Consistente com estações próximas Vazões geradas a partir da curva-chave
7	2001	2001	14/06/2001	7:00	589	382,88	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
8	2002	2002	20/06/2002	7:00	446	230,89	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
9	2003	2003	05/09/2003	17:00	532	321,22	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
10	2004	2004	15/01/2004	7:00	548	338,39	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
11	2005	2005	03/06/2005	7:00	674	477,06	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
12	2006	2006	12/07/2006	-	392	176,19	Valor obtido da estatística da Cota Média (sem horário) / Vazões geradas a partir da curva-chave
13	2007	2007	27/06/2007	7:00	471	256,77	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
14	2008	2008	18/05/2008	7:00	436	220,63	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
15	2009	2009	10/06/2009	17:00	590	383,97	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
16	2010	2010	18/06/2010	-	1206	1057,03	Nivelamento da marca de cheia (ENGECON) Proj. de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos Vazões geradas a partir da curva-chave
17	2013	2013	03/07/2013	17:00	420	229,93	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
18	2014	2014	07/10/2014	17:00	436	246,67	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
19	2015	2015	04/07/2015	7:00	315	120,39	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
20	2016	2016	30/05/2016	17:00	154	14,64*	DL – Ano atípico confirmado com as estações de apoio / Vazões geradas a partir da curva- chave
21	2017	2017	28/05/2017	17:00	720	529,00	DL / Vazão medida em campo.
22	2018	2018	01/05/2018	7:00	414	223,65	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
23	2019	2019	17/8/2019	17:00	386	194,36	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

*Vazões não utilizadas na análise de frequência. “Outliers” inferiores.

ANEXO III

Curva-Chave em União dos Palmares - 39740000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/10/1990 a 16/06/2010	17/06/2010 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	100	60
		345	380
	a	19,51444139	21,96607065
	h_0 (m)	0,90	0,73
	n	2,0220	1,9250
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	345	380
		750	750
	a	79,7117	103,5566128
	h_0 (m)	1,91	1,99
	n	1,1361	1,0059

ANEXO III

Estatísticas da série em União dos Palmares - 39740000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio- Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
311,2	204,6	1057,0	82,5	974,5	2,6	245,3	220,6	382,9	162,3

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
5,59202	0,53946	6,96322	4,41280	2,55042	0,32432	5,50265	5,39649	5,94772	0,55123

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
311,2452	96,1304	0,3089	0,3910	0,3588

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
5,5920	0,2967	0,0531	0,0666	0,2679

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: *Hosking e Wallis* (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad \text{e} \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	5,5920	0,5259

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Murici-Ponte - 39760000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Observações
1	1985	1985	4/8/1985	17:00	528	440,09	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
2	1986	1986	21/7/1986	7:00	598	544,75	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
3	1987	1987	29/6/1987	17:00	348	208,12	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
4	1989	1989	5/7/1989	17:00	572	505,01	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
5	1990	1990	2/6/1990	17:00	320	177,48	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
6	1992	1992	4/4/1992	17:00	548	469,23	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
7	1993	1993	1/11/1993	17:00	590	532,42	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
8	1994	1994	20/6/1994	17:00	588	529,35	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
9	1995	1995	3/7/1995	7:00	402	271,62	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
10	1996	1996	26/8/1996	7:00	488	383,72	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
11	1998	1998	27/7/1998	17:00	344	203,64	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
12	1999	1999	16/5/1999	7:00	196	63,50	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
13	2001	2001	14/6/2001	17:00	580	517,13	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
14	2002	2002	20/6/2002	17:00	496	394,79	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
15	2003	2003	5/9/2003	17:00	531	444,42	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
16	2004	2004	15/1/2004	17:00	497	396,18	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
17	2005	2005	3/6/2005	17:00	628	591,83	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
18	2006	2006	13/7/2006	-	418	291,48	Valor obtido da estatística da Cota Média (sem horário) / Vazões geradas a partir da curva-chave
19	2007	2007	27/6/2007	17:00	446	327,36	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
20	2008	2008	17/5/2008	17:00	584	523,23	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
21	2009	2009	10/6/2009	17:00	562	490,00	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
22	2010	2010	18/6/2010	-	1055	1388,04	Nivelamento da marca de cheia (ENGECON) Proj. de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos / Vazões geradas a partir da curva-chave
23	2011	2011	5/5/2011	17:00	544	463,35	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
24	2012	2012	20/8/2012	17:00	188	57,55*	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
25	2013	2013	3/7/2013	17:00	438	316,97	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
26	2014	2014	7/10/2014	7:00	476	367,31	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
27	2015	2015	4/7/2015	7:00	330	188,24	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
28	2016	2016	4/7/2016	7:00	190	59,02	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
29	2017	2017	28/5/2017	17:00	596	541,66	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
30	2018	2018	1/5/2018	7:00	486	380,97	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 H)

*Vazão não utilizada na análise de frequência.

ANEXO III

Curva-Chave em Murici-Ponte - 39760000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/07/1984 a 13/07/1989	14/07/1989 a 18/06/2002	19/06/2002 a 27/06/2007	28/06/2007 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	60	60	60	30
		170	167	213	167
	a	42,00	30,00	32,56	30,00
	h_0 (m)	0,65	0,43	0,42	0,43
	n	1,41	1,66	1,60	1,66
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	170	167	213	167
		700	860	628	628
	a	44,90	44,90	44,90	44,90
	h_0 (m)	0,70	0,70	0,70	0,70
	n	1,50	1,50	1,50	1,50

ANEXO III

Estatísticas da série em Murici-Ponte - 39760000

Estatísticas da série das Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio- Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
414,2	237,9	1388,0	59,0	1329,0	2,3	396,2	291,5	517,1	225,6

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
5,86386	0,63789	7,23564	4,07793	3,15771	-1,23035	5,98186	5,67499	6,24830	0,57331

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
414,1695	114,0479	0,2754	0,1078	0,2852

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
5,8639	0,3260	0,0556	-0,2696	0,2809

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: Hosking e Wallis (1997), págs, 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad e \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	5,8639	0,5778

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Fazenda Boa Fortuna - 39770000

Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m ³ /s)	Observações
1	1974	1974	08/07/1974	-	716	326,22	Informação da estatística da cota média Vazões geradas a partir da curva-chave
2	1976	1976	06/10/1976	17:00	673	247,76	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
3	1977	1977	25/05/1977	7:00	813	540,23	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
4	1978	1978	19/07/1978	17:00	790	484,90	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
5	1979	1979	09/06/1979	17:00	684	266,86	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
6	1980	1980	10/06/1980	17:00	703	301,42	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
7	1981	1981	26/03/1981	7:00	710	314,66	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
8	1982	1982	29/04/1982	7:00	790	484,90	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
9	1983	1983	01/08/1983	17:00	581	117,77	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
10	1984	1984	19/07/1984	17:00	799	506,21	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
11	1985	1985	04/08/1985	7:00	709	312,75	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
12	1986	1986	22/07/1986	7:00	802	513,41	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
13	1987	1987	30/06/1987	7:00	652	213,17	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
14	1988	1988	18/07/1988	7:00	983	1035,88	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
15	1990	1990	14/07/1990	7:00	630	179,59	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
16	1991	1991	19/08/1991	17:00	876	706,22	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
17	1992	1992	05/04/1992	7:00	750	395,43	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
18	1993	1993	03/11/1993	7:00	834	593,22	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
19	1994	1994	21/06/1994	17:00	844	619,28	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
20	1995	1995	03/07/1995	17:00	690	277,56	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
21	1996	1996	26/08/1996	17:00	765	427,97	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
22	1997	1997	09/05/1997	07:00	882	723,12	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
23	1998	1998	28/07/1998	7:00	662	229,34	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
24	1999	1999	18/07/1999	7:00	540	91,06	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
25	2000	2000	02/08/2000	-	1050	1422,47	DL (Apesar de constar no banco como falha) Nota Técnica n2 064/2010/SGH-ANA Vazões geradas a partir da curva-chave
26	2001	2001	15/06/2001	7:00	780	539,76	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
27	2002	2002	21/6/2002	7:00	756	479,19	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
28	2003	2003	06/09/2003	7:00	755	476,73	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
29	2004	2004	15/06/2004	17:00	733	424,07	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 hs)

ANEXO III

Série de Dados Utilizados em Fazenda Boa Fortuna - 39770000

(Continuação) – Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazões (m ³ /s)	Observações
30	2005	2005	04/06/2005	7:00	810	619,77	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
31	2007	2007	28/06/2007	7:00	709	369,66	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
32	2008	2008	18/05/2008	7:00	814	630,80	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
33	2009	2009	11/06/2009	7:00	748	459,69	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
34	2010	2010	18/06/2010	-	1238	2239,43	Nivelamento da marca de cheia (ENGECON) Proj. de Monitoramento de Eventos Hidrológicos Extremos Vazões geradas a partir da curva-chave
35	2011	2011	01/08/2011	17:00	764	499,04	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
36	2012	2012	20/08/2012	17:00	512	61,92	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
37	2013	2013	04/07/2013	7:00	720	394,20	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
38	2014	2014	07/10/2014	17:00	741	442,91	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
39	2015	2015	04/07/2015	17:00	664	276,40	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
40	2016	2016	30/05/2016	7:00	510	60,00	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
41	2017	2017	29/05/2017	7:00	831	678,58	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
42	2018	2018	01/05/2018	17:00	726	407,87	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
43	2019	2019	18/08/2019	7:00	649	247,92	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 hs)

ANEXO III

Curva-Chave em Fazenda Boa Fortuna - 39770000

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

Onde:

h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h (m³/s);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM/SGB são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/01/1974 a 28/07/1998	29/07/1998 a 31/12/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	420	390
		608	612
	a	57,64746528	60
	h_0 (m)	4,20	4,10
	n	1,50	1,59
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	608	612
		1100	1050
	a	36	56
	h_0 (m)	3,97	4,15
	n	1,90	1,75

ANEXO III

Estatísticas da série em Fazenda Boa Fortuna - 39770000

Estatísticas da série de Vazões Máximas por ano hidrológico (01/Jan a 31/Dez)

Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio- Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
480,0	370,7	2239,4	60,0	2179,4	3,0	428,0	277,0	540,0	263,0

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
5,94876	0,70500	7,71398	4,09434	3,61963	-0,57677	6,05905	5,62394	6,29156	0,66762

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
479,9847	166,8939	0,3477	0,3119	0,3467

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
5,9488	0,3767	0,0633	-0,1231	0,2675

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: *Hosking e Wallis* (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}$$

$$= \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	5,9488	0,6676

ANEXO III

Vídeos na INTERNET sobre alguns grandes eventos de cheia no rio Mundaú:

São José da Laje (1969):

<https://www.youtube.com/watch?v=q8h4PUcc-wc>

Reportagem da TV Globo (2010):

<https://www.youtube.com/watch?v=Q9AAmgu6UXM>

Fantástico (TV Globo), (2010):

<https://www.youtube.com/watch?v=KnZqmcjIPAQ>

União dos palmares (2010):

<https://www.youtube.com/watch?v=JJRXep6XgTk>

Santana do Mundaú, 18/06/2010:

<https://www.youtube.com/watch?v=kCAXw6LdR5I>



Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

Vazões Máximas Diárias Análise de Frequência Regional

ENDEREÇOS

Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar
Brasília – DF – CEP: 70.830-030
Tel: 61 2192-8252
Fax: 61 3224-1616

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ CEP: 22.290-255
Tel: 21 2295-5337 – 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Superintendência Regional de Recife

Avenida Sul, 2291 - Afogados
Recife – PE – CEP: 50.770-011
Tel.: 81 3316-1400
Fax: 81 3316-1403

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1.731 - Funcionários
Belo Horizonte – MG – CEP: 30.140-002
Tel.: 31 3878-0376
Fax: 31 3878-0383