ISBN 978-65-87226-42-2

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO – SEPLAN
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA) –
ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) - ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPLAN GOVERNO DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

FAPEAD
FUNDAÇÃO DE APOIO AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa

UFMA
Universidade Federal do Maranhão

SÃO LUÍS – MA
2022

Essa publicação conta com a parceria entre o IMESC, a UEMA, a SEPLAN, a FAPEAD, a CPRM, a EMBRAPA e a UFMA.
As informações emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos e outras instituições vinculadas.
Essa publicação está disponível para download gratuito (http://zee.ma.gov.br/). É permitida a reprodução deste texto e dos da dos nele contidos, desde que citada a fonte.

GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO
Carlos Orleans Brandão da Silva

VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO
Felipe Costa Camarão

SECRETÁRIO DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO
Luís Fernando Silva

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS
Presidenta
Talita de Sousa Nascimento Carvalho

Diretor de Estudos e Pesquisas
Rafael Thalysson Costa Silva

Diretor de Estudos Ambientais e Cartográficos
José de Ribamar Carvalho dos Santos

UNIVERSIDADES ESTADUAL DO MARANHÃO
Reitor
Gustavo Pereira da Costa

Vice-Reitor
Walter Canales Sant'naa

Pró-Reitora de Graduação
Fabíola de Jesus Soares Santana

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Rita de Maria Seabra Nogueira

Pró-Reitor de Extensão e Assuntos Estudantis
Paulo Henrique Aragão Catunda

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas
José Rômulo Travassos da Silva

Pró-Reitor de Planejamento e Administração
Antônio Roberto Coelho Serra
COORDENADORA DO ZEE-MA-MA
Talita de Sousa Nascimento Carvalho

COORDENADOR EXECUTIVO DO ZEE-MA (UEMA)
Paulo Henrique de Aragão Catunda

COORDENADOR TÉCNICO DO ZEE-MA (IMESC)
Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

COORDENADORA DO EIXO DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS
Helen Nébias Barreto

EQUIPE TÉCNICA DO RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS
Helen Nébias Barreto
Cláudia Klose Parise
Leonardo Soares Silva
Samara Aranha Eschrique
José Ribamar Carvalho dos Santos
Adilson Matheus Borges Machado
Laisa Alves Malheiros Soares
Potira Manauara Sousa Melo
Bruna Karol de Sousa Quirino Moreira
Veruska Costa de Jesus
Leonardo Azevedo Serra
Karinne Cristhina Diniz Brito

APOIO TÉCNICO – ZEE-MA
Anny Karolyny Oliveira Portela
Janderson Rocha Silva
Vitor Raffael Oliveira de Carvalho

NORMALIZAÇÃO
Dyana Pereira

REVISÃO
Marília de Carvalho da Costa
Nayara da Silva Queiroz
Ilza do Socorro Galvão Cutrim

DIAGRAMAÇÃO
Carliane de Oliveira Sousa

Recursos Hídricos Superficiais do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (Relatório Técnico) / Helen Nébias Barreto (Coord.). – São Luís: IMESC, 2022.

179 p: il. color.
ISBN 978-65-87226-42-2

1. Recursos Hídricos. 2. Bacias hidrográficas. 3. Maranhão. I. Barreto, Helen Nébias.

CDU: 556.18 (812.1)

Ficha elaborada pelas Bibliotecárias Dyana Pereira (CRB13/861)/Kádila Morais (CRB13/815).

Helen Nébias Barreto
(Coordenadora)

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) – ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

Autores
Helen Nébias Barreto
Cláudia Klose Parise
Leonardo Soares Silva
Samara Aranha Eschrique
José Ribamar Carvalho dos Santos
Adilson Matheus Borges Machado
Laisa Alves Malheiros Soares
Potira Manauara Sousa Melo
Bruna Karol de Sousa Quirino Moreira
Veruska Costa de Jesus
Leonardo Azevedo Serra
Karinne Cristhina Diniz Brito

São Luís
2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede de drenagem em multiescala em bacias do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. 17
Figura 2 – Carta topográfica DSG; Imagem de satélite Rapideye e Modelo Digital de Elevação SRTM (TOPODATA). Em vermelho o limite do IBGE e em preto o limite novo traçado. 18
Figura 3 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 25
Figura 4 - Distribuição das estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão. 27
Figura 5 – Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA. 34
Figura 6 – Mapa da rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande 36
Figura 7 – Hipsometria dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Periá e Grande – MA. 37
Figura 8 – Declividade dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Periá e Grande – MA..... 38
Figura 9 – Pontos de coleta dos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá e Grande 40
Figura 10 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande..... 41
Figura 11 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Preguiças. 46
Figura 12 – Hipsometria da Bacia do Rio Preguiças – MA. 47
Figura 13 – Declividade da Bacia do Rio Preguiças – MA..... 48
Figura 14 – Séries temporais históricas das vazões médias mensais e tendências (a, b) e da vazão média anual e tendência (c) obtidas da estação fluviométrica de Morro Alto localizada no médio curso do Rio Preguiças, na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças. 50
Figura 15 – Pontos de coleta no Rio Preguiças. 53
Figura 16 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças. 54
Figura 17 – Mapa da rede hidrográfica dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo. 58
Figura 18 – Hipsometria dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Novo e Barro Duro. 59
Figura 19 – Declividade dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Novo e Barro Duro. 60
Figura 20 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios - Barro Duro e Novo..... 62
Figura 21 – Pontos de coleta dos Rios Barro Duro e Novo 63
Figura 22 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Munim. 66
Figura 23 – Hipsometria da Bacia do Rio Munim. 67
Figura 24 – Declividade da Bacia do Rio Munim..... 68

Figura 25 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência. 69
Figura 26 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Mun Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues 71
Figura 27 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues. 72
Figura 28 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométrica, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues. 74
Figura 29 – Pontos de coleta Bacia Rio Munim. 76
Figura 30 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Munim. 77
Figura 31 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Itapecuru. 82
Figura 32 – Hipsometria da Bacia do Rio Itapecuru. 83
Figura 33 – Declividade da Bacia do Rio Itapecuru. 84
Figura 34 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência. 85
Figura 35 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Piritoró II e 15 – Cantanhede 88

Figura 36 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da re região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede..... 89

Figura 37 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Piritoró II e 15 – Cantanhede. 90

Figura 38 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru. 95

Figura 39 – Pontos de coleta da Bacia Rio Itapecuru. 96

Figura 40 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Mearim. 99

Figura 41 – Hipsometria da Bacia do Rio Mearim. 101

Figura 42 – Declividade da Bacia do Rio Mearim 102

Figura 43 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência..... 103

Figura 44 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II. 105

Figura 45 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II..... 106

Figura 46 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II. 106
Figura 47 – Pontos de coleta da Bacia Rio Mearim. 108
Figura 48 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Mearim. 109
Figura 49 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Tocantins. 114
Figura 50 – Hipsometria da Bacia do Rio Tocantins. 115
Figura 51 – Declividade da Bacia do Rio Tocantins. 116
Figura 52 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência. 117
Figura 53 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapecuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo. 119
Figura 54 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapecuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo. 120
Figura 55 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais na Bacia do Rio Tocantins. 123
Figura 56 – Pontos de coleta do Rio Tocantins. 124
Figura 57 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Parnaíba. 128
Figura 58 – Hipsometria da Bacia do Rio Parnaíba. 129
Figura 59 – Declividade da Bacia do Rio Parnaíba. 130
Figura 60 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência. 133
Figura 61 - Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; Alto Parnaíba; 3

- Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto..... 134
Figura 62 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da regiã região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto. 135
Figura 63 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fl fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto. 136
Figura 64 – Pontos de coleta do Rio Parnaíba. 138
Figura 65 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba. 140
Figura 66 – Rede hidrográfica na escala 1:250.000 do BCSC. 144
Figura 67 – Composição da distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 44 estações fluviométricas da ANA localizadas nas bacias hidrográficas do Tocantins, Mearim, Itapecuru, Preguiças, Munim e Parnaíba, entre os meses de: a) março, b) abril e c) maio de 22021. Os números no mapa representam a localização das 44 estações fluviométricas, a saber: 1 - Goiatins; 2 - Rio Itapecuru; 3 - Rio Itaueiras; 4 - Lajeado Novo; 5 - Rio Corda II; 6 - Fazenda Ourives; 7 - Barra do Corda; 8 - Santa Vitória; 9 - Flores; 10 - Joselândia; 11 - Pedreiras II; 12 - São Felinho; 13 - Mirador; 14 - Fernando Falcão; 15 - Campo Largo; 16 - Porto do Lopes; 17 - Colinas; 18 - Nazaré; 19 - Mendes; 20 - Montevidéu; 21 - Caxias; 22 - Codó; 23 - Fazenda Sobral; 24 - Coroatá; 25 - Piritoró II; 26 - Cantanhede; 27 - Morro Alto; 28 - Fazenda Capueira; 29 - Munim; 30 - Bonsucesso; 31 - São Benedito; 32 - Iguará; 33 - Nina Rodrigues; 34 - Fazenda União; 35 - Alto Parnaíba; 36 - Medonho; 37 - Fazenda Paracati II; 38 - Balsas; 39 - Maravilha Br - 230; 40 - Neves Br - 230; 41 - Sambaíba; 42 - São Felix de Balsas; 43 - Barão de Grajaú e 44 - Coelho Neto. 145

Figura 68 – Variação da temperatura nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. 147
Figura 69 – Variação de condutividade elétrica nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. 148
Figura 70 – Variação de condutividade específica nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. 148
Figura 71 – Variação de turbidez nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1..... 149
Figura 72 – Variação de pH nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1. 149
Figura 73 – Variação de Oxigênio Dissolvido (mg.L-1) nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1. 150
Figura 74 – Faixa de variação da temperatura nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*..... 151
Figura 75 – Faixa de variação da salinidade nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces super superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.* 151
Figura 76 – Faixa de variação da condutividade elétrica nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*. 152
Figura 77 – Faixa de variação dos sólidos totais dissolvidos (TDS) nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*..... 153
Figura 78 – Faixa de variação da turbidez nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superfi superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*. 154

Figura 79 – Faixa de variação do pH nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: faixa limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.* 155
Figura 80 – Faixa de variação do oxigênio dissolvido nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas do doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.* 156
Figura 81 – Faixa de variação dos totais de sólidos suspensos (TSS) nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*. 157
Figura 82 – Faixa de variação do fosfato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.* 158
Figura 83 – Faixa de variação do silicato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers.* 158
Figura 84 – Faixa de variação do N-amoniacal nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.* 159
Figura 85 – Faixa de variação do nitrato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. 160
Figura 86 – Faixa de variação do nitrito nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. 161

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos parâmetros morfométricos. 23
Quadro 2 – Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia. 23
Quadro 3 – Pontos Amostrais do ZEE Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. 24
Quadro 4 – Estações fluviométricas situadas nas bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão. 28
Quadro 5 – Estações fluviométricas (com dados de vazão) da Agência Nacional de Águas (ANA) localizadas nas bacias hidrográficas pertencentes ao BCSC. 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros, métodos de referência e precisão relativa/limite de quantificação e Padrão da resolução CONAMA utilizados para a determinação da química da água nas Bacias Hidrográficas do Cerrado e Sistema Costeiro. 26

Tabela 2 – Dados de qualidade de água da estação de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras do Periá e Grande, Bioma Cerrado do estado do Maranhão. 39

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande (abril/2021). 42

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande (maio/2021). 43

Tabela 5 – Vazão média anual e tendência da estação fluviométrica pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças. 51

Tabela 6 – Correlação (r) e significância ($p < 0,05$) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças. 51

Tabela 7 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia Hidrográfica do rio Preguiças, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão. 52

Tabela 8 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças (abril/2021). 55

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças (maio/2021). 56

Tabela 10 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente aos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão. 61

Tabela 11 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro (abril/2021). 63

Tabela 12 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro (maio/2021). 64

Tabela 13 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Munim. 70

Tabela 14 – Correlação (r) e significância ($p < 0,05$) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Munim. 74

Tabela 15 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Munim. 75
Tabela 16 – Parâmetros físicos e químicos medidos nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim (abril/2021). 78
Tabela 17 – Parâmetros físicos e químicos medidos nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim (maio/2021). 79
Tabela 18 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. 87
Tabela 19 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. 91
Tabela 20 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Itapecuru. 92
Tabela 21 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru (Abril / 2021). 96
Tabela 22 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru (Maio/2021) 97
Tabela 23 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mearim 104
Tabela 24 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Mearim. 106
Tabela 25 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Mearim. 107
Tabela 26 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim (maio/2021) 110
Tabela 27 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim (junho/2021) 111
Tabela 28 – IDados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins. 118
Tabela 29 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Tocantins. 121
Tabela 30 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins (abril/2021). 125

Tabela 31 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins (maio/2021). 125
Tabela 32 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba. 133
Tabela 33 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba. 133
Tabela 34 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Parnaíba. 137
Tabela 35 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba (abril-maio/2021). 140
Tabela 36 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba (maio-junho/2021). 141
Tabela 37 – Resultados da rede hidrográfica em relação à base Agência Nacional de Águas. 143

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 17
2.1 Hidrografia 17
2.1.1 Escala de trabalho 17
2.1.2 Bases espaciais 18
2.1.3 Tratamento da informação espacial 19
2.1.4 Morfometria 20
2.2 Qualidade de Água 23
2.2.1 Definição da rede amostral de águas superficiais 23
2.2.2 Parâmetros de Qualidade de Água 25
2.2.3 Rede Hidrometeorológica Nacional 26
2.3 Hidrologia 28
2.3.1 Dados e Pré-processamento dos Dados de Vazão do Rios do BCSC 29
2.3.2 Climatologia e Espacialização das Vazões no Domínio das Bacias Hidrográficas 31
2.3.3 Correlação dos Dados de Vazão com o Fenômeno El Niño-Oscilação Sul 32
3 RESULTADOS 33
3.1 Sistemas de bacias costeiras: Rios Periá e Grande 35
3.1.1 Hidrografia 35
3.1.2 Qualidade de Águas 39
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PREGUIÇAS 44
3.2.1 Hidrografia 44
3.2.2 Regime Fluvial 49
3.2.3 Qualidade de Águas 51
3.3 Sistemas de bacias costeiras: Rios Barro Duro e Novo 57
3.3.1 Hidrografia 57
3.3.2 Qualidade de Água 61
3.4 Bacia hidrográfica do Rio Munim 65
3.4.1 Hidrografia 65
3.4.2 Regime Fluvial 69
3.4.3 Qualidade de Água 75
3.5 Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru 80
3.5.1 Hidrografia 80

3.5.2 Regime Fluvial 85
3.5.3 Qualidade de Águas 91
3.6 Bacia hidrográfica do Rio Mearim 97
3.6.1 Hidrografia 97
3.6.2 Regime Fluvial 102
3.6.3 Qualidade de Água 107
3.7 Bacia hidrográfica do Tocantins 112
3.7.1 Hidrografia 112
3.7.2 Regime Fluvial 117
3.7.3 Qualidade de Água 121
3.8 Bacia hidrográfica do rio parnaíba 126
3.8.1 Hidrografia 126
3.8.2 Regime Fluvial 131
3.8.3 Qualidade de Águas 137
4 SEÇÃO DE INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS 143
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 162
REFERÊNCIAS 165
APÊNDICE A - PASSO-A-PASSO DOS PROCEDIMENTOS PARA A ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO NO DOMÍNIO DO BCSC 169

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à vida e, enquanto recurso, é utilizada para diversos fins. Os usos e as demandas dos recursos hídricos para atender a todos os setores da sociedade podem comprometer a disponibilidade e qualidade hídrica superficial. Nessa perspectiva, urge o desenvolvimento de estudos que possam fomentar o gerenciamento preventivo para a conservação desse recurso natural. Para isso, no contexto de um Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) – instrumento de gestão que tem por objetivo viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico e conservação ambiental – a água é um recurso estratégico e quer uma abordagem abrangente quanto às atividades econômicas. Nesse sentido, conhecer as características da rede hidrográfica, qualidade da água e condições hidrológicas, associadas a outras variáveis ambientais, possibilita a construção de análise detalhada das condições ambientais dos recursos hídricos superficiais de uma determinada área.

Nessa perspectiva, o presente estudo, de abordagem multidisciplinar, almeja elucidar as interações físicas, químicas e biológicas nas águas das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (BCSC), contribuindo para o monitoramento e manejo adequado dos diversos usos destes recursos hídricos, no contexto do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão, eixo temático Recursos Hídricos Superficiais. Este estudo é de grande relevância para o Estado do Maranhão, por considerar que este é utilizado como fonte de alimentação e renda pela população que habita suas margens, e que suas águas estão sujeitas às pressões dos diversos tipos de uso pelo homem, tais como atividades de pesca, agricultura, navegação, turismo, ocupação por núcleos urbanos desordenados, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, entre outros, capazes de modificar as suas condições naturais, resultando em um conjunto de fenômenos que merecem atenção nos estudos hidrológicos e ambientais.

Para isso, o estudo abrange três subeixos temáticos (grupos de trabalho) dentro do eixo temático principal Recursos Hídricos Superficiais: hidrografia, hidrologia e qualidade de água. No eixo hidrografia, o estudo tem como abordagem o mapeamento dos cursos d'água e massas de água e a delimitação das bacias hidrográficas do bioma, na escala 1:250.000. O ajuste e detalhamento cartográfico possibilitou a elaboração de base espacial com escala única, uma vez que a base vetorial atual da rede hidrográfica se encontra disponível em multiescala pelos órgãos oficiais. Além disso, há a determinação de parâmetros morfométricos que caracterizam as bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem. Este eixo visa, portanto, contribuir para o melhoramento cartográfico, imprescindível para o desenvolvimento de pesquisas de base e de ações governamentais que envolvam a questão hídrica.

No eixo hidrologia, o estudo aborda a espacialização e a análise dos dados históricos da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA), a partir do tratamento e modelagem estatística dos dados de vazão, visando o conhecimento e o acompanhamento das características ambientais que modulam a distribuição da rede hidrográfica do BCSC. Este eixo trata de análises fundamentais para a determinação do grau de vulnerabilidade das bacias hidrográficas e da disponibilidade hídrica, permitindo a geração de indicadores ambientais que auxiliem na elaboração de políticas públicas de seus recursos hídricos.

No eixo qualidade da água, a abordagem concentrou-se na coleta e análise das águas superficiais, considerando que suas características físicas, químicas e biológicas desempenham um papel fundamental na compreensão das mudanças ocasionadas pelo impacto antrópico. A compreensão dessas interações que ocorrem no meio hídrico constitui, hoje, uma forte ferramenta para a detecção das alterações naturais e antrópicas. Entretanto, é importante mencionar que se torna cada vez mais difícil a avaliação das alterações nas características ambientais, uma vez que a intervenção humana é comum à maioria dos ambientes hidrológicos. Certamente, as informações que serão reportadas neste estudo devem enriquecer com mais detalhes as ações mitigadoras. Assim, considerando que as respostas a estes impactos são sinalizadas por processos de eutrofização e perda da qualidade da água, o desenvolvimento deste estudo é bastante importante às pesquisas nacionais, pois constitui uma ferramenta adequada para avaliação das mudanças de origem natural e antrópica nos ambientes aquáticos, contribuindo para um rápido diagnóstico ambiental.

Portanto, o objetivo geral deste estudo consistiu na caracterização dos recursos hídricos superficiais do BCSC por meio do mapeamento de cursos d'água e massas d'água, da determinação da qualidade físico-química das águas superficiais e da análise estatística de dados hidrológicos. Os objetivos específicos foram: mapear os cursos d'água e massas de águas em escala 1:250.000; verificar a qualidade e precisão de escala e corrigir eventuais erros da rede hidrográfica; determinar parâmetros morfométricos pertinentes à análise da hidrografia; obter e analisar as séries de dados históricos de vazão disponibilizados pelas Plataformas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e Sistema de Informações Hidrológicas on-line (Hidroweb); espacializar os dados de vazão por meio de modelos estatísticos; correlacionar as vazões dos rios com o índice climático do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS); contextualizar os meses de coleta dos dados ambientais in situ realizados neste estudo (i.e., março, abril e maio de 2021) em termos da variabilidade climática interanual e decadal; e avaliar os parâmetros físicos e químicos da água para compor a caracterização ambiental das bacias hidrográficas do BCSC.

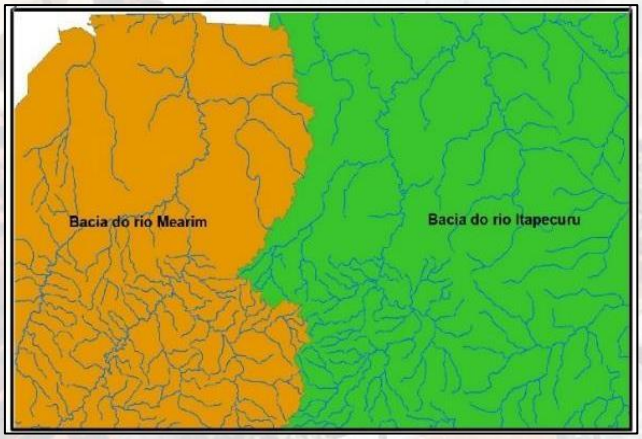
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Hidrografia

2.1.1 Escala de trabalho

No caso particular do Estado do Maranhão, há disponível, para a área do BCSC, a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da ANA, em escala 1:250.000, que incorpora os planos de informação: trechos de drenagem e limites de bacias hidrográficas, conforme mostrado na Figura 01.

Figura 1 – Rede de drenagem em multiescala em bacias do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Contudo, a partir da análise da base hidrográfica do IBGE, concluiu-se que a rede de drenagem se apresenta em multiescala, devido à generalização cartográfica presente na maior parte das bacias que contemplam o bioma. A Figura 1 mostra a diferença de detalhamento cartográfico dos trechos de drenagem das bacias do rio Mearim e do rio Itapecuru. Além disso, destaca-se nesta base, diversos erros cartográficos na delimitação de bacias hidrográficas e trechos de drenagem. Quando se trata de bacias hidrográficas de grande extensão territorial, muitas vezes, o limite de bacia é delimitado por meio de extração automática, processada em Sistema de Informação Geográfica. Embora seja um processo adotado para a cobertura de grandes bacias, nem sempre é realizada a conferência e o refinamento cartográfico.

Na Figura 2, esse tipo de erro comum nas bases espaciais de hidrografia é ilustrado com o limite hidrográfico das bacias dos rios Itapecuru e Mearim no município de Fernando Falcão, Serra das Alpercatas.

Figura 2 – Carta topográfica DSG; Imagem de satélite Rapideye e Modelo Digital de Elevação SRTM (TOPODATA). Em vermelho o limite do IBGE e em preto o limite novo traçado.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Para atender ao termo de referência do ZEE quanto à escala de trabalho, foi adotado o sistema de referência internacional do Manual de Normas, Especificações e Procedimentos para a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo – CIM (IBGE, 1993). O sistema de folhas da carta ao milionésimo desdobra-se em outras escalas, enquanto a Folha 1:250.000 apresenta um índice de nomenclatura composto da letra da zona e do número do fuso correspondente à Folha, precedido da letra S pelo fato de a área situar-se no Hemisfério Sul. Por se tratar da escala 1:250.000, a nomenclatura ainda recebe duas letras. Assim, os produtos cartográficos referentes à base hidrográfica neste trabalho, serão apresentados conforme o sistema internacional de articulação de Folhas que fornece informações sobre a posição da área mapeada, padronizando as referências cartográficas.

2.1.2 Bases espaciais

A princípio, foram selecionadas diversas bases espaciais por meio de pesquisa junto aos órgãos governamentais responsáveis pela elaboração de bases cartográficas oficiais. As diferentes informações requeridas para o ajuste e construção da nova base hidrográfica foram obtidas no banco de dados da ANA, do IBGE, do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A base de dados vetoriais foi extraída do IBGE e da ANA, sendo que os planos de informação utilizados para o ajuste cartográfico da drenagem foram: trecho de drenagem, massa de água, curva de nível, ponto cotado e limite de bacia hidrográfica. Quanto às bases de dados matriciais, foram selecionados três tipos de documentos cartográficos para auxiliar no processo de correção e ajuste espacial dos cursos d'água, sendo estes:

a) O Modelo Digital de Elevação (MDE) de imagens de radar SRTM, com resolução espacial de 30 metros, do Projeto TOPODATA/INPE (2008). O MDE é uma forma de representação do terreno, referente exclusivamente à altimetria ou modelagem topográfica. Essa base altimétrica foi utilizada para refinar a rede de drenagem.

b) As imagens de satélite do sensor *Rapideye*, com resolução espacial de 5 metros, do Geocatálogo do MMA, referente ao ano de 2011. Para as bases matriciais referentes ao MDE do TOPODATA e as imagens de satélite *Rapideye*, foram elaborados os mosaicos da área a partir do conjunto de cenas. Estes documentos auxiliaram na atualização das informações da rede de drenagem e na verificação dos erros de vetorização dos trechos de drenagem da base original do IBGE.

c) A base topográfica adquirida por meio das cartas digitalizadas planialtimétricas de 1989 e planimétricas de 1978 da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e IBGE. Mesmo se tratando de cartas em escalas de maior detalhe (1:100.000), esses documentos foram utilizados para identificação de informações básicas, como por exemplo, a toponímia dos cursos d'água e massa d'água.

2.1.3 Tratamento da informação espacial

O tratamento da informação espacial foi realizado a partir de ferramenta computacional comumente utilizada para o processamento de informações espaciais, a saber: os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O SIG representa um conjunto de tecnologias voltadas para a coleta e tratamento de informações espaciais que atendam a um objetivo específico, desde a coleta até à geração de produtos na forma de mapas, relatórios, arquivos digitais, entre outros. Estes sistemas destinam-se ao processamento de dados referenciados geograficamente, gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfície (LONGLEY *et al.,* 2013). Assim, o aspecto mais fundamental dos dados tratados no SIG é a natureza dual da informação. Um dado geográfico possui uma localização geográfica e atributos descritivos. Outro aspecto importante é que o dado geográfico não existe sozinho no espaço, além de sua localização é fundamental representar a relação entre os diversos dados. Neste sentido, foi adotado neste trabalho, o sistema *ArcGIS 10.3* para a representação dos fenômenos geográficos: rede de drenagem, limite de bacia e massa de água. Nas extensões *ArcMAP* e *ArcTOOLBOX* deste sistema, foram iniciados os procedimentos de organização, recorte, georreferenciamento e vetorização dos referidos planos de informação, detalhados na sequência.

Após a etapa de aquisição das bases espaciais (subitem 3.1.2), foi realizada a análise da base cartográfica. No ambiente SIG, procedeu-se, inicialmente, a conversão de toda a base cartográfica para o sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) e o referencial geodésico brasileiro, o *datum* Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) do ano de 2000.

Além disso, foram georreferenciadas sete cartas planialtimétricas e planimétricas, uma vez que nem todas as cartas foram disponibilizadas com referencial espacial, ou seja, georreferenciadas. Após o procedimento de georreferenciamento foi gerado o mosaico das cartas planimétricas e o mosaico das cartas planialtimétricas da área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.

Posteriormente, fez-se o recorte da base cartográfica vetorial e matricial conforme o limite da área do bioma. Os planos de informação (PI) selecionados para esta etapa foram: trecho de drenagem, massa de água, curva de nível, ponto cotado e limite de bacia hidrográfica provenientes do site do IBGE e do limite de biomas do IMESC. Em seguida, foram identificados os principais erros da base cartográfica oficial do IBGE, considerando-se a meta de escala de trabalho de 1:250.000 do ZEE. Estes erros foram corrigidos, a partir da análise da base de dados hidrográfica do IBGE, partindo-se do processo de vetorização. Este processo consiste na conversão de dados espaciais para vetor, com utilização de SIG para essa finalidade. O princípio norteador desse processo consiste em identificar as entidades representadas no mapa ou representadas nos arquivos *raster* (imagens) por conjuntos de pontos e em seguir essas feições transformando-as em linhas (vetores). Neste trabalho, este processo foi realizado de forma semiautomática, ou seja, uma vetorização assistida em que o sistema acompanha e vetoriza uma determinada linha que lhe foi indicada pelo operador. Em caso de conflito no cruzamento ou conexão de vetores, cabe ao operador a decisão de edição.

A partir deste procedimento, foi realizada a correção topológica por meio da edição da rede de drenagem, para a correção de erros cometidos no processo de digitalização ou de elementos (cursos d'água) em falta, por comparação com documentos cartográficos originais e produtos de sensores remotos (imagens de satélite e radar). Para editar feições no *ArcGIS*, foram acionadas as ferramentas *Editor* e *Snapping.* A barra de comando do *Editor* permitiu selecionar e modificar feições e vértices dos cursos d'água assim como acrescentar registros na tabela de atributos do trecho de drenagem selecionado. A barra de comando *Snapping* permitiu a perfeita conexão de pontos e vértices da feição vetorizada.

2.1.4 Morfometria

Os cursos d'água constituem um dos principais agentes do processo de esculturação da paisagem, o estudo da relação da fisiografia da bacia e seu comportamento hidrológico permite compreender os processos fluviais e as formas resultantes (GUERRA; CUNHA, 1994). A análise quantitativa dos elementos resultantes do modelado do relevo de uma bacia hidrográfica é conhecida como morfometria fluvial. Trata-se de um método analítico que considera o conjunto das vertentes e

canais que compõem o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos. Christofoletti (1980) evidencia que a drenagem se encontra especialmente vinculada, como fator analítico, a outro elemento fisiográfico e geomorfológico de grande importância: a erosão.

Nesse sentido, as bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro correspondem ao objeto de estudo da morfometria, tendo como elementos de análise, sua própria área, a rede de drenagem e o arranjo das vertentes (relevo). Os principais atributos das bacias hidrográficas utilizados na composição dos parâmetros morfométricos são: área da bacia; perímetro da bacia; comprimento da bacia; comprimento dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade da bacia e altimetria. A técnica mais comum de derivação dos atributos e extração das características morfométricas de uma bacia hidrográfica baseia-se em documentos cartográficos de maior precisão, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE), processados em ambiente digital, especificamente em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A aplicação de novas metodologias na extração dos atributos e cálculo dos parâmetros a partir dos MDEs permite a aferição de melhores resultados nas análises morfológicas. Estas análises serão processadas nas principais bacias que compõem a área de estudo.

Segundo Christofoletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial. Para isso, são mensurados os valores altimétricos dos principais elementos que compõem o relevo, as vertentes e os canais, que configuram a base para a determinação dos parâmetros morfométricos. No âmbito deste trabalho, para a geração dos parâmetros morfométricos, partiu-se inicialmente da preparação da base cartográfica regional. Os dados topográficos digitais utilizados correspondem aos modelos digitais de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) refinados pelo Projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Para cobertura da área foram necessárias sete cenas compatíveis com a escala de 1:250.000 que foram reunidas em um mosaico. Os dados foram obtidos no site do projeto (http://www.dsr.inpe.br/topodata/). Além disso, foi utilizada a base hidrográfica vetorizada na escala 1:250.000.

Cabe ressaltar, que o exercício de representação de grandes extensões territoriais remete à síntese, seleção e hierarquização dos fenômenos espaciais e possibilita a integração de conhecimentos em diversas escalas. Portanto, a partir da geração de diversos parâmetros morfométricos, foram selecionados àqueles mais representativos do ponto de vista da distinção de processos/formas de relevo que influenciam a dinâmica fluvial. Além disso, destaca-se que nem todos os parâmetros foram aplicados a todas as bacias Bioma Cerrado e Costeiro, uma vez que a representatividade espacial delas varia em extensão territorial, além de inserir-se integralmente ou parcialmente dentro da área de estudo. Outro

aspecto importante associado aos parâmetros é a análise de forma integrada com os dados temáticos referentes à geomorfologia, formações litológicas e ao arcabouço estrutural.

No Quadro 1 são apresentados os parâmetros que foram gerados para a análise das bacias hidrográficas, dentre os quais: área da bacia, comprimento de canais, comprimento da bacia, perímetro, altitude máxima e mínima, hipsometria, declividade, amplitude altimétrica, densidade de drenagem e densidade hidrográfica ou frequência de canais.

Quadro 1 – Descrição dos parâmetros morfométricos

Parâmetro (Fonte)	Fórmula	Unidade	Descrição
Área da bacia	-	km²	A: área da bacia obtida por meio de cálculo no *ArcMap/ArcGIS*
Perímetro da bacia	-	Km	P: extensão do contorno da bacia
Comprimento dos rios	-	Km	Lt: comprimento dos canais obtidos por meio de cálculo no *ArcMap/ArcGIS*
Densidade de Drenagem (DD) (HORTON, 1945; JAKOB, 1996)	DD= Lt/A	km/km²	Lt: comprimento dos canais; A: área da bacia.
Densidade Hidrográfica ou Frequência de rios	DH=Nc/A	Número de canais por km²	DH: representa a relação entre o número de cursos d'água e a área da bacia.
Altitude mínima e altitude máxima	-		Parâmetro obtido a partir de análise do Modelo Digital de Elevação (MDE)
Amplitude Altimétrica (AA) (JAKOB, 1996; ZHANG *et al*.., 2015)	AA: Hmax – Hmin	M	Hmax: elevação máxima; Mmin: elevação mínima.
Declividade (*Slope*)	-	%	Declividade média da bacia obtida a partir de análise espacial do MDE.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os valores de referência (Quadro 2) utilizados para avaliação da densidade de drenagem correspondem à classificação de Beltrame (1994).

Quadro 2 – Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia

Dd(km/km²)	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01 – 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

2.2 Qualidade de Água

2.2.1 Definição da rede amostral de águas superficiais

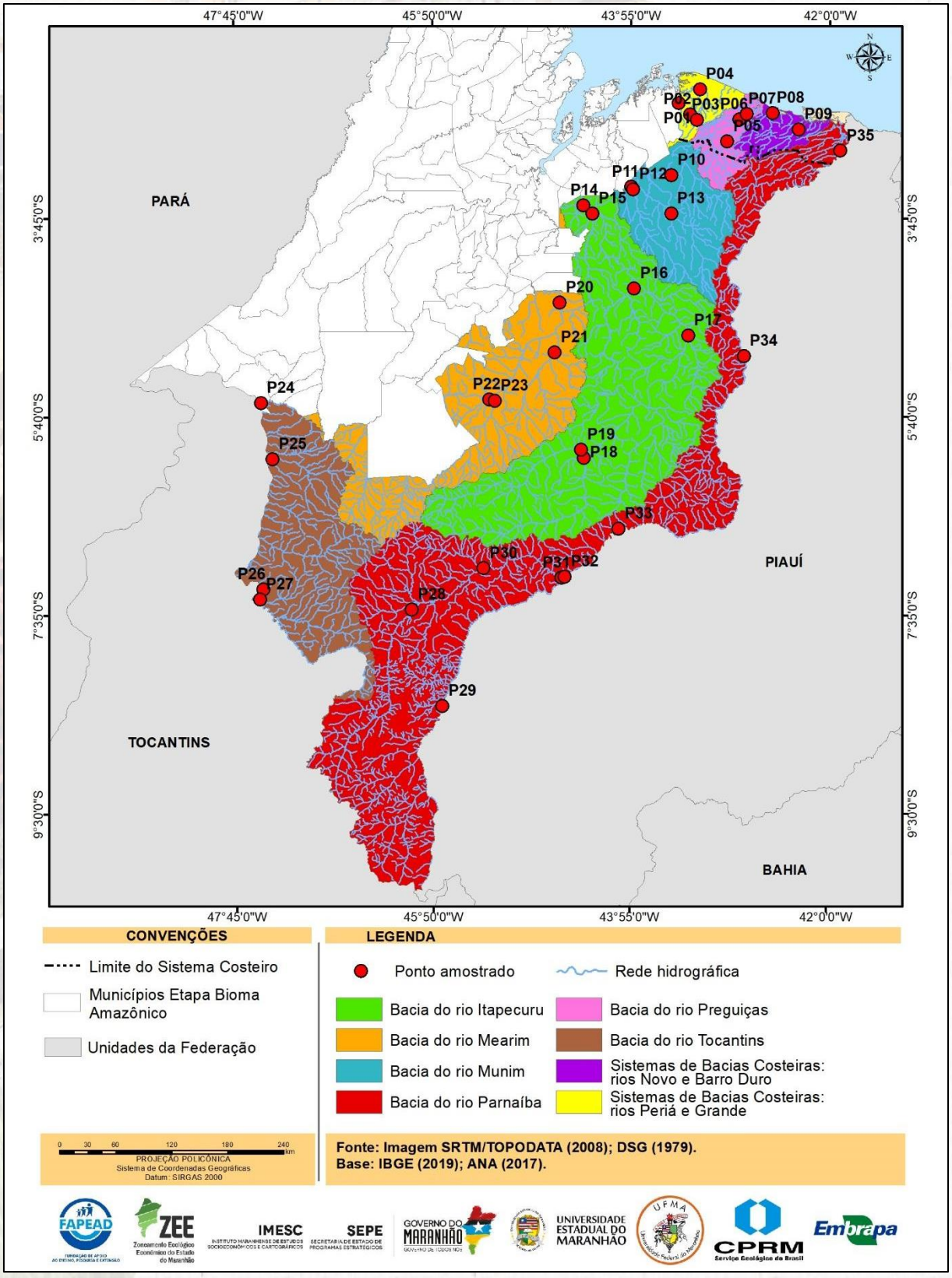
A rede de amostragem de água foi definida com o objetivo de contemplar os principais rios das bacias hidrográficas do Mearim, Munim, Itapecuru, Tocantins, Parnaíba, Preguiças e bacias dos Sistemas Costeiros (rios Periá, Grande, Novo e Barro Duro). Para isso, foram definidos 35 pontos de coleta (Quadro 3 e Figura 3), sendo 10 pontos amostrais localizados no Sistema Costeiro e 25 pontos amostrais distribuídos no Bioma Cerrado. Em cada ponto de coleta, amostras de água superficiais foram obtidas para determinações analíticas *in situ* e em laboratório.

Quadro 3 – Pontos Amostrais do ZEE Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

Bacia	Pontos	Latitude	Longitude	Rio – Município
Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande	P01	671378.43 m E	9708232.43 m S	Humberto de Campos
	P02	683684.00 m E	9696042.00 m S	MA 402
	P03	690809.00 m E	9690430.00 m S	MA 402
	P04	694144.00 m E	9722918.00 m S	Rio Grande - Santo Amaro
Rio Preguiças	P05	723400.00 m E	9667303.00 m S	Povoado (Alto Curso Rio Preguiças)
	P06	736600.00 m E	9690758.00 m S	Povoado (Médio Curso – Riacho do Gengibre)
	P07	744026.00 m E	9696697.00 m S	Rio Preguiças – Barreirinhas
Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro	P08	771876.00 m E	9697833.00 m S	Rio da Fome - Paulino Neves
	P09	799719.00 m E	9679976.00 m S	Rio Barro Duro - Barro Duro
Rio Munim	P10	663681.00 m E	9631235.00 m S	Rio Preto - São Benedito do Rio Preto
	P11	620327.00 m E	9618729.00 m S	Rio Munim - Nina Rodrigues
	P12	622422.00 m E	9616143.00 m S	Rio Munim - Nina Rodrigues
	P13	663297.00 m E	9590189.00 m S	Rio Munim – Chapadinha
Rio Itapecuru	P14	569089.00 m E	9598803.00 m S	Rio Itapecuru – Cantanhede
	P15	579142.94 m E	9589996.33 m S	Rio Peritoró – Pirapemas
	P16	623514.00 m E	9510128.00 m S	Rio Itapecuru – Codó
	P17	681484.00 m E	9459636.00 m S	Rio Itapecuru – Caxias
	P18	573426.00 m E	9330929.00 m S	Baixo Curso Itapecuruzinho - Colinas
	P19	575836.00 m E	9333998.00 m S	Baixo Curso Alpercatas - Colinas
Rio Mearim	P20	543709.00 m E	9494793.00 m S	Rio Mearim – Pedreiras
	P21	538570.00 m E	9441651.00 m S	Rio Flores - São José dos Basílios
	P22	470801.00 m E	9390998.00 m S	Rio Mearim - Barra do Corda
	P23	472594.00 m E	9390845.00 m S	Rio Corda - Barra do Corda
Rio Tocantins	P24	223826.00 m E	9387262.00 m S	Rio Tocantins – Imperatriz
	P25	236369.00 m E	9327098.00 m S	Rio Lajeado – Lajeado
	P26	226367.00 m E	9187782.00 m S	Rio Tocantins – Carolina
	P27	222746.00 m E	9177182.00 m S	Rio Manuel Alves Grande
Rio Parnaíba	P28	385323.00 m E	9166406.00 m S	Rio Balsas – Balsas
	P29	418235.00 m E	9062985.00 m S	Alto Curso Rio Parnaíba - Tasso Fragoso
	P30	461987.00 m E	9210449.00 m S	Sambaíba – Médio Balsas
	P31	545568.00 m E	9200211.00 m S	Foz Balsas - Benedito Leite
	P32	549064.00 m E	9201220.00 m S	Rio Parnaíba – Parnaíba
	P33	606905.00 m E	9252747.00 m S	Rio Parnaíba UHE - Nova Iorque
	P34	741065.00 m E	9437405.00 m S	Rio Parnaíba – Teresina
	P35	177698.00 m E	9657417.00 m S	Rio Parnaíba Baixo Curso - MA 345

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 3 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



2.2.2 Parâmetros de Qualidade de Água

Foram realizadas coletas de água superficial para as determinações analíticas em laboratório de fosfato, silicato, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, clorofila-*α* e Total de Sólidos Suspensos (TSS). Cada amostragem de água foi acondicionada diretamente no seu respectivo frasco de coleta, devidamente etiquetado e checando a presença do reagente preservante adequado para cada análise, evitando que interferências posteriores (reações químicas e biológicas) alterem os resultados das análises. Após a coleta, estas amostras foram refrigeradas e acondicionadas em caixas térmicas, sendo transportadas ao laboratório para análise das variáveis.

Os parâmetros clorofila-*α* e nutrientes dissolvidos (silicato, fosfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal) foram mensurados no Laboratório Cernitas. Os totais de sólidos suspensos foram mensurados no Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS) do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão (DEOLI-UFMA).

Os sólidos totais em suspensão (TSS) presente nas águas superficiais foram determinados por medida gravimétrica, segundo as metodologias descritas em Strickland e Parsons (1968) e APHA (2001). No laboratório, as amostras de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro de 47mm de diâmetro, previamente secos por 1 hora a 60ºC. Os filtros foram previamente identificados e pesados em balança analítica, com precisão de ± 0,0001g. Após a filtração, os filtros foram colocados novamente a 60°C por 1 hora em estufa, resfriado em dessecador e pesado, repetindo o processo de secagem e pesagem até peso constante. A diferença entre o peso final e o inicial forneceu o peso dos sólidos totais em suspensão para um exato volume filtrado e os cálculos expressam o valor em mg L^{-1}.

A Tabela 01 sumariza as metodologias e métodos de medição dos parâmetros físicos, químicos e biológico estudados, além dos valores de referência adotados, segundo a resolução CONAMA vigente n.°357/2005 (CONAMA, 2005), para as águas doces superficiais de Classe 1.

Tabela 1 – Parâmetros, métodos de referência e precisão relativa/limite de quantificação e Padrão da resolução CONAMA utilizados para a determinação da química da água nas Bacias Hidrográficas do Cerrado e Sistema Costeiro

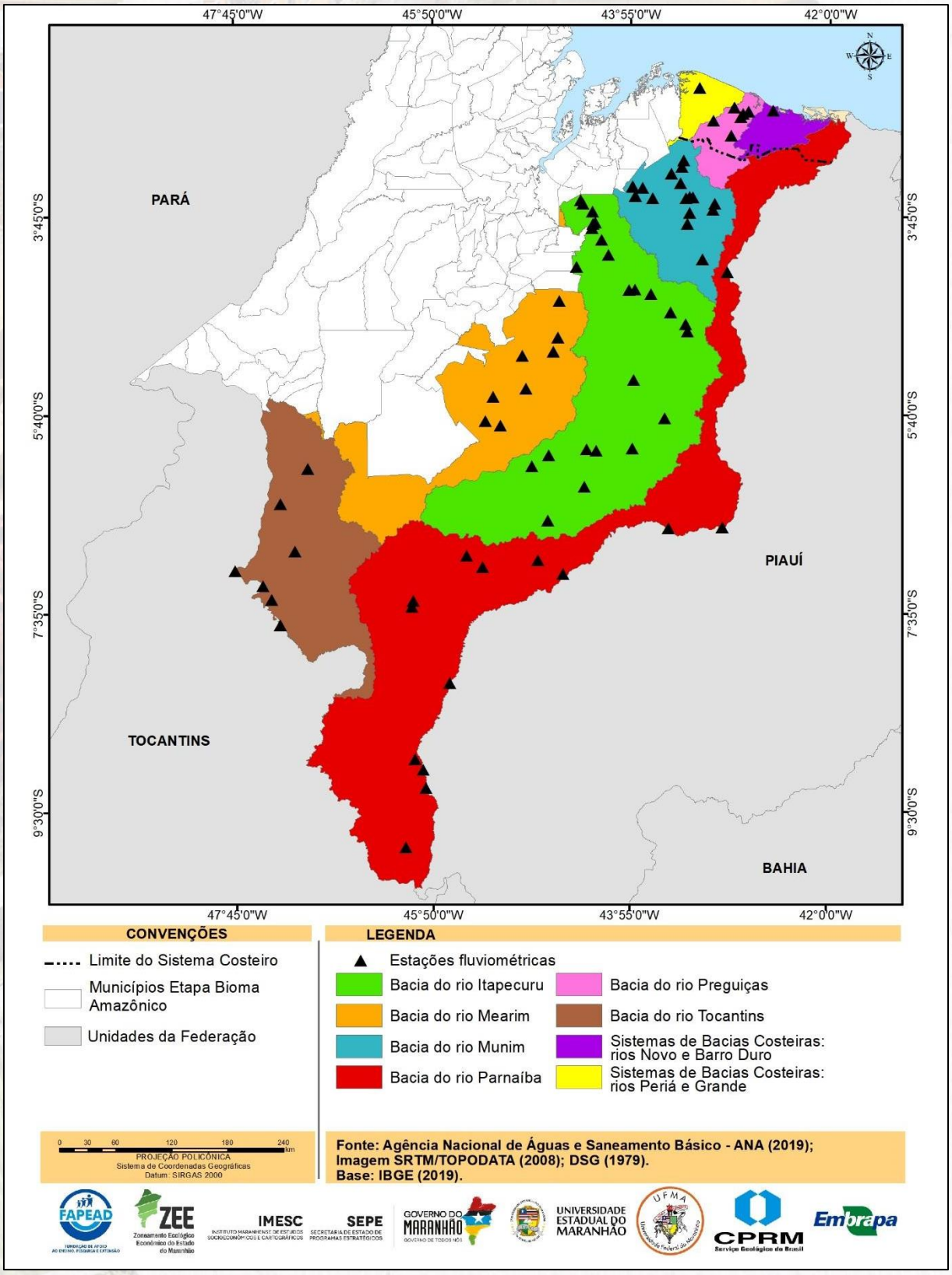
Parâmetro	Método de Referência	Resolução / Precisão Relativa	CONAMA 357/2005 Classe 1
pH	Sonda HORIBA U-50	0,01 pH / ±0,1 pH	6,0 a 9,0 pH
Potencial de Oxirredução (ORP)	Sonda HORIBA U-50	1 mV / ±15 mV	*não é especificado nesta resolução
Condutividade	Sonda HORIBA U-50	0,000 a 99,9 mS cm^{-1} / ± 1%	*não é especificado nesta resolução
Salinidade	Sonda HORIBA U-50	0,1 g kg^{-1} / ± 3 g kg^{-1}	≤ 0,5 g kg^{-1}
Temperatura	Sonda HORIBA U-50	0,01 °C / ± 0,10 °C	*não é especificado nesta resolução
Totais de Sólidos Dissolvidos – TDS	Sonda HORIBA U-50	0,1% / ±5 g L^{-1}	Máx. 500 mg L^{-1}
Turbidez	Sonda HORIBA U-50	0 a 99,9 NTU / ±5% NTU	até 40 NTU
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método de Winkler (1888), descrito em Strickland ; Parsons (1972)	O método apresenta precisão de ± 0,02 cm^3 dm^{-3} para teores de 2 cm^3 dm^{-3}; e precisão de ± 0,04 cm^3 dm^{-3} para teores superiores.	≥ 6,0 mg L^{-1}
Totais de Sólidos em Suspensão – TSS	Metodologias descritas em Strickland ; Parsons (1968) e APHA (2001)	0,1 mg L^{-1}	*não é especificado nesta resolução
Fosfato	SMEWW 4500-P B 23ª edição	0,1 mg L^{-1}	Máx. 0,1 mg L^{-1} P
Silicato	SMEWW 3030E 22ª edição	0,01 mg L^{-1}	*não é especificado nesta resolução
Nitrito	SMEWW 4500 NO_2 B 23ª edição	0,001 mg L^{-1}	Máx. 1,0 mg L^{-1} N
Nitrato	SMEWW 4500-NO_3 B 23ª edição	0,10 mg L^{-1}	Máx. 10,0 mg L^{-1} N
Nitrogênio Amoniacal	SMEWW - 4500 NH_3 - F 23ª edição	0,0010 mg L^{-1}	Máx.: 3,7 mg L^{-1} N (pH = 7,5); 2,0 mg L^{-1} N (pH 7,5 a 8,0); 1,0 mg L^{-1} N (pH 8,0 a 8,5); 0,5 mg L^{-1} N (pH > 8,5)
Clorofila-α	Clorofila: IT 06-07.198	10 µg L^{-1}	Máx. 10 µg L^{-1}

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

2.2.3 Rede Hidrometeorológica Nacional

Nesta seção, serão apresentados os procedimentos referentes ao levantamento dos dados das 84 estações fluviométricas distribuídas no BCSC, no Estado do Maranhão (Figura 4). Estas estações integram a rede fluviométrica da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela ANA.

Figura 4 - Distribuição das estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão



O Quadro 4 apresenta a distribuição das estações fluviométricas da ANA nas bacias hidrográficas do BCSC. Os dados foram obtidos por meio de *downloads* do banco das estações fluviométricas na plataforma HIDROWEB (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas). Em seguida, o banco de dados foi tabulado e sistematizado no Microsoft Excel.

Quadro 4 – Estações fluviométricas situadas nas bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão

Bacia Hidrográfica	Estações Fluviométricas	Rios contemplados
Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande	33820000	Rio Grande
Rio Preguiças	33711500; 33700001; 33711000; 33712000 33708000; 33710000; 33700000	Riacho Achui; Igarapé da Preguiça; Rio Preguiças
Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro	33717000	Paulino Neves
Rio Itapecuru	33630500; 33450000; 33680001; 33680000; 33550000; 33590000; 33480000; 33630000; 33620000; 33430000; 33685000; 33520000; 33420000; 33530000; 33490000; 33638000; 33661000; 33460000; 33410000	Rio Alpercatas; Rio Andiroba; Rio Balseiros; Rio Codozinho; Rio Correntes; Rio Itapecuru; Rio Pirapemas; Rio Peritoró
Rio Mearim	33271000; 33250000; 33222000; 33270000 33273000; 33212000; 33281000; 33215000 33260000; 33214000	Rio Flores; Rio Mearim; Rio Ourives; Rio Flores; Ribeirão Papagaio; Rio Mearim; Rio Corda Ou Capim; Ribeirão Pau Grosso
Rio Munim	33720001; 33740000; 33750000; 33743000 33742000; 33750001; 33720000; 33770000 33747000; 33748000; 33742500; 33730000 33765000; 33765001; 33780000; 33780001 33760000; 33788000; 33790001; 33790000 33770001; 33730001	Rio Munim; Rio Preto; Riacho Riachão; Rio Iguará; Riacho Bom Sossego; Rio Mocambo; Rio Iguará
Rio Parnaíba	34020000; 34130000; 34142000; 34311000 34202000; 34820000; 34820001; 34040500 34010000; 34140000; 34030000; 34145000 34001000; 34160000; 34988000; 34170000 34219080	Rio Parnaíba; Rio das Balsas; Rio Pequeno; Rio Maravilha; Rio Medonho; Rio Neves; Rio Parnaibinha; Rio Buriti
Rio Tocantins	23718000; 23250001; 23250000 23650000; 23251000; 23610000 23310000; 23466000	Rio Tocantins; Rio Manoel Alves Grande; Rio Lajeado; Rio Itapecuru; Rio Itaueiras; Rio Farinha

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

2.3 Hidrologia

A demanda hídrica compreende o volume de água destinado a suprir diversas finalidades, e são classificadas de acordo com seu uso como: usos consuntivos ou usos não consuntivos. Os usos consuntivos são, em geral: abastecimento urbano e rural, pecuária, irrigação e a indústria. Os usos não consuntivos não constituem consumo e estão relacionados à geração de energia, turismo, recreação, preservação da fauna e flora, entre outros. A demanda hídrica do Estado do Maranhão é de

aproximadamente 1,5 trilhão de m³ por ano, sendo que a maior demanda está destinada à irrigação, seguida pelo abastecimento urbano. As bacias hidrográficas do Maranhão drenam em torno de 202.203,50 km², correspondendo a 60,90% da área do Estado. Parte da vazão retirada de água para atender aos usos múltiplos deve permanecer no leito com o intuito de preservar o ecossistema local e garantir condições estabelecidas, manter as condições existentes antes da intervenção antrópica, de forma a abrandar os impactos das intervenções. Esta parcela da vazão é denominada vazão residual, remanescente, ambiental ou ecológica (UEMA, 2016).

A disponibilidade hídrica de cada bacia hidrográfica no Estado do Maranhão corresponde às parcelas da água disponíveis para uso. As maiores parcelas da água correspondendo às bacias pertencentes ao Bioma Cerrado e Sistema Costeiro estão presentes nas bacias hidrográficas de domínio federal, sendo as primeiras, a bacia do Rio Tocantins (2.412hm³/ano) e bacia do Rio Parnaíba (1.475hm³/ano), seguida pelas bacias hidrográficas estaduais, a bacia do Rio Itapecuru (1.112,55hm³/ano), bacia do Rio Mearim (665,21hm³/ano), bacia do Rio Munim (269,80hm³/ano) e por último a bacia do Rio Preguiças (131,22hm³/ano) (MARANHÃO, 2009).

2.3.1 Dados e Pré-processamento dos Dados de Vazão do Rios do BCSC

As séries temporais mensais dos dados históricos de vazão disponibilizadas pela ANA, via plataformas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e do Sistema de Informações Hidrológicas O*n-line* (Hidroweb), foram obtidas, pré-processadas e tratadas estatisticamente. As médias mensais de vazões foram obtidas das 44 estações fluviométricas (Quadro 5) localizadas no BCSC, distribuídas nas bacias hidrográficas federais e estaduais, a saber: Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (15), apresentando a maior quantidade de estações, seguida da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (11), Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (7), Bacia Hidrográfica do Rio Munim (6), Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (4) e Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças (1).

Além de distintas coberturas temporais (Quadro 5), a maioria das séries temporais brutas obtidas das 44 estações fluviométricas localizadas no BCSC apresentaram lacunas nos dados medidos. Por isso, foi necessário o pré-processamento dos dados, a fim de tornar as séries de vazões contínuas e com equivalência no tempo entre as estações. Após a obtenção dos dados, foi realizado um tratamento para rastreamento automático das lacunas de dados (gaps) existentes em cada uma das 44 séries temporais. Uma vez encontradas as lacunas nos dados, foram criadas as linhas referentes aos anos e meses dos dados faltantes e estes preenchidos com um valor numérico indefinido (no caso, NaN, acrônimo em inglês para Not a Number). Com isso, todas as séries temporais de vazão passaram a ser

contínuas e temporalmente equivalentes, compreendendo o período total de janeiro de 1963 a maio de 2021 (58,5 anos). Para que o rastreio das lacunas de tempo dos dados pudesse ser feito de uma maneira automática, evitando erros normalmente comuns no tratamento manual de dados, foi criada uma rotina de execução em Shell (um interpretador de comandos do ambiente Linux) que foi rodada no terminal do Linux como ./submete_fillgaps_vazoes_INMET.csh. A palavra destacada na rotina (isto é, VARVAZOES), funciona como um contador para a variação (loop) entre os códigos das 44 estações fluviométricas utilizadas.

Quadro 5 – Estações fluviométricas (com dados de vazão) da ANA localizadas nas bacias hidrográficas pertencentes ao BCSC

Bacias Hidrográficas	Código da Estação	Localidade	Longitude (°)	Latitudes (°)	Série Temporal
Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins	23250000	Goiatins	47,3117°W	7,7078°S	1971 - 2020
	23251000	Rio Itapecuru	47,3922°W	7,4619°S	2005 - 2020
	23610000	Rio Itaueiras	47,3036°W	6,5353°S	2004 - 2021
	23650000	Lajeado Novo	47,0411°W	6,1958°S	1999 - 2021
Bacia Hidrográfica do Rio Mearim	33215000	Rio Corda II	45,3183°W	5,735°S	1981 - 2021
	33222000	Fazenda Ourives	45,1736°W	5,7794°S	2004 - 2019
	33250000	Barra do Corda	45,2436°W	5,5006°S	1964 - 2021
	33260000	Santa Vitória	44,9614°W	5,1019°S	1972 - 2021
	33270000	Flores	44,9278°W	5,4194°S	1972 - 2018
	33273000	Joselândia	44,6181°W	4,9253°S	2000 - 2021
	33281000	Pedreiras II	44,6056°W	4,5703°S	1978 - 2021
Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru	33410000	São Felinho	44,7167°W	6,700°S	1999 - 2021
	33420000	Mirador	44,3603°W	6,3708°S	1968 - 2021
	33430000	Fernando Falcão	44,8689°W	6,1700°S	2000 - 2021
	33450000	Campo Largo	44,7083°W	6,0669°S	1972 - 2020
	33460000	Porto do Lopes	44,3400°W	6,0072°S	1970 - 2020
	33480000	Colinas	44,2486°W	6,0208°S	1968 - 2021
	33490000	Nazaré	43,9000°W	6,0000°S	1999 - 2021
	33520000	Mendes	43,5861°W	5,7061°S	1972 - 2021
	33530000	Montevidéu	43,8844°W	5,3372°S	1975 - 2021
	33550000	Caxias	43,3675°W	4,865°S	1963 - 2021
	33590000	Codó	43,875°W	4,4583°S	1968 - 2021
	33620000	Fazenda Sobral	43,9333°W	4,4653°S	1972 - 2021
	33630000	Coroatá	44,1297°W	4,1258°S	1975 - 2021
	33661000	Peritoró II	44,2872°W	3,7064°S	1984 - 2021
	33680000	Cantanhede	44,3792°W	3,6278°S	1968 - 2021
Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças	33700000	Morro Alto	42,9467°W	2,9686°S	1999 - 2021
Bacia Hidrográfica do Rio Munim	33720000	Fazenda Capueira	43,2239°W	4,1669°S	2003 - 2021
	33730000	Munim	43,7028°W	3,5775°S	1972 - 2021
	33750000	Bonsucesso	43,3169°W	3,5678°S	1999 - 2021
	33760000	São Benedito	43,5250°W	3,3347°S	1975 - 2021
	33770000	Iguará	43,8736°W	3,5536°S	1972 - 2021
	33780000	Nina Rodrigues	43,8989°W	3,4594°S	1968 - 2021
Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba	34010000	Fazenda União	45,9019°W	9,2900°S	2012 - 2020
	34020000	Alto Parnaíba	45,9261°W	9,1131°S	1966 - 2021

Bacias Hidrográficas	Código da Estação	Localidade	Longitude (°)	Latitudes (°)	Série Temporal
Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba	34030000	Medonho	46,0058°W	9,0083°S	2000 - 2021
	34040500	Fazenda Paracati II	45,6683°W	8,2708°S	1996 - 2021
	34130000	Balsas	46,0358°W	7,5344°S	1973 - 2021
	34140000	Maravilha Br-230	46,0219°W	7,4742°S	1999 - 2021
	34145000	Neves Br-230	45,5008°W	7,0372°S	2000 - 2021
	34160000	Sambaíba	45,3489°W	7,1489°S	2004 - 2021
	34170000	São Felix De Balsas	44,8139°W	7,0819°S	1973 - 2021
	34311000	Barão De Grajaú	43,0278°W	6,7614°S	1983 - 2021
	34820000	Coelho Neto	42,9856°W	4,2881°S	1999 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

2.3.2 Climatologia e Espacialização das Vazões no Domínio das Bacias Hidrográficas

Após o pré-processamento dos dados de vazão média mensal, foram calculadas as médias temporais para cada uma das 44 estações fluviométricas do BCSC. Para cada bacia hidrográfica, foram calculadas as médias mensais (janeiro a dezembro) de cada estação fluviométrica, considerando todo o período existente da série temporal histórica (Quadro 5). Os valores médios (janeiro a dezembro) calculados para cada ponto das estações fluviométricas foram então espacializados para o domínio da bacia hidrográfica a qual pertencem. A espacialização dos dados de vazões foi feita por bacia hidrográfica, utilizando-se do método da ponderação pelo inverso da distância (*Inverse Distance Weighting – IDW*) (SHEPARD, 1968), disponibilizado no software QGIS 3.18.2 (Apêndice 1). A interpolação é uma ferramenta que utiliza os pontos vetoriais de dados existentes para ponderar o valor de uma variável em locais não amostrados de uma mesma região. Na interpolação IDW, a partir de um ponto conhecido em que a variável está sendo calculada, ocorrerá a estimativa de pesos ponderados a cada um dos valores mais próximos deste ponto. De modo que o peso de cada valor seja função inversa da distância, ou seja, a influência da ponderação declina à medida que a distância a partir de pontos desconhecidos aumenta, e maior será o peso quanto mais próximo do ponto conhecido.

Os arquivos de entrada para o tratamento estatístico dos dados de vazão constituíram-se de vetores (cujas linhas representam o número de estações fluviométricas ou pontos de medição) contendo três colunas, as coordenadas (latitude e longitude) e o valor da vazão média mensal em cada estação. Ou seja, primeiramente foi feita a estatística dos dados de vazão e, então, a espacialização deles. Após a espacialização dos dados de vazão mensal para o domínio das bacias, foi aplicada uma máscara de continente constituída de um polígono vazado na rede hidrográfica. Foram então construídos compostos climáticos para os meses que compõem o período chuvoso (janeiro, fevereiro, março, abril e maio) e o período seco (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) do BCSC.

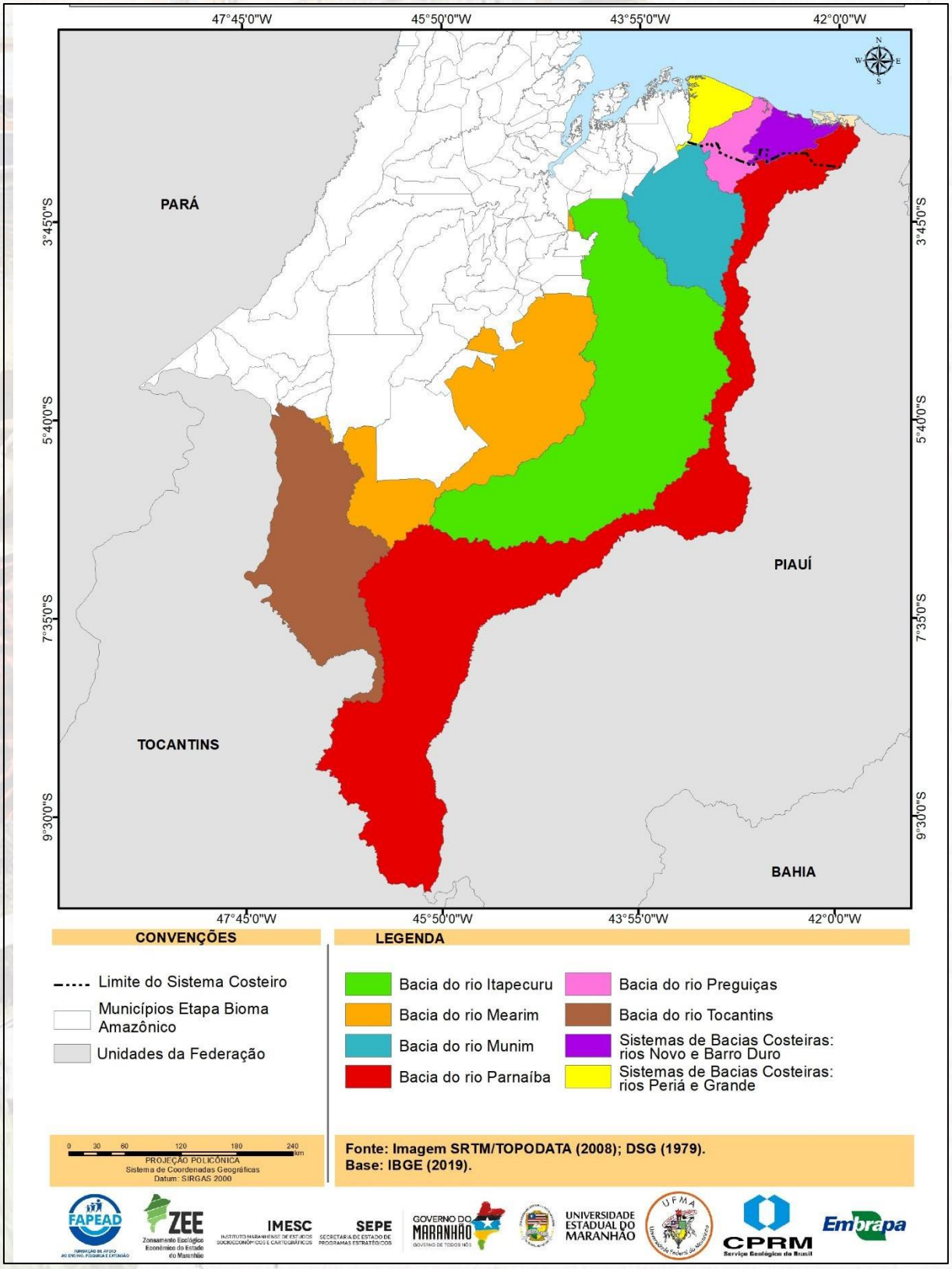
2.3.3 Correlação dos Dados de Vazão com o Fenômeno El Niño-Oscilação Sul

A fim de analisar possíveis correlações existentes entre as vazões dos rios pertencentes ao BCSC e o principal modo de variabilidade global na escala interanual (i.e., o El Niño-Oscilação Sul - ENOS) foi calculado um índice climático para as vazões a partir das séries temporais de anomalias mensais médias para cada bacia (Rio Preguiças, Rio Itapecuru, Rio Munim, Rio Mearim, Rio Tocantins e Rio Parnaíba), separadamente. Para a obtenção das anomalias mensais de vazão, foram calculadas as médias mensais para cada ano separadamente e as médias mensais totais, ou seja, considerando todo o período analisado (1963 a 2021, de acordo com o período de cada bacia). Por exemplo, a partir da média mensal para cada ano (Ex. dezembro de 1972) foi subtraída a média total deste mês, obtendo-se assim a anomalia média mensal para dezembro. O Índice Oceânico do Niño (ION) foi obtido das anomalias trimestrais médias de TSM em cada região do Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4), calculadas a partir do conjunto de dados do NOAA e do HadISST, compreendendo os anos de 1963 a 2021, disponível em http:// https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/.

3 RESULTADOS

As bacias hidrográficas que compõem o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro são apresentadas na Figura 5. Os resultados mostrados a seguir são avaliados por bacia hidrográfica, cada uma trazendo informações sobre a hidrografia, a qualidade das águas e o regime fluvial.

Figura 5 – Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA.



3.1 Sistemas de bacias costeiras: Rios Periá e Grande

3.1.1 Hidrografia

As bacias dos rios Periá e Grande foram agrupadas num dos sistemas de bacias costeiras presentes no BCSC. Esses sistemas compreendem uma área de 3.075 km^2, equivalente à 1,6% do território da bacia. Ao todo, a rede hidrográfica possui 172 trechos de drenagem com 789,8 km de cursos d'água (Figura 6), destacando-se como os rios de maior extensão, Negro (55,9 km), Marciano (53,5 km) e Grande (35,9 km). A maior parte dos cursos d'água desses sistemas, deságuam na unidade de conservação integral do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, e o Rio Grande deságua no Lago do Santo Amaro.

Destaca-se no baixo curso dos sistemas, duas grandes massas d'água, constituídas de um sistema de vários lagos − como os lagos de Santo Amaro e o da Travosa − demarcando grande zona inundável. Outro aspecto peculiar, corresponde às drenagens que deságuam na área limítrofe ao Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Os cursos d'água por vezes desaparecem na paisagem e ressurgem nas praias, conforme observado em campo. Essa configuração da rede de drenagem mostra o arranjo e desarranjo dos cursos d'água e das lagoas interdunares, provocados pela dinâmica do complexo de dunas, que envolve a ação dos ventos, as características litológicas e a sazonalidade. Contudo, com base na escala de mapeamento adotada neste estudo e na qualidade das imagens de satélite da área, não foi possível mapear o complexo de lagoas, bem como distinguir os cursos d'água escoando na praia.

Os dados morfométricos mostram que os sistemas de bacias têm baixa densidade de drenagem (0,3km/km^2) e densidade hidrográfica ou frequência de canais (0,06 Nc/km^2). Ressalta-se que a área correspondente às dunas e lagoas do parque foram consideradas no cálculo desses parâmetros, fato que pode influenciar os baixos índices. Contudo, há que se considerar as características litológicas regionais, cujo substrato preferencialmente composto de sedimentos arenosos inconsolidados, topografia suave (0 a 109m) (Figura 7) e baixa declividade (0 a 24,3^0) (Figura 8) tem influência na manutenção do escoamento superficial, principalmente no período seco (julho a novembro). Outro aspecto característico da configuração da rede de drenagem corresponde ao controle estrutural presente na área de estudo. O padrão retilíneo dos cursos d'água, por vezes formando ângulos de 90^0, e o paralelismo dos rios principais, evidenciam a presença de estruturas geológicas (falhas) que influenciam no padrão da rede de drenagem.

Nessas bacias, não há estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas para a análise do regime fluvial.

Figura 6 – Mapa da rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande

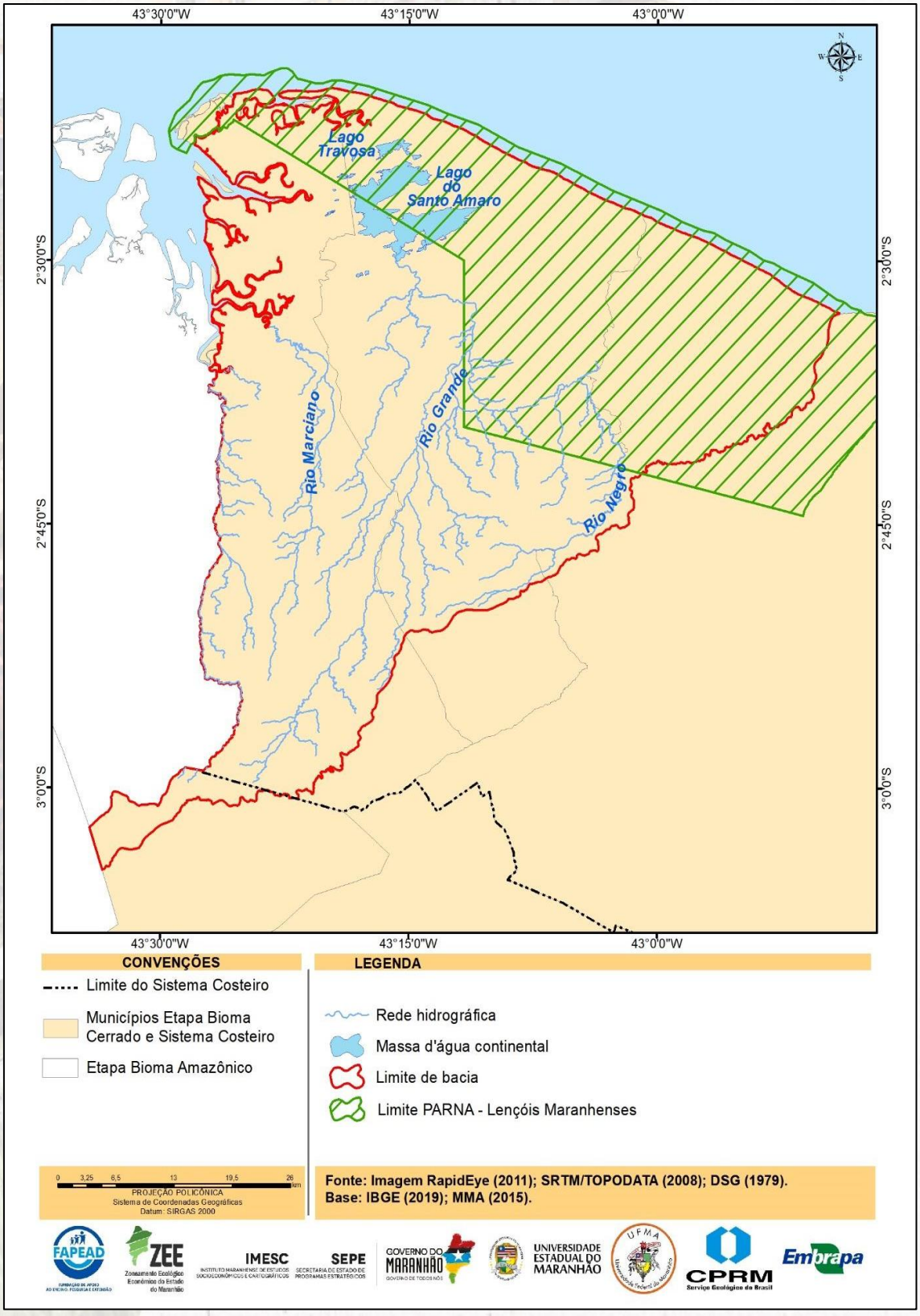


Figura 7 – Hipsometria dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Periá e Grande – MA.

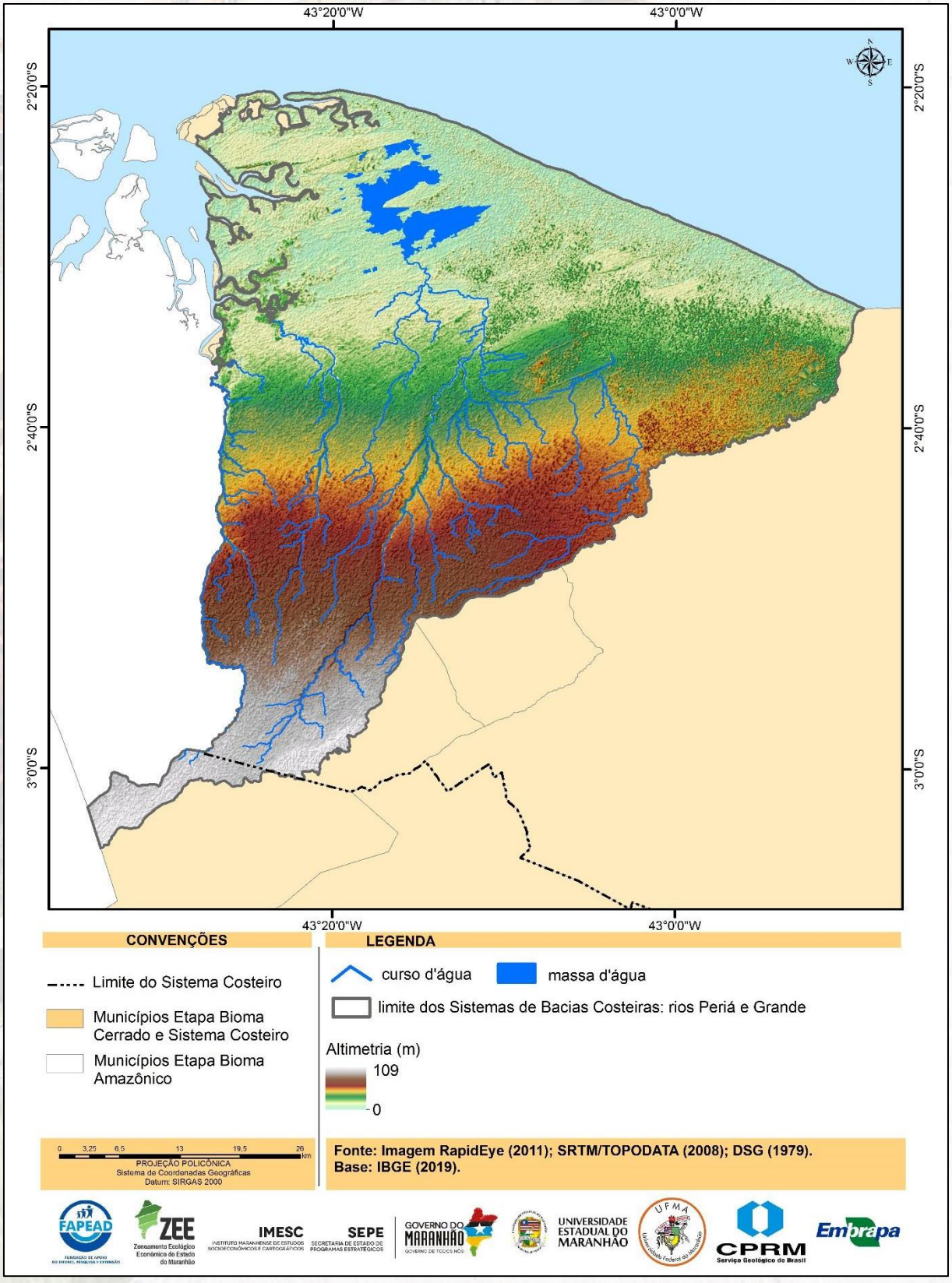
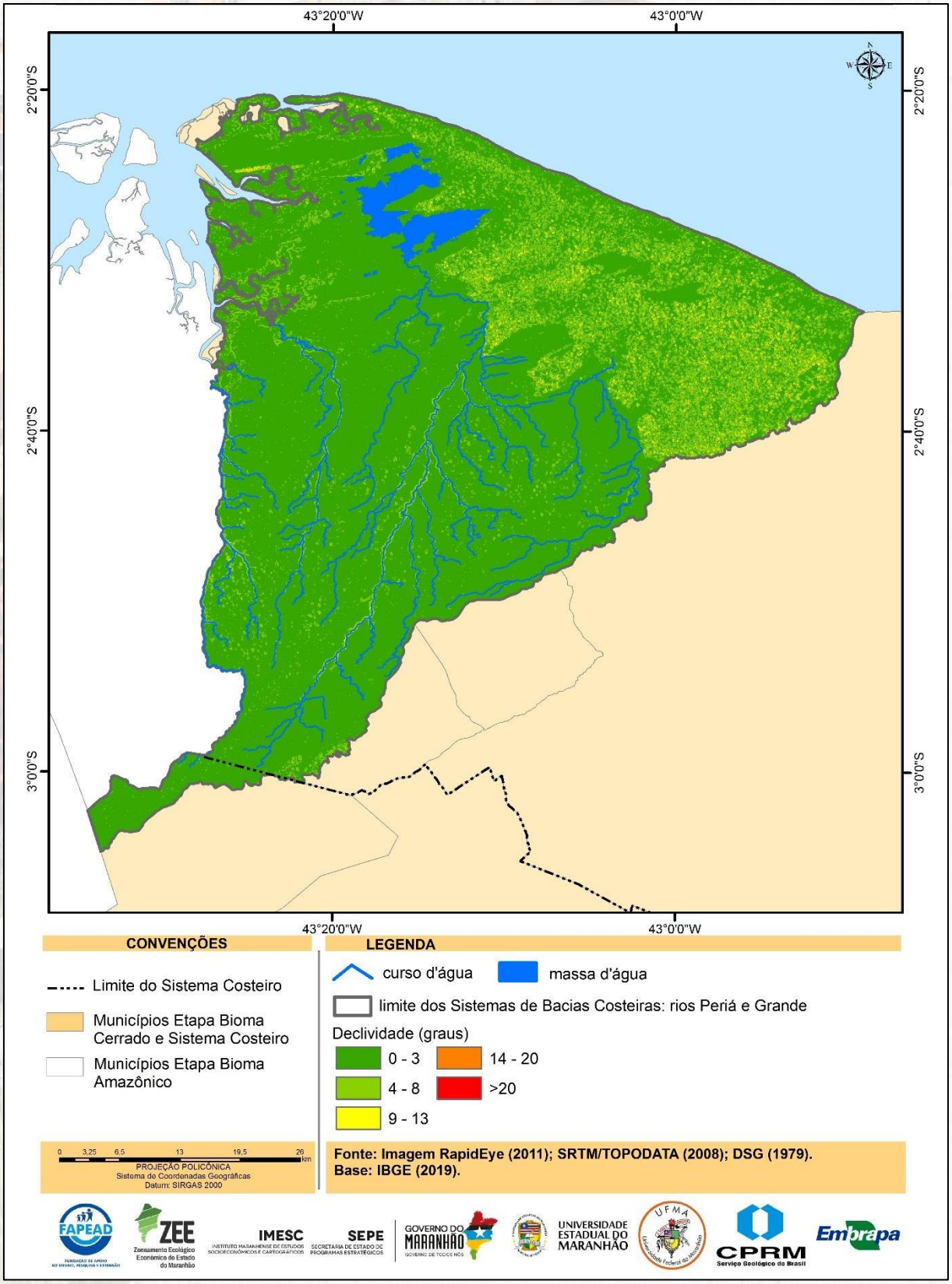


Figura 8 – Declividade dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Periá e Grande – MA



3.1.2 Qualidade de Águas

No sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande existe apenas uma estação de monitoramento da qualidade de água da RHN. Os resultados sugerem que as características dos recursos hídricos, quanto aos parâmetros temperatura da água, pH, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade específica, apresentam condições satisfatórias e esperada para rios tropicais.

Entre os resultados, destaca-se os valores obtidos para o oxigênio dissolvido (7,23±0,78mg L^{-1}) que apresentaram concentrações com baixa variação e com saturação propícia à manutenção da vida aquática em aerobiose. Os resultados também sugerem baixa carga de matéria orgânica nos rios da região. A turbidez indicou os menores resultados para todo o bioma Cerrado, qualificando a zona monitorada como de águas límpidas. A variável pH demonstrou que elas possuem características ácidas, provavelmente em função da decomposição de ácidos húmicos e fúlvicos no ambiente fluvial (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados de qualidade de água da estação de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras do Periá e Grande, Bioma Cerrado do estado do Maranhão

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	OD (%)	Cond. Espec.
33820000	28,69 ±2,56	5,59 ±1,52	2,22 ±1,32	7,23 ±0,78	-	52,99 ±7,58

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE - Condutividade Elétrica.
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A coleta de água superficial para análise de parâmetros físicos e químicos foi realizada em 4 pontos desta bacia hidrográfica, nos municípios de Humberto de Campos e Santo Amaro (Figuras 9 e 10). O ponto 1 foi coletado próximo ao povoado da região, conhecido por populares como Povoado de Bacabeira, apresenta baixa infraestrutura e vegetação ciliar preservada. Já os pontos 2 e 3, conhecidos por populares como Rio Marciano e Rio Alegre, respectivamente, localizam-se em áreas cortadas pela MA-402 e possuem trechos meândricos de rio e vegetação preservada.

O ponto 4, baixo curso do Rio Alegre, teve água coletada na proximidade da sede de Santo Amaro, tem margens parcialmente ocupadas em alguns trechos por residências, pousadas e restaurantes e apresenta vegetação preservada em ambos os lados.

Figura 9 – Pontos de coleta dos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá e Grande

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá e Grande se encontram nas Tabelas 3 e 4.

No geral, os resultados obtidos neste sistema hidrográfico ficaram dentro do que preconiza a legislação brasileira. No entanto, algumas variáveis mostraram valores que merecem destaque, tal como a condutividade elétrica (CE) no Rio Periá (P01), que foi um pouco elevada, nos meses de abril e maio indicando contribuição de íons inorgânicos dissolvidos nessas águas. A condutividade elétrica é a capacidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons, que são partículas carregadas eletricamente, por isso quanto maior a quantidade de íons dissolvidos na água, maior será a condutividade elétrica (CALAZANS, 2011).

A turbidez apresentou concentrações acima de 40 NTU, nos rios que compõem este Sistema de Bacias, para ambos os meses estudados, estando além do que estabelece a resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005), exceto no alto curso do Rio Grande, onde este valor foi menor. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

Figura 10 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande

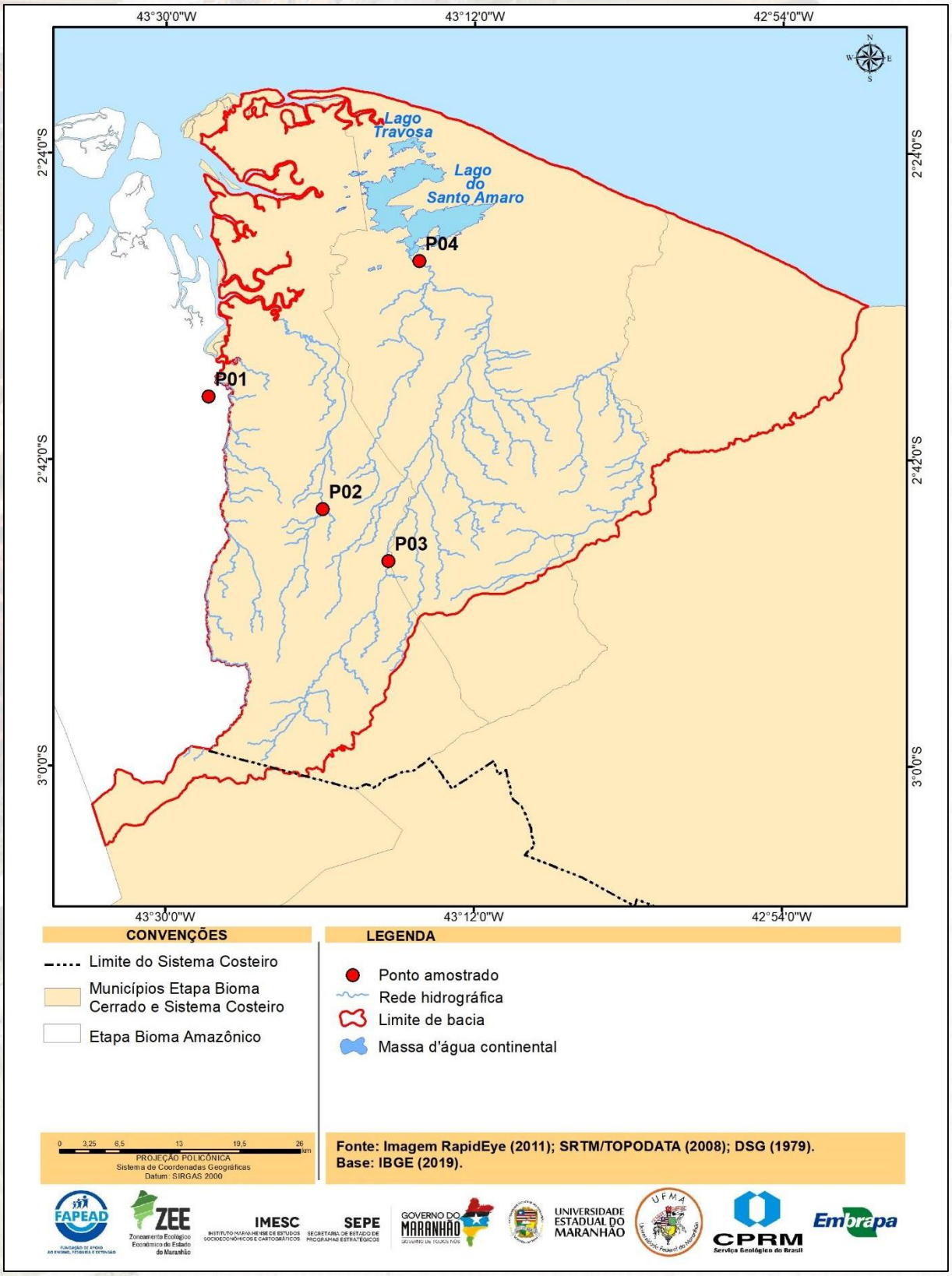


Tabela 3 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande (abril/2021)

Bacia Hidrográfica		**Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande**			
Ponto de Coleta		**P01**	**P02**	**P03**	**P04**
Local de Coleta		**Rio Periá - Humberto de Campos**	**Rio Mapari - MA 402**	**Rio Grande - Alto Curso - MA 402**	**Rio Grande - Baixo Curso - Santo Amaro**
Data da Coleta		25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021
Horário de Coleta		6:55	8:05	8:45	9:57
Temperatura	(°C)	26,09	25,95	26,68	28,21
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	280,00	16,00	32,00	2,00
TDS	(mg L^{-1})	182	9	20	1
Turbidez	(NTU)	119,00	155,00	11,10	126,00
pH		4,65	4,79	5,16	3,11
ORP	(mV)	149	153	159	241
OD	(mg L^{-1})	6,88	6,41	6,88	5,33
OD	(%)	86,62	79,28	72,86	68,84
TSS	(mg L^{-1})	31,14	0,67	0,43	1,89
Fosfato	(mg L^{-1})	2,67	2,96	1,53	0,78
Silicato	(mg L^{-1})	31,10	34,20	25,80	23,50
Nitrato	(mg L^{-1})	0,12	0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,50	< 0,001	< 0,001	1,20
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O pH também ficou abaixo do que recomenda a resolução brasileira, em todos os pontos de coleta e nos meses estudados, caracterizando as águas dessas bacias como ácidas, típicas de ambientes fluviais mais restritos, com grande carga de material orgânico, tal como restos de folhagens e vegetação aquática.

O oxigênio dissolvido (OD) no ponto 4 da coleta do mês de abril, e em todos os pontos de coleta no mês de maio, obtiveram valores abaixo de 6,0 mg L^{-1}, ficando abaixo do que recomenda a legislação brasileira, com valores de concentração em maio abaixo de 4,0 mg L^{-1} nos rios Periá e Mapari. Os níveis de OD ≤ 4 mg L^{-1}, em águas naturais, favorecem os processos anaeróbicos, que produzem grande quantidade de substâncias redutoras, que consomem grande quantidade de oxigênio disponível para a sua oxidação (Esteves, 2011). Os valores de OD% mostram que, para ambas as campanhas, houve maior consumo do que produção deste gás nas águas destes rios, com grande demanda de consumo

de OD no mês de maio, indicando valores que podem comprometer a vida dos organismos aquáticos (Valores de OD% < 50%).

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande (maio/2021).

Bacia Hidrográfica		**Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande**			
Ponto de Coleta		**P01**	**P02**	**P03**	**P04**
Local de Coleta		**Rio Periá - Humberto de Campos**	**Rio Mapari - MA 402**	**Rio Grande - Alto Curso - MA 402**	**Rio Grande - Baixo Curso - Santo Amaro**
Data da Coleta		24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021
Horário de Coleta		07:05	08:19	09:17	10:29
Temperatura	(°C)	27,85	26,58	26,59	29,16
Salinidade	(g kg^{-1})	0,03	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	680	0,01	32	46
TDS	(mg L^{-1})	435	7	21	30
Turbidez	(NTU)	15,2	119	1,1	1,8
pH		5,89	3,88	5,07	5,09
ORP	(mV)	94	274	217	230
OD	(mg L^{-1})	2,58	3,17	4,09	4,94
OD	(%)	32,74	39,49	50,96	64,35
TSS	(mg L^{-1})	15,25	0,78	1,22	1,78
Fosfato	(mg L^{-1})	3,39	3,09	2,31	4,63
Silicato	(mg L^{-1})	23,90	18,20	20,70	18,70
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,40	2,10	1,90	2,80
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O total de sólidos suspensos (TSS) na água foi maior no Rio Periá, sobretudo no mês de abril, indicando importante transporte de sedimento por este rio, o que é de se esperar, considerando que os períodos de coleta correspondem a estação de chuvas locais, no qual aumenta a carga suspensa dos rios, pela erosão das rochas e lixiviação das margens e encostas.

O fosfato se manteve com concentrações elevadas em todos os pontos de coleta, para ambos os meses de estudo, com maiores valores no mês de maio. O silicato apresentou maiores concentrações nos rios Periá e Mapari, no mês de abril (Tabela 3), e embora tenha diminuído um pouco a sua

concentração no mês de maio (Tabela 4), ainda mostrou valores altos. As altas concentrações desses nutrientes podem estar relacionadas ao período de chuva, no qual há maior entrada natural por lixiviação de rochas, mas também pode indicar a contribuição antrópica nestes rios, pela entrada de esgoto doméstico.

3.2 Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças

3.2.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Preguiças representa aproximadamente 2,1% do BCSC e situa-se ao nordeste da área, entre os sistemas costeiros das bacias dos rios Periá e Grande e das bacias dos Rios Novo e Barro Duro. A Bacia do Rio Preguiças abrange uma área de 3.957,8 km², e ao todo, a rede hidrográfica compreende 319 trechos de drenagem e ainda 1.595,3 km de cursos d'água (Figura 11), destacando-se os rios de maior extensão: Preguiças (139,4 km), Palmira (58 km) e Cocal (51,3 km).

O Rio Preguiças apresenta grande porte e faz parte de um complexo sistema de drenagem. No alto curso, esse sistema se caracteriza com padrão de drenagem dendrítico, assemelhando-se aos galhos de uma árvore, com distribuição de tributários em ângulos variados. Regionalmente, a configuração da rede de drenagem tem influência das formas de relevo, assim como do arcabouço geológico. Nas cabeceiras do curso, a drenagem entremeia os Tabuleiros Pré-litorâneos (GASTÃO, 2010), formas de relevo tabulares típicas da região que parecem contribuir para que a rede siga esse padrão.

No médio curso, a drenagem assume um padrão paralelo, caracterizado por ângulos de confluência bem agudos entre segmentos subparalelos entre si (Rio Cocal) e; retangular, caracterizado por inflexões ortogonais tanto no rio principal como nos tributários. Esses padrões da bacia são caracterizados por rios retilíneos, com morfologia de direção NE-SW, associados ao forte controle estrutural dos lineamentos. Na porção do alto, médio e na transição para o baixo curso, predominam as paleodunas, dunas inativas formadas em condições pretéritas que se organizam de forma linear e geralmente são vegetadas.

No baixo curso da bacia do Preguiças há o alargamento do canal principal, onde o rio assume o padrão meandrante. Destaca-se a presença de feições fluviais como ilhas, barras de areia e meandros abandonados, formando lagoas marginais. Na cidade de Barreirinhas, destaca-se a formação de uma duna na margem direita do rio, representando pontualmente a associação de processos de acumulação fluvial e eólicos que se estendem regionalmente, configurando os campos de dunas. No baixo curso,

ainda se estende uma grande área inundável, com a conexão dos grandes meandros do rio principal com os meandros de seus afluentes, os rios Mamorana e Bosques. No pico da estação chuvosa (meses de março e abril), as planícies de inundação dessa área extravasam e se interligam a estes conjuntos de meandros, aumentando significativamente as áreas alagadiças.

Assim como nos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá, Grande, Novo e Barro Duro, essa configuração da rede de drenagem mostra o arranjo e desarranjo dos cursos d'água e das lagoas marginais, controlada pela sazonalidade, dinâmica eólica e características litológicas. Em virtude da peculiaridade desses ambientes, evidencia-se a necessidade de melhor compreensão dos processos fluviais e eólicos e seus possíveis reflexos na configuração da rede de drenagem, para a proposição de ações de proteção das águas que deságuam nesta porção do litoral maranhense.

Os dados morfométricos mostram que a Bacia do Rio Preguiças tem baixa densidade de drenagem (0,4km/km^2) e densidade hidrográfica (0,08 Nc/km^2), condições análogas às características descritas para os Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá e Grande. A altimetria da bacia (Figura 12) varia de 0 a 119m, evidenciando uma topografia suave, com baixo desnível topográfico. Podem ser observadas diferenças entre o alto e médio curso em relação ao baixo curso. No alto e médio curso da bacia, há as porções mais elevadas, onde se distinguem os Tabuleiros Pré-litorâneos. No baixo curso predominam as altitudes de 0 a 50m, onde se distinguem as paleodunas e dunas móveis. A declividade mostrou-se baixa, variando de 0 a 21^0 (Figura 13).

Figura 11 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Preguiças

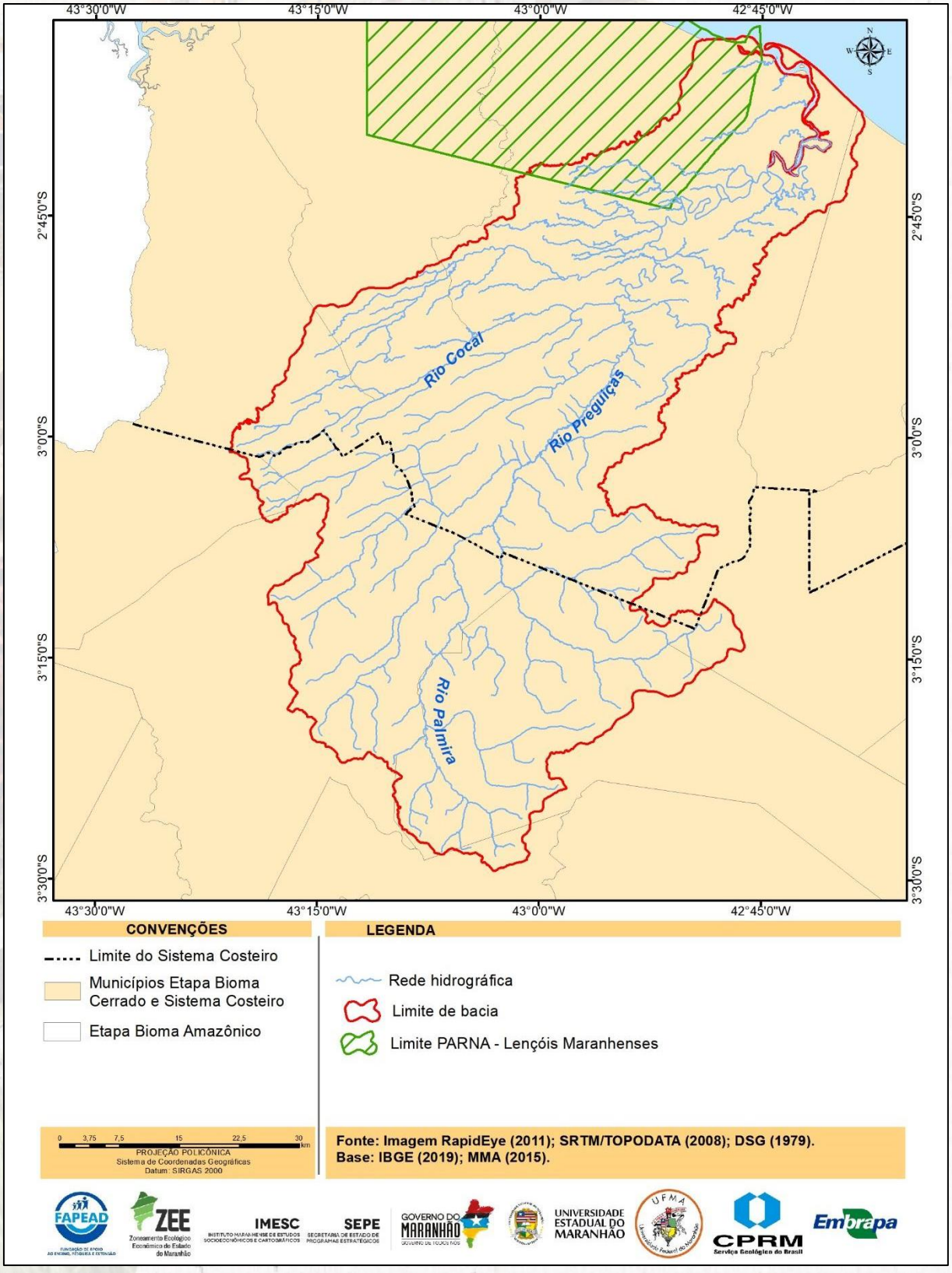


Figura 12 – Hipsometria da Bacia do Rio Preguiças – MA

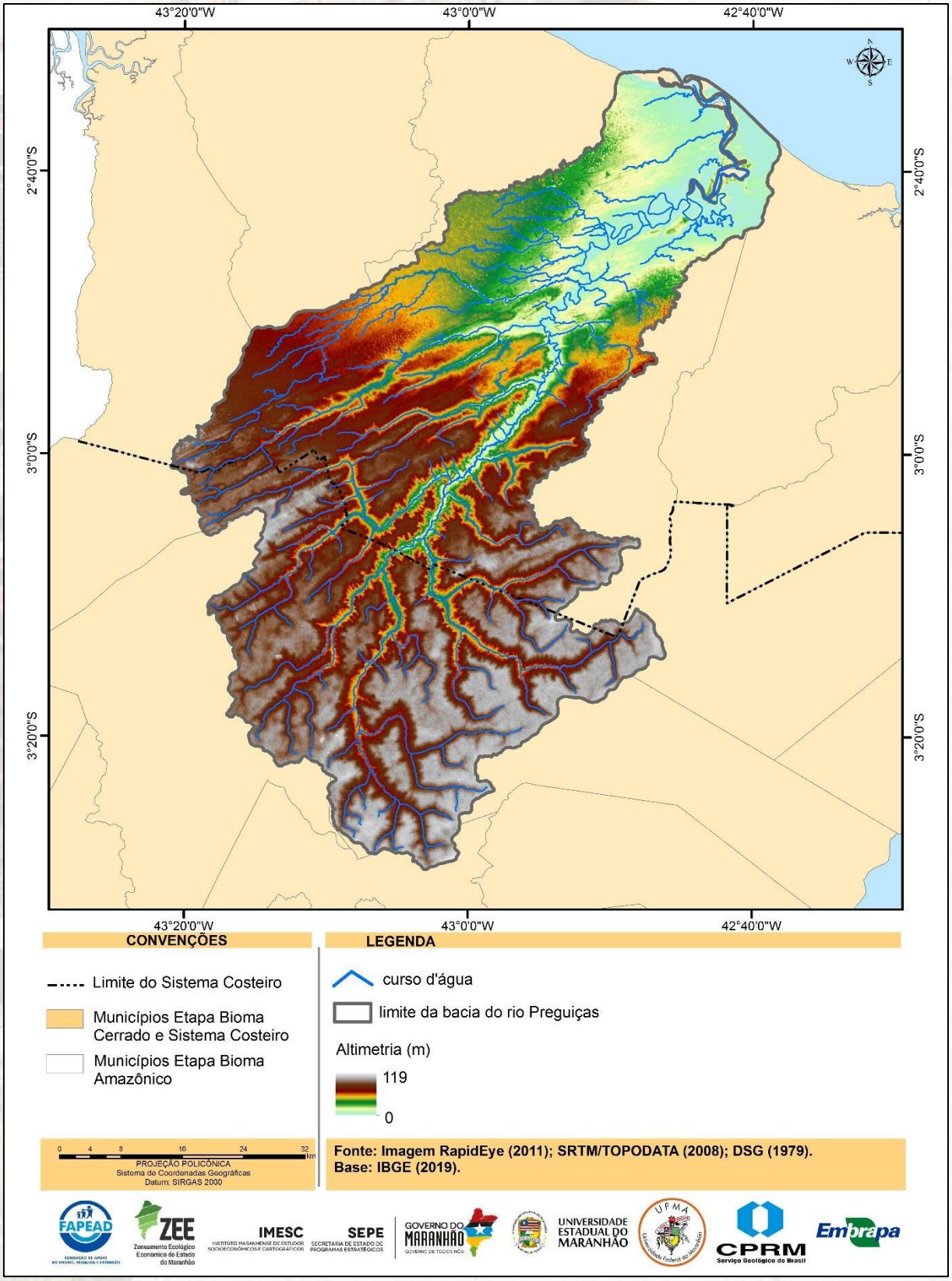
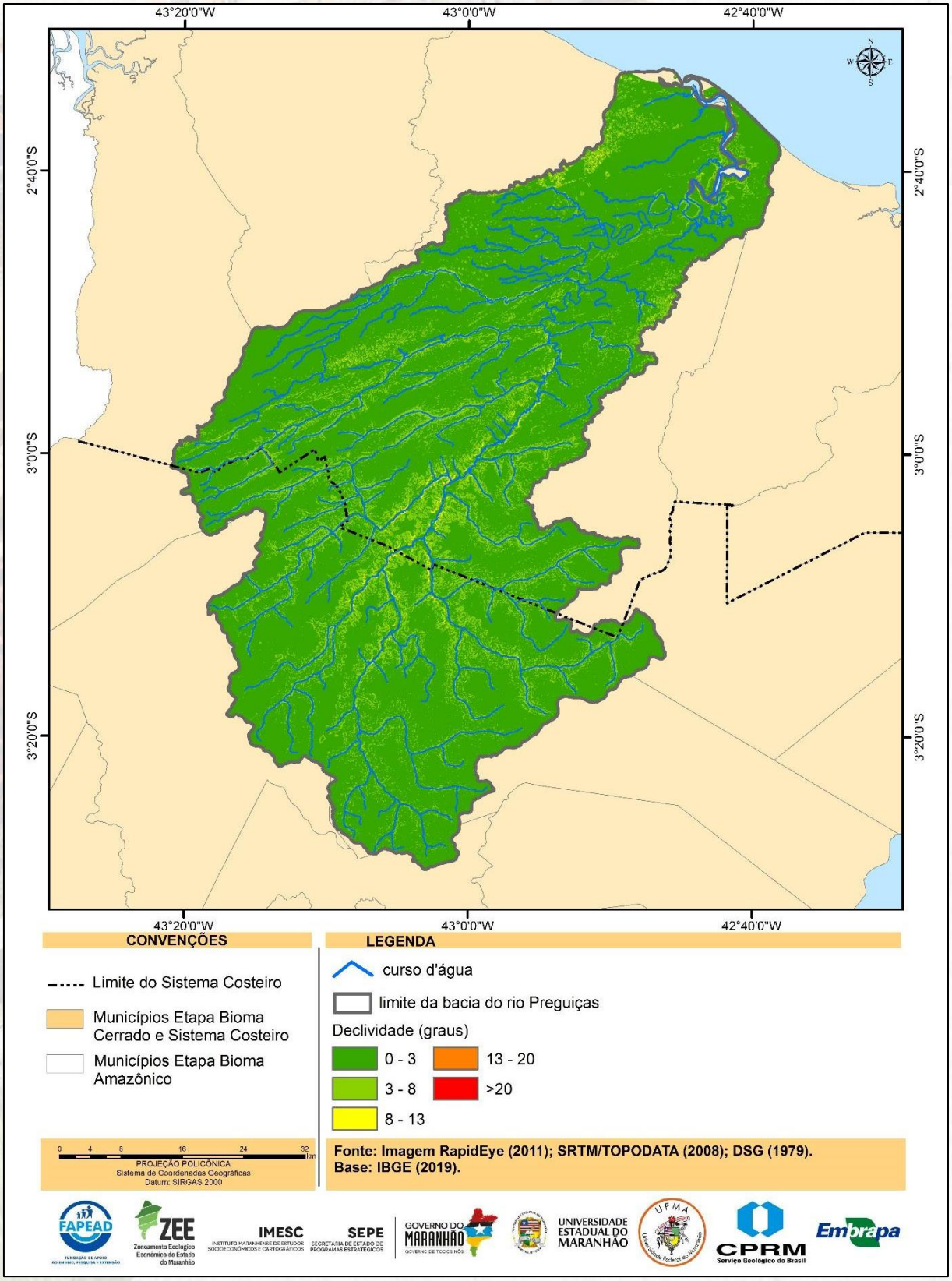


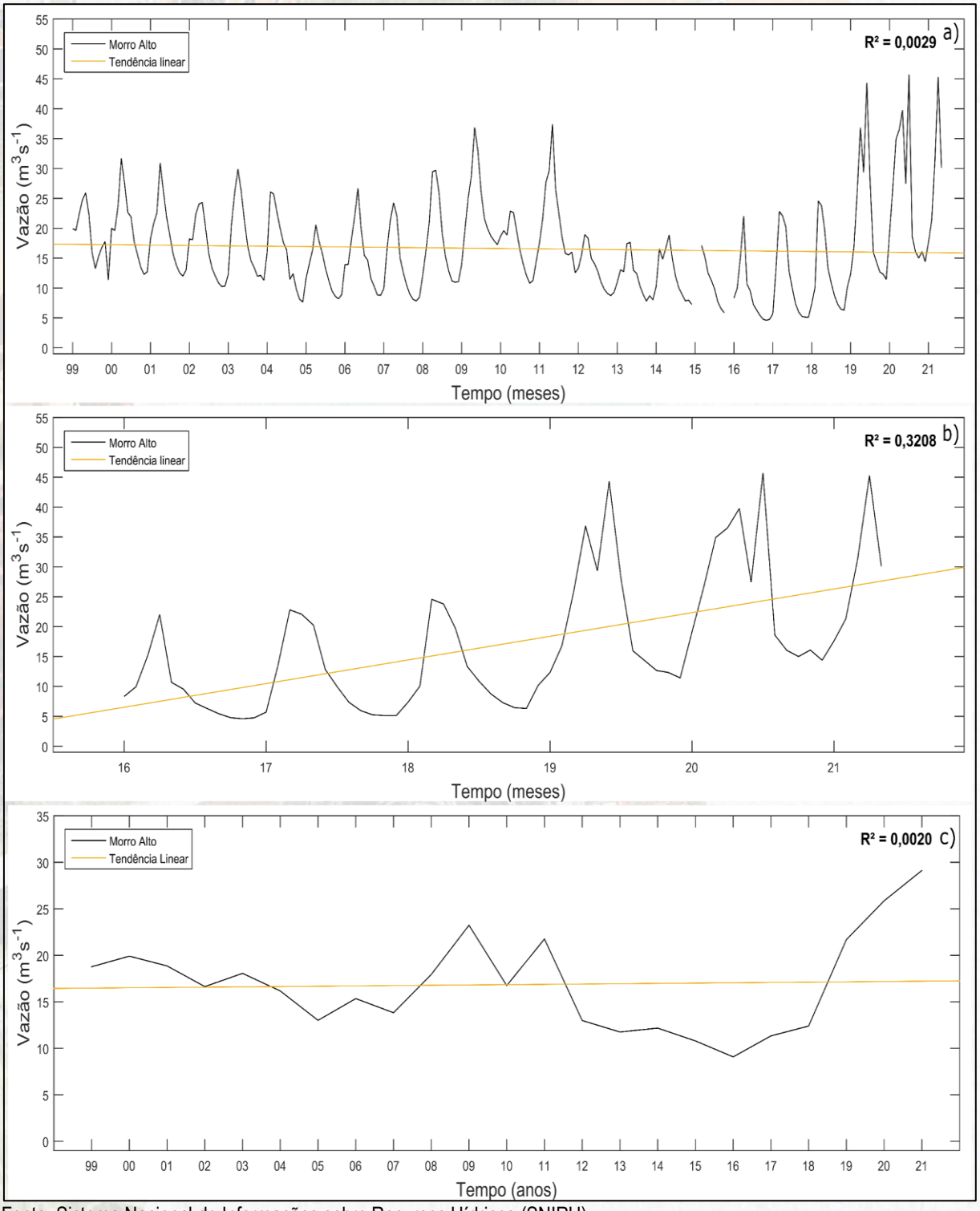
Figura 13 – Declividade da Bacia do Rio Preguiças – MA



3.2.2 Regime Fluvial

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças há dados de vazão disponíveis para apenas uma estação fluviométrica, localizada em Morro Alto, no médio curso do Rio Preguiças (Quadro 5). Devido à existência de apenas um ponto amostral, não foi possível realizar a espacialização dos dados de vazões para esta bacia hidrográfica. Durante o período de 22 (vinte e dois) anos analisados neste estudo, a série temporal em Morro Alto mostrou uma tendência de diminuição da vazão ao longo do tempo até o final de 2015, quando apresentou uma inversão de comportamento, passando a apresentar uma tendência de aumento, com o pico de vazão ocorrendo em 2020 (Figura 14(a)). Essa mudança de comportamento do rio deve-se, em parte, ao crescimento da população e da atividade de turismo no município de Barreirinhas, resultando em alta demanda de água para abastecimento urbano, bem como por influência de eventos climáticos extremos. Os trimestres de março a maio e outubro a dezembro apresentaram as maiores (menores) vazões médias na série histórica da Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, respectivamente (Figura 14).

Figura 14 – Séries temporais históricas das vazões médias mensais e tendências (a, b) e da vazão média anual e tendência (c) obtidas da estação fluviométrica de Morro Alto localizada no médio curso do Rio Preguiças, na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Com base na série temporal mensal observa-se uma leve tendência negativa da vazão (Figura 14a), se consideradas as médias anuais, a tendência é de um leve aumento (Figura 14c), justamente em

decorrência do aumento dessa tendência negativa desde 2016 até o presente (Figura 14b). Os dados da estação fluviométrica de Morro Alto mostraram que a vazão média anual (1999-2021) foi de 16,6m^3s^{-1} e que esta vazão aumentou cerca de 0,8 m^3s^{-1} no período de 22 (vinte e dois) anos de monitoramento (Tabela 5).

Tabela 5 – Vazão média anual e tendência da estação fluviométrica pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças.

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
Morro Alto	16,6	+0,8	Rio Preguiças	1999 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Como não foi possível a espacialização dos dados para a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, também não serão apresentados os campos anômalos das vazões para os meses de março, abril e maio de 2021 (meses de coletas de dados *in situ*).

Mesmo que pontualmente, os resultados encontrados também mostraram que a vazão da estação fluviométrica de Morro Alto recebe influência do fenômeno ENOS, com uma correlação negativa baixa, porém significativa (Tabela 06). O fenômeno ENOS é o modo principal de interação oceano-atmosfera que modula a circulação oceânica e atmosférica global, causando alterações nos padrões de precipitação em locais remotos do Planeta, como em toda a extensão da América do Sul, e em especial sobre a região nordeste do Brasil (KANE, 1997; UVO *et al.*., 1998; RODRIGUES *et al.*, 2011). Os resultados mostraram que a vazão de Morro Alto está inversamente correlacionada ao ION, ou seja, anomalias positivas de vazão ocorrem na fase negativa do ENOS (i.e., La Niña). Dentre as regiões do ENOS, a Niño 4 foi a que mais influenciou a vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças (Tabela 06).

Tabela 6 – Correlação (r) e significância ($p < 0,05$) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças.

	Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4	
	r	*P*	r	*P*	r	*P*	r	*P*
Bacia do Rio Preguiças	-0.1614	*0.0085*	-0.1377	*0.0249*	-0.1682	*0.0061*	-0.1520	*0.0133*

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.2.3 Qualidade de Águas

Na Bacia do Rio Preguiças, estão localizadas 07 (sete) estações de monitoramento de qualidade da água da RHN. Os resultados revelaram que o rio Preguiças possui águas com características ácidas, com variação de pH entre 4,26±1,31 até 5,82±1,09 entre as estações de monitoramento da RNH. O

padrão evidenciado indicou forte influência dos ácidos fúlvicos e húmicos na qualidade da água do rio Preguiças (Tabela 7).

Com relação à variável turbidez, os valores da série histórica indicaram que os recursos hídricos apresentam águas límpidas, com pouca influência de material particulado em suspensão. Os padrões evidenciados para oxigênio dissolvido indicaram concentrações que asseguram a manutenção da vida aquática. A temperatura da água e condutividade específica demonstraram padrões esperados para recursos hídricos equatoriais. Por sua vez, os valores observados condutividade específica e condutividade elétrica revelaram a ausência de influência da cunha salina nos locais onde estão situadas as estações da RNH.

Tabela 7 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia Hidrográfica do rio Preguiças, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})
33708000	29,08 ±4,40	5,05 ±0,84	5,99 ±2,36	5,67 ±0,35	50,35 ±6,90	-
33710000	26,62 ±0,53	4,26 ±1,31	5,83 ±13,33	4,92 ±1,16	44,41 ±6,07	-
33711000	28,56 ±1,74	5,64 ±0,84	5,13 ±2,11	5,48 ±0,71	53,13 ±6,92	-
33712000	29,81 ±0,37	5,82 ±1,09	6,86 ±3,96	5,66 ±2,40	53,80 ±7,11	-
33711500	28,12 ±0,98	4,38 ±1,02	1,63 ±2,32	4,71 ±1,75	49,40 ±8,36	-
33700001	27,88 ±0,72	4,86 ±0,90	5,98 ±3,58	6,81 ±0,92	56,24 ±7,14	-
33700000	28,60 ±0,95	5,46 ±0,73	6,52 ±1,78	6,71 ±1,62	44,55 ±6,96	44,68 ±16,68

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica.
Fonte: Registro da Pesquisa.

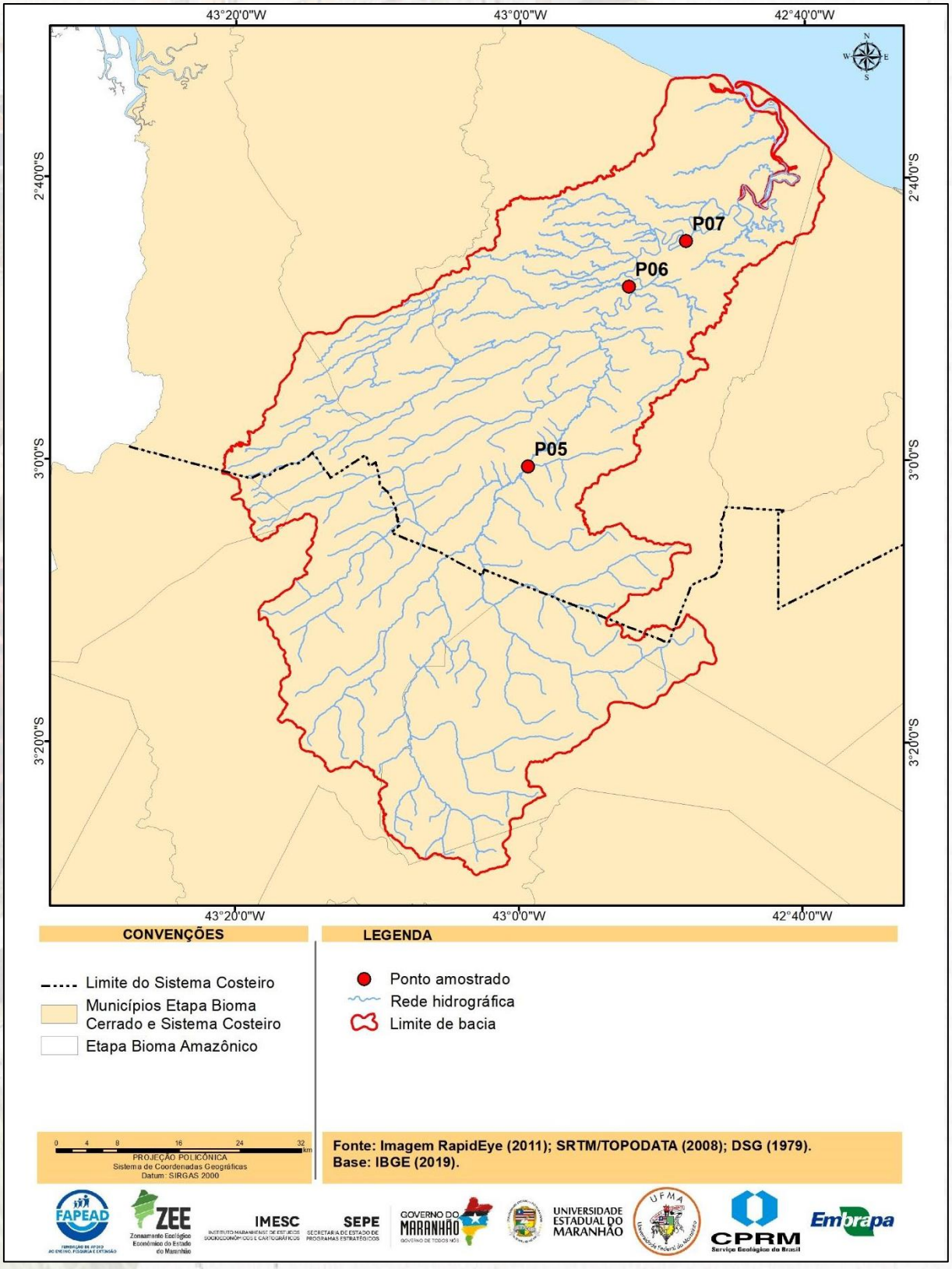
As coletas de dados de qualidade de águas ocorreram em 3 pontos da Bacia do Rio Preguiças (Figuras 15 e 16). Os pontos 5 e 6 foram coletados em povoados com pequena oferta de infraestrutura, conhecido por populares como Povoado São José das Varas e Povoado do Marcelino, respectivamente, sendo trechos de rios meândricos, com vegetação ciliar preservada e usos para pesca e banho.

O ponto 7 foi coletado nas proximidades da sede do município de Barreirinhas, com a margem direita do rio bastante ocupada por residências, bares, hotéis e pousadas, além de alto fluxo de barcos motorizados para passeios, tendo a vegetação degradada na margem direita e na esquerda preservada.

Figura 15 – Pontos de coleta no Rio Preguiças.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 16 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças



Os resultados dos parâmetros físicos e químicos coletados na Bacia do Rio Preguiças se encontram nas Tabelas 08 e 09. De maneira mais global, poucas variáveis apresentaram valores em desconformidade com o que preconiza a resolução CONAMA 357/2005 nesta bacia.

A turbidez apresentou concentrações acima de 40 NTU no mês de abril nos pontos de coleta dos rios que compõem esta bacia, estando acima do que estabelece a resolução vigente. No entanto, no mês de maio os valores ficaram dentro da normalidade. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume e da remobilização de sedimentos de fundo, durante a estação chuvosa.

Os pontos P05 e P06 do Rio Preguiças apresentaram valores de pH bem menores do que determina a resolução brasileira, indicando águas muito ácidas neste rio no mês de abril. Em maio, os valores foram um pouco maiores, mas ainda se mantendo de caráter ácido, ficando mais próximo dos valores observados pela estação de monitoramento (Tabela 09), indicando ser o valor de normalidade desta bacia.

Tabela 8 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças (abril/2021)

Bacia Hidrográfica		**Sistema de Bacias Costeiras: Rio Preguiças**		
Ponto de Coleta		P05	P06	P07
Local de Coleta		Rio Preguiças - Povoado São José das Varas	Riacho do Gengibre – Barreirinhas	Rio Preguiças – Barreirinhas
Data da Coleta		25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021
Horário de Coleta		16:43	13:45	14:52
Temperatura	(°C)	29,07	29,26	28,93
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	10,00	18,00	13,00
TDS	(mg L^{-1})	5	10	8
Turbidez	(NTU)	113,00	57,70	96,00
pH		2,15	3,44	6,77
ORP	(mV)	262	177	119
OD	(mg L^{-1})	7,82	3,07	7,11
OD	(%)	101,00	39,65	93,38
TSS	(mg L^{-1})	0,88	10,78	2,22
Fosfato	(mg L^{-1})	0,94	2,28	1,07
Silicato	(mg L^{-1})	52,00	31,10	44,50
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,90	0,90
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças (maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Sistema de Bacias Costeiras: Rio Preguiças**		
Ponto de Coleta		**P05**	**P06**	**P07**
Local de Coleta		**Rio Preguiças - Povoado São José das Varas**	**Riacho do Gengibre - Barreirinhas**	**Rio Preguiças - Barreirinhas**
Data da Coleta		24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021
Horário de Coleta		13:00	17:10	16:15
Temperatura	(°C)	28,31	28,1	30,04
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	52	42	46
TDS	(mg L^{-1})	34	28	30
Turbidez	(NTU)	1,7	1,3	3,2
pH		5,03	5,06	5,31
ORP	(mV)	229	267	228
OD	(mg L^{-1})	3,71	3,20	3,90
OD	(%)	47,54	40,95	51,62
TSS	(mg L^{-1})	1,56	1,44	2,25
Fosfato	(mg L^{-1})	2,61	2,47	3,09
Silicato	(mg L^{-1})	41,50	26,00	32,10
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,00	1,70	0,90
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O OD mostrou valor baixo no Riacho do Gengibre (P06) em abril e no mês de maio, todos os pontos de coleta na bacia foram menores de 4 mg L^{-1}, indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática. O OD% mostrou valores de subsaturação em oxigênio, no qual os pontos P06 (para ambas as coletas) e os pontos P05 e P07 (no mês de maio) apresentaram saturação menor que 50%, confirmando a alta utilização deste gás nas águas do rio Preguiças.

Os valores obtidos de fosfato e silicato nesta bacia foram elevados em ambas as campanhas de coleta, com o fosfato acima da resolução vigente. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e lixiviação continental nos rios.

3.3 Sistemas de bacias costeiras: Rios Barro Duro e Novo

3.3.1 Hidrografia

As bacias dos rios Barro Duro e Novo apresentam área de 3.195,6km^2, equivalente a 1,7% do BCSC, e situa-se ao nordeste da área, entre a Bacia do Rio Preguiças e a Bacia do Rio Coqueiro. A rede hidrográfica é composta de 186 trechos de drenagem e 1.034,2km de extensão de cursos d'água (Figura 17), destacando-se como os rios de maior extensão, Barro Duro (59,2km), Carrapato (54,1km) e Fome ou Formiga (45,4km).

Nos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Barro Duro e Novo, distinguem-se dois padrões de drenagem, assim como na Bacia do Rio Preguiças. O padrão paralelo, caracterizado por ângulos de confluência bem agudos e o paralelismo entre os rios da Fome, Carrapato e Barro Duro e; o padrão retangular, caracterizado por inflexões ortogonais tanto nos rios principais, como nos tributários. A morfologia retilínea de direção NE-SW predomina, evidenciando o controle estrutural dos lineamentos. Na porção do alto e médio curso das bacias, predominam as paleodunas, configurando o relevo regional, enquanto no baixo curso próximo à foz dos rios, há dunas móveis.

Os dados morfométricos mostram que os Sistemas de Bacias Costeiras Novo e Barro Duro apresentam baixa densidade de drenagem (0,3km/km^2) e densidade hidrográfica (0,06Nc/km^2), condições análogas aos demais Sistemas Costeiros das Bacias dos Rios Periá e Grande e à Bacia do Rio Preguiças. Contudo, há que se considerar também as características litológicas regionais, cujo substrato preferencialmente composto de sedimentos arenosos inconsolidados, topografia suave e baixa declividade têm influência na manutenção do escoamento superficial, principalmente no período seco (julho a novembro). A altimetria da bacia (Figura 18) varia de 0 a 116m, evidenciando uma topografia suave, com baixo desnível topográfico. A declividade mostrou-se a menor dos sistemas costeiros, variando de 0 a 13,3^0 (Figura 19).

Nessas bacias não há dados de estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas para a análise do regime fluvial.

Figura 17 – Mapa da rede hidrográfica dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo

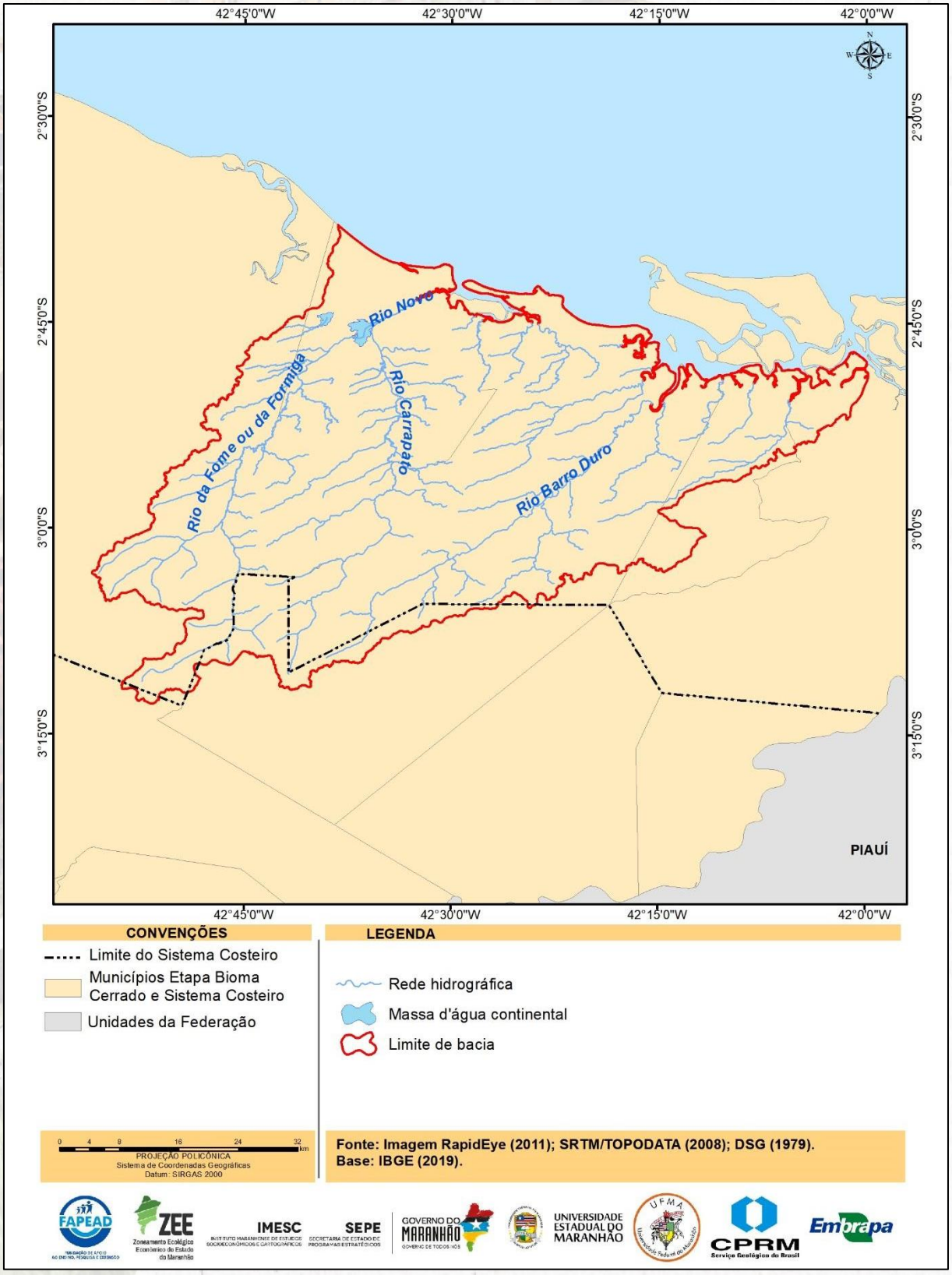


Figura 18 – Hipsometria dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Novo e Barro Duro

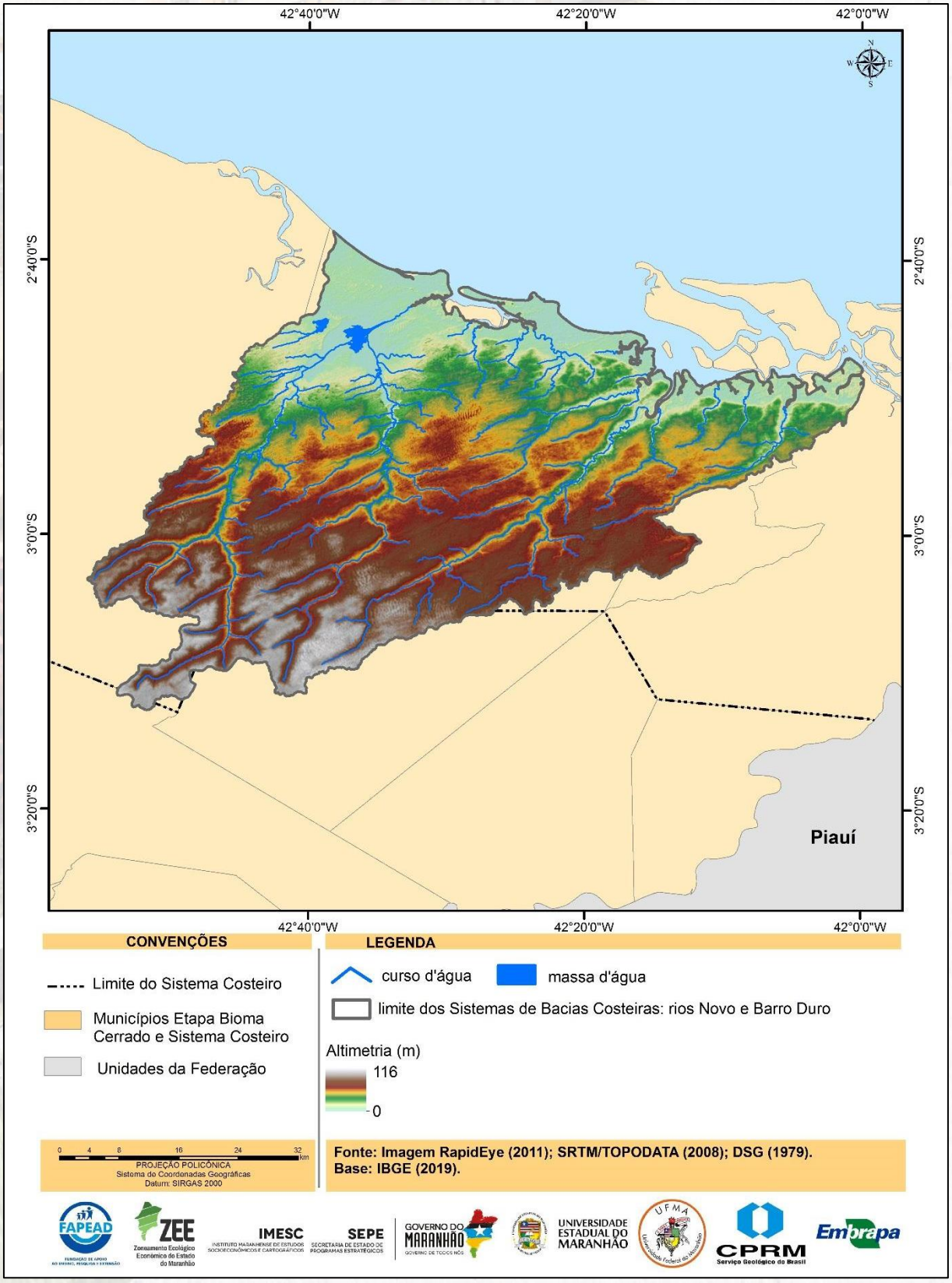
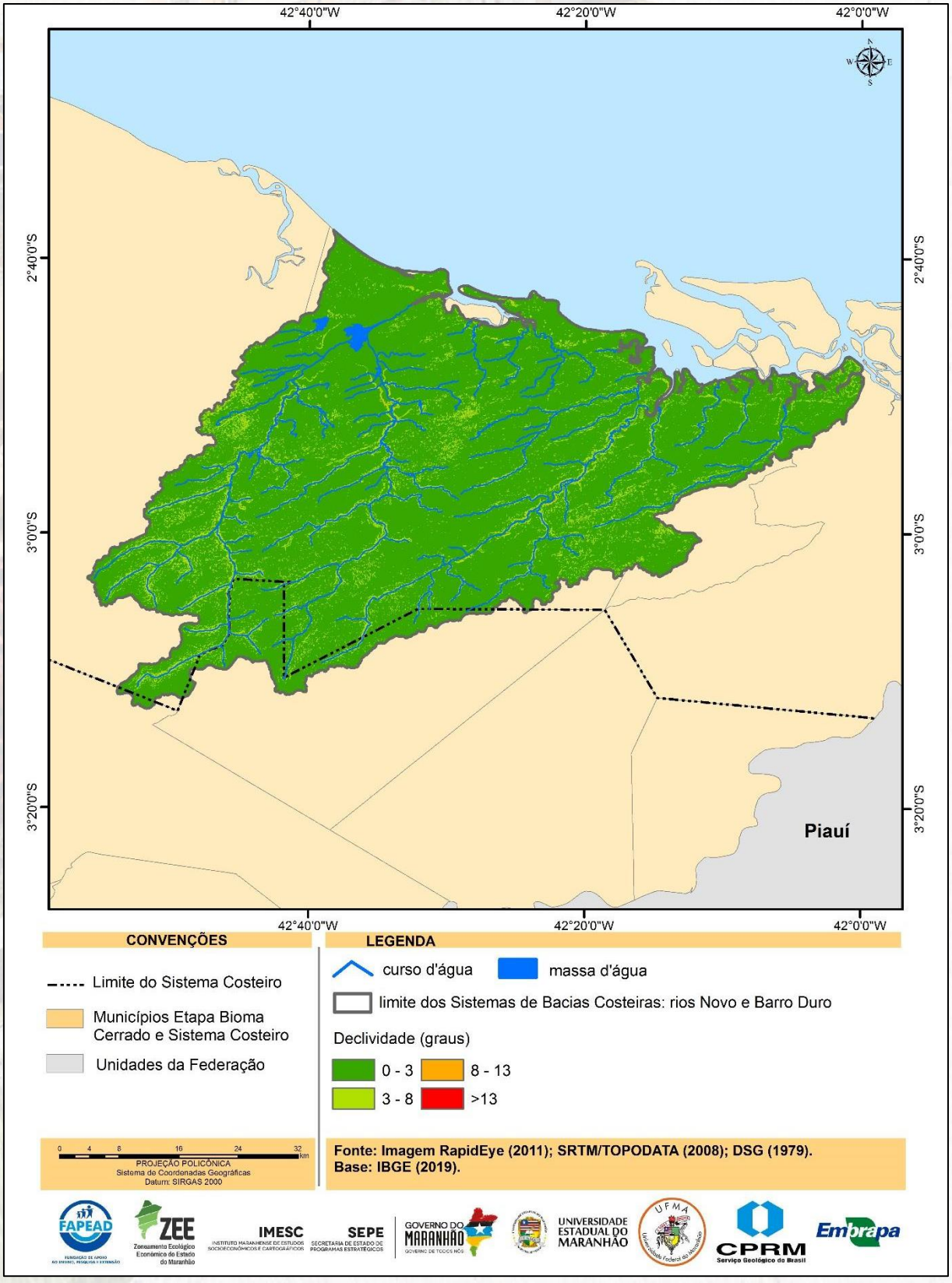


Figura 19 – Declividade dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Novo e Barro Duro



3.3.2 Qualidade de Água

Nos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Novo e Barro Duro existem apenas uma estação de monitoramento da RHN. Os resultados sugeriram que a qualidade de água na estação de monitoramento, quanto aos parâmetros monitorados, apresenta condição satisfatória e esperada para rios tropicais (Tabela 10).

A variável pH apresentou tendências para um padrão levemente ácido com variação para neutralidade, demonstrando menor influência de compostos fúlvicos e húmicos em relação aos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá/Grande e ao Rio Preguiças. Quanto à variável turbidez, os valores foram baixos, indicando baixa influência concentração de partículas sólidas em suspensão na água, qualificando o rio como de águas límpidas. Os valores de oxigênio dissolvido demonstraram concentrações essenciais para manutenção da vida aquática, indicando que o ambiente apresenta boa qualidade quanto ao comportamento da série histórica dessa variável.

Tabela 10 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente aos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão.

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})
33717000	29,63 ±2,37	6,76 ±0,91	11,54 ±6,69	6,88 ±1,60

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido.
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As coletas dos dados de qualidade de água foram realizadas em 2 pontos (Figuras 20 e 21), nos municípios de Paulino Neves e Tutóia. O ponto 8 foi coletado próximo da sede do município de Paulino Neves, em trecho meândrico e vegetação preservada. A coleta do ponto 9 foi realizada no Povoado Barro Duro, com pequena infraestrutura e vegetação ciliar preservada.

Figura 20 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios - Barro Duro e Novo

Figura 21 – Pontos de coleta dos Rios Barro Duro e Novo

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos coletados nos Sistemas de Bacias Costeiras dos Rios Novo e Barro Duro concentram-se nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro (abril/2021).

Bacia Hidrográfica		**Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro**	
Ponto de Coleta		P08	P09
Local de Coleta		Rio Novo - Paulinho Neves	Rio Barro Duro - Barro Duro
Data da Coleta		26/04/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		9:17	10:51
Temperatura	(°C)	28,99	28,24
Salinidade	(g kg^{-1})	0,03	0,00
CE	(µS cm^{-1})	667,00	62,00
TDS	(mg L^{-1})	405	37
Turbidez	(NTU)	25,40	25,00
pH		6,04	5,98
ORP	(mV)	172	89
OD	(mg L^{-1})	5,49	3,72
OD	(%)	72,04	48,49
TSS	(mg L^{-1})	8,67	0,22
Fosfato	(mg L^{-1})	1,20	0,61
Silicato	(mg L^{-1})	38,30	53,80
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,40	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Considerando ambas as coletas realizadas, do mês de abril e maio de 2021, os parâmetros repetiram o mesmo padrão de distribuição, no qual algumas variáveis sinalizaram valores alterados, tais como a CE e os totais de sólidos dissolvidos (TDS), que foram elevados no Rio Novo (P08), indicando contribuição de íons inorgânicos dissolvidos nessas águas, o que normalmente está relacionada à maior concentração de elementos maiores (sais inorgânicos) dissolvidos. A condutividade elevada pode indicar impactos ambientais provocados por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água (MOURA, 2007).

O TDS na água é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água (PARRON *et al.*, 2011), e estes são, na sua grande maioria, constituídos de elementos maiores dissolvidos. Assim, pode-se relacionar de forma direta os parâmetros CE e TDS, onde há maior CE, o TDS tende também a ser maior, conforme observado no P08.

Tabela 12 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro (maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro**	
Ponto de Coleta		**P08**	**P09**
Local de Coleta		**Rio Novo - Paulinho Neves**	**Rio Barro Duro - Barro Duro**
Data da Coleta		25/05/2021	25/05/2021
Horário de Coleta		09:56	11:30
Temperatura	(°C)	29,76	28,57
Salinidade	(g kg^{-1})	0,03	0,00
CE	(µS cm^{-1})	678	87
TDS	(mg L^{-1})	434	57
Turbidez	(NTU)	6,1	1,7
pH		6,66	5,78
ORP	(mV)	88	110
OD	(mg L^{-1})	4,74	4,23
OD	(%)	62,18	54,57
TSS	(mg L^{-1})	9,11	1,67
Fosfato	(mg L^{-1})	1,33	1,45
Silicato	(mg L^{-1})	40,70	50,00
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,80	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O OD mostrou valores menores do que é recomendado pela resolução CONAMA 357/2005 no Rio Barro Duro (P09), nos dois períodos de coleta, e no P08 somente em maio, indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática. O OD% mostrou valores de subsaturação em oxigênio, nos mesmos pontos e coletas apontadas para OD, sendo mais preocupante no P09 em abril, que teve valores abaixo de 50%, representando condições de estresse para organismos aquáticos e de depuração nas águas do rio.

Os valores obtidos de fosfato e silicato nesta bacia foram elevados, com o fosfato acima da resolução vigente. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e lixiviação continental para os rios. Os demais parâmetros estudados apresentaram valores dentro das normas brasileira vigente.

3.4 Bacia hidrográfica do Rio Munim

3.4.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Munim possui área de 12.832,7km^2, que corresponde à 6,7% do BCSC. A bacia situa-se à nordeste da Bacia do Rio Preguiças, à oeste da Bacia do Rio Itapecuru e à leste da Bacia do Rio Parnaíba. A rede hidrográfica compõe-se de 2.389 trechos de drenagem e 7.538,7 km de extensão de cursos d'água (Figura 22), destacando-se como os rios de maior extensão, o Rio Munim (260,6 km), o Rio Preto (286,2 km) e o Rio Iguará (175,5 km).

O rio Munim nasce no município de Caxias, com direção preferencial SE-NW, e deságua na Baía de São José/Arraial. Geomorfologicamente, a Bacia do Rio Munim encontra-se no domínio de tabuleiros dissecados, tendo como padrão de drenagem típico, o dendrítico. Observa-se no sistema de drenagem anomalias associadas ao rio principal e seus afluentes quais sejam: do tipo cotovelo, quando a drenagem sofre mudança brusca de direção (Rio Preto) e do tipo arco, uma feição contorcida que pode indicar a influência de atividades tectônicas. Na porção do médio-baixo curso, predominam várias lagoas marginais, cuja gênese associa-se aos meandros abandonados.

Os parâmetros morfométricos da bacia indicam média densidade de drenagem (0,6 km/km^2) e densidade hidrográfica (0,19 Nc/km^2). Apresenta variação altimétrica entre 11m e 167m, com amplitude altimétrica de 156m (Figura 23). As maiores altitudes estão associadas às cabeceiras e à porção nordeste da bacia, delimitando um compartimento geomorfológico. Na transição do médio para o baixo curso, predominam as menores cotas altimétricas (30 a 70m) da bacia, com o alargamento do rio principal e planície fluvial de cerca de 2km. A declividade evidencia um relevo mais acidentado em relação aos

sistemas costeiros, com variação de 0 a 33,6^0 (Figura 24) e valores mais elevados na porção centro-oeste da bacia.

Figura 22 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Munim

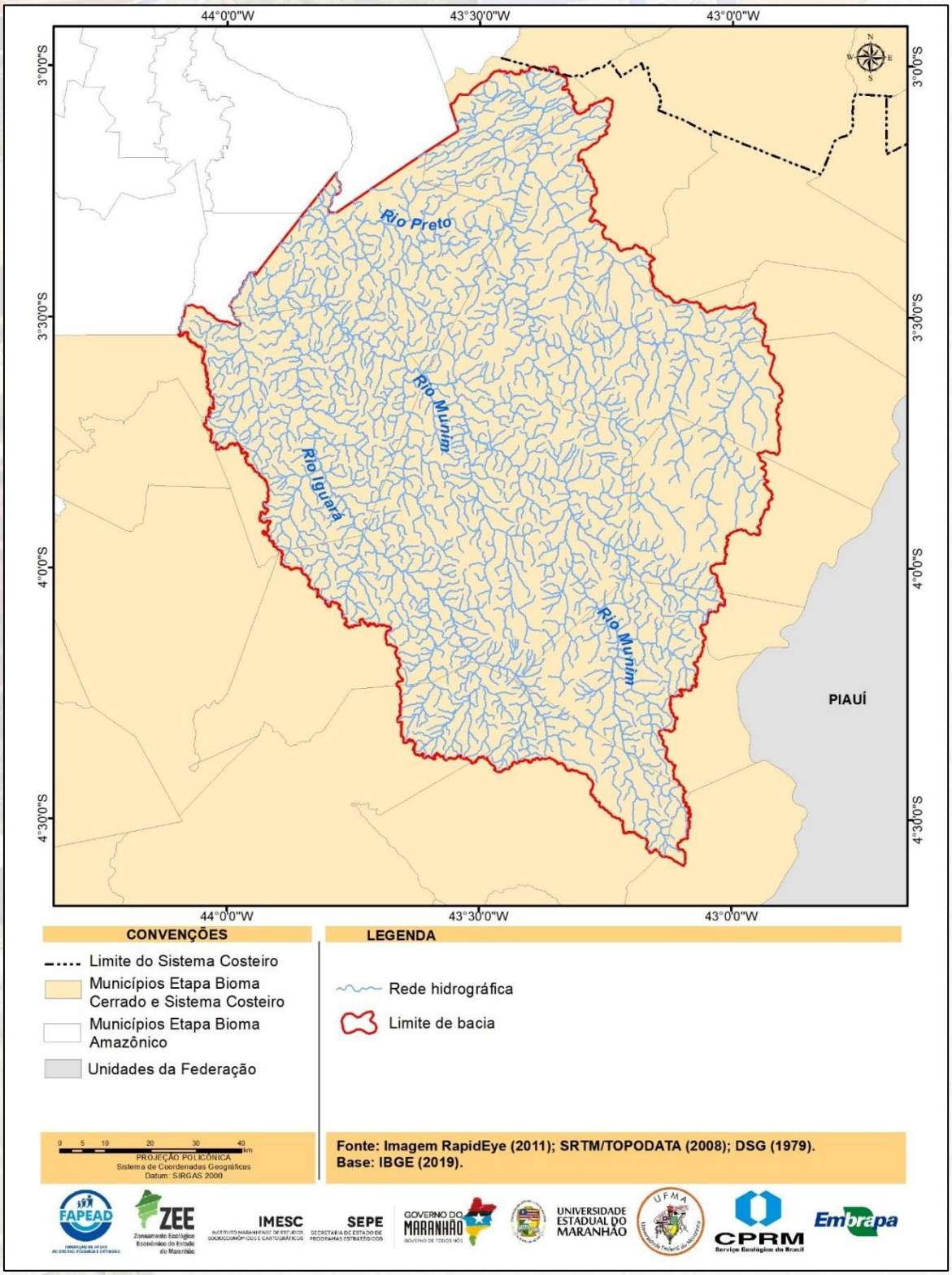


Figura 23 – Hipsometria da Bacia do Rio Munim

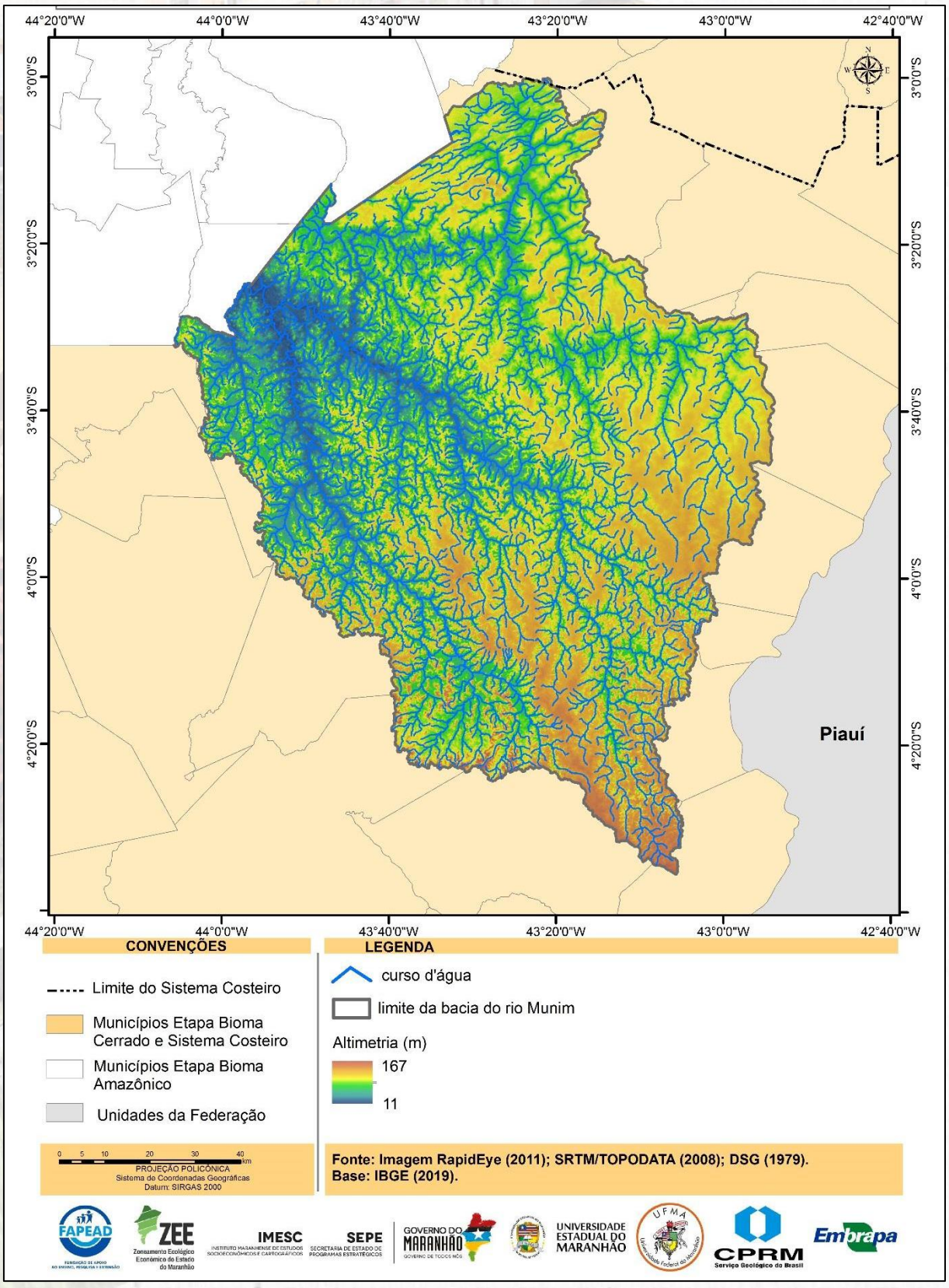
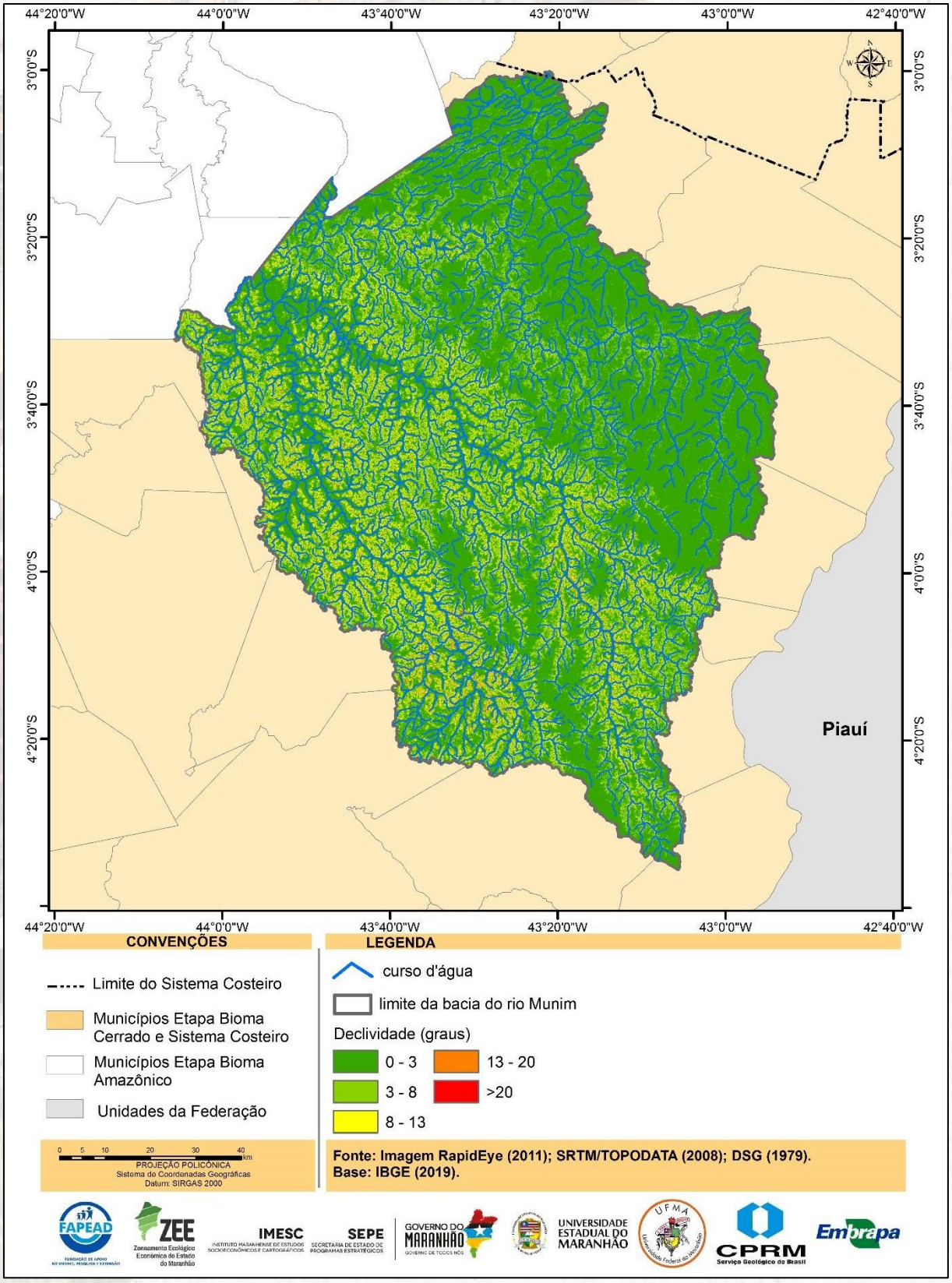


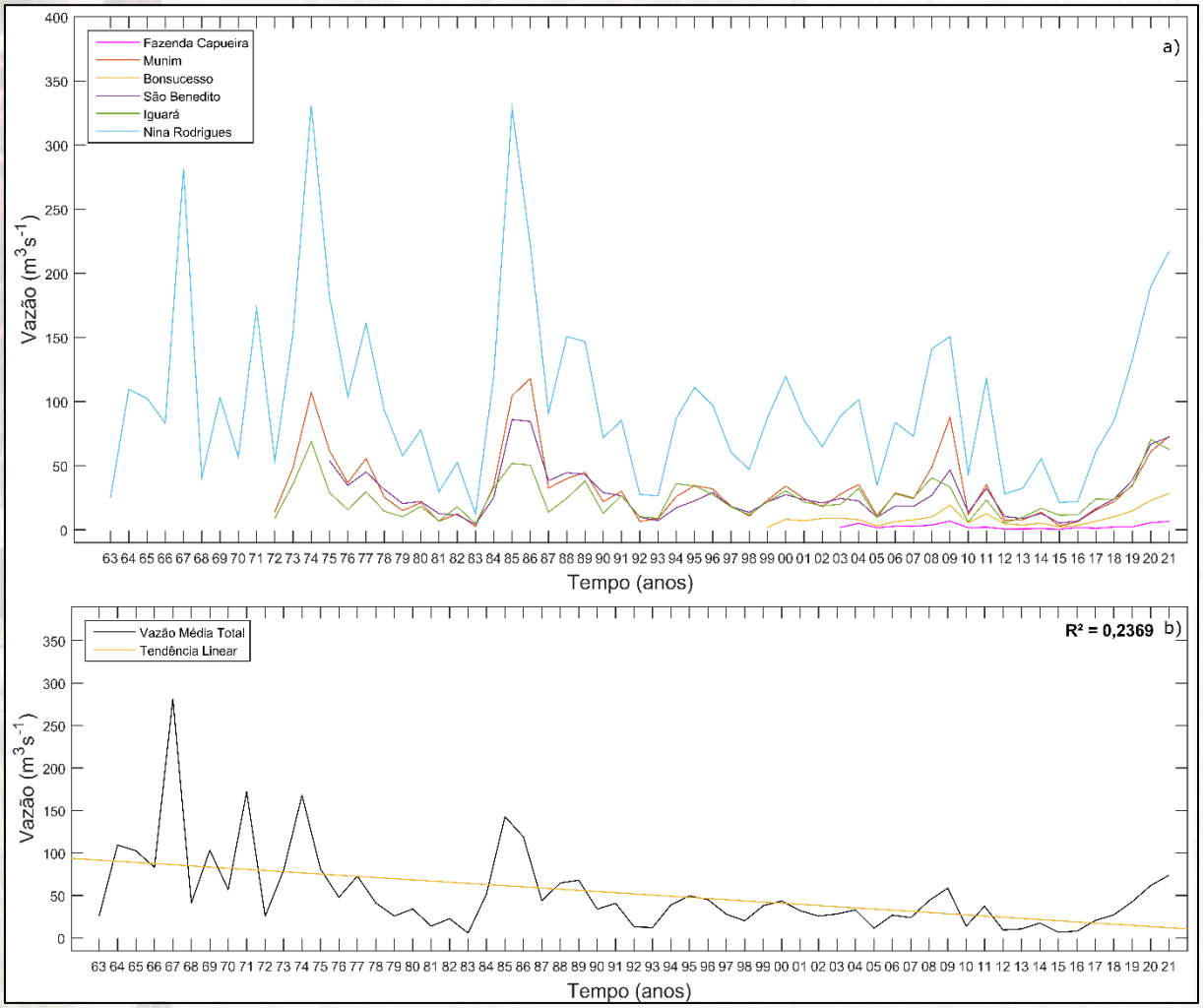
Figura 24 – Declividade da Bacia do Rio Munim



3.4.2 Regime Fluvial

Analisando-se as vazões médias anuais das 6 estações localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim (i.e., estações Fazenda Capueira, Munim, Bonsucesso, São Benedito, Iguará e Nina Rodrigues), foi possível observar que a estação Nina Rodrigues apresentou as maiores amplitudes de vazão para esta bacia hidrográfica, atingindo dois picos, um de 330,8 m^3s^{-1} e outro de 328,6 m^3s^{-1} em 1974 e 1985, respectivamente (Figura 25a). A vazão média anual total para a Bacia Hidrográfica do Rio Munim variou de 5,65 m^3s^{-1} a 281,8 m^3s^{-1}, com a máxima para o período ocorrendo em 1967 (Figura 25b). Em geral, a Bacia Hidrográfica do Rio Munim apresentou uma tendência de redução da vazão dos rios (Figura 19b e Tabela 13).

Figura 25 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As vazões médias dos rios medidas por 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim e a tendência anual são mostradas na Tabela 13. De acordo com os dados hidrológicos analisados, a vazão média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Munim no alto curso do Rio Munim é de 2,4 m^3s^{-1} (Tabela 13). No médio curso da bacia, o Rio Munim passa a apresentar vazão média anual de 32,1 m^3s^{-1}. O Rio Preto, com duas estações fluviométricas localizadas em médio e baixo curso, apresentou vazão média anual de 8,9 m^3s^{-1} e 26,4 m^3s^{-1}, respectivamente. No baixo curso da bacia, o Rio Iguará, afluente do Rio Munim, próximo à foz, apresentou vazão média anual de 24,7 m^3s^{-1}. O Rio Munim, com dados da estação Nina Rodrigues, apresentou vazão média anual de 99,1 m^3s^{-1}. Os dados mostram que no período de 53 anos a vazão neste trecho diminuiu cerca de 37,6 m^3s^{-1}, sendo esta estação a que apresentou a maior tendência negativa da vazão do Rio Munim (Tabela 13). Os afluentes que contribuem com a vazão do rio principal desta bacia (o Rio Munim), inseridos no BCSC e com dados de vazão existentes, são o Rio Preto (pela margem direita) e o Rio Iguará (pela margem esquerda). O uso da água do Rio Munim é principalmente destinado à atividade agrícola de subsistência e de larga escala, o que ocasiona desmatamento, erosão do solo e assoreamento dos cursos d'água (GONÇALVES *et al*., 2008), o que, muito provavelmente, afeta a sua vazão.

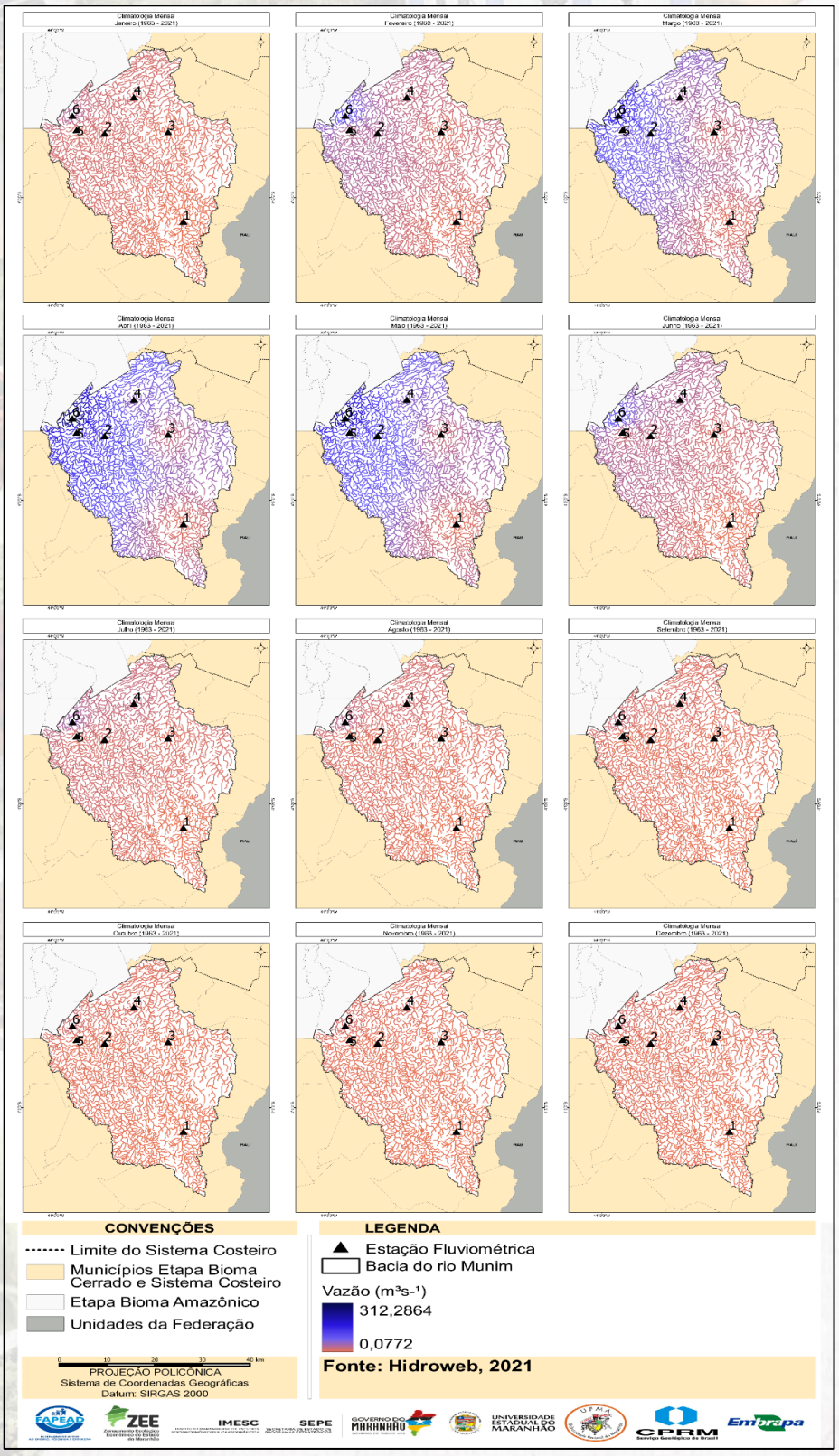
Tabela 13 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Munim

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
Fazenda Capueira	2,6	+0,006	Rio Munim	2003 - 2021
Munim	32,1	-17,6	Rio Munim	1972 - 2021
Bonsucesso	8,9	+10,5	Rio Preto	1999 - 2021
São Benedito	26,4	-8,9	Rio Preto	1975 - 2021
Iguará	24,7	-3,4	Rio Iguará	1972 - 2021
Nina Rodrigues	99,1	-37,6	Rio Munim	1968 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

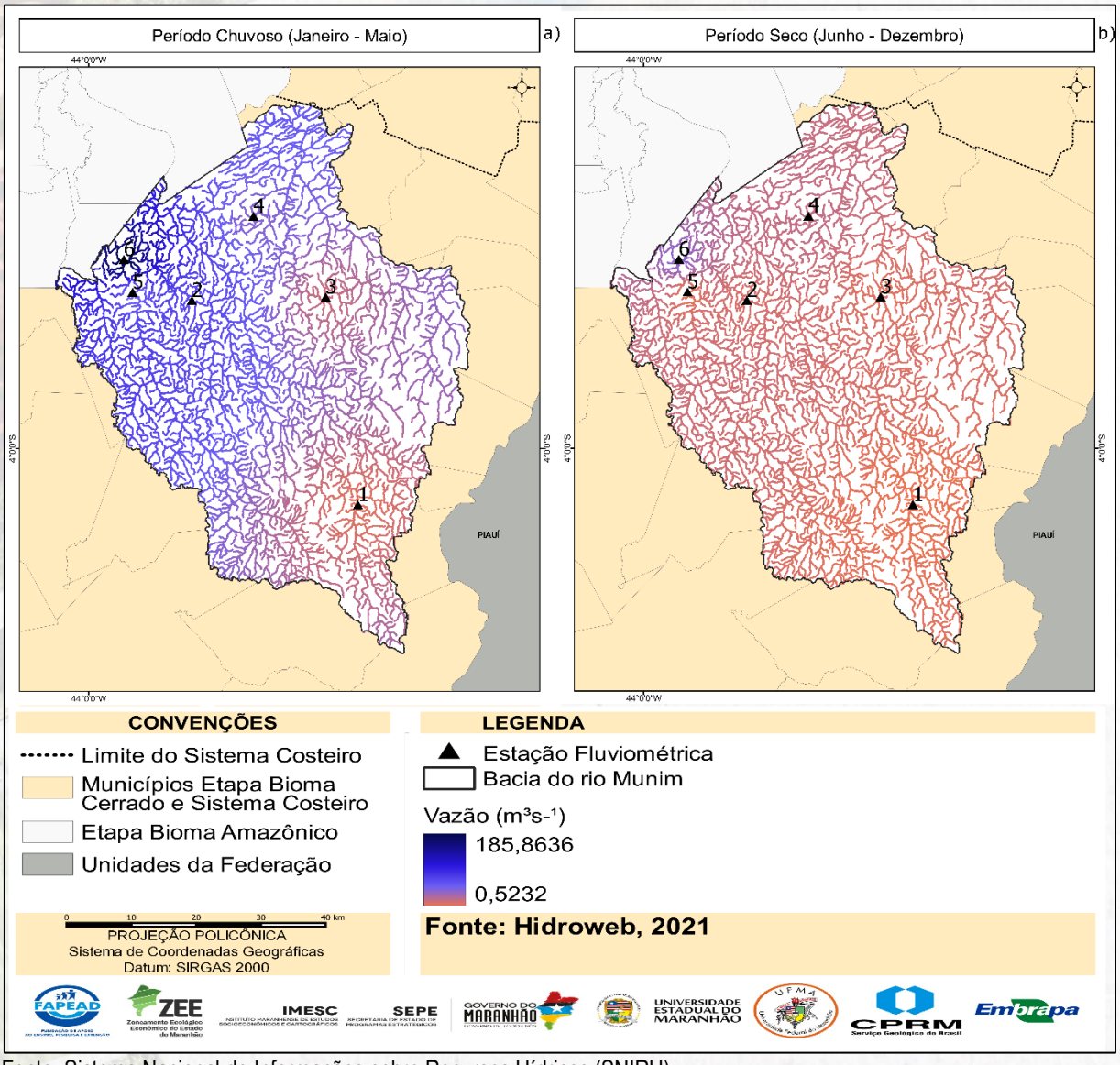
A climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões dos rios mostrou que as maiores vazões ocorrem a noroeste e também a oeste e norte da Bacia Hidrográfica do Rio Munim, no seu baixo curso, e que março – abril – maio foi o trimestre mais chuvoso (Figura 26).

Figura 26 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues



As distribuições sazonais das vazões dos rios do BCSC para os meses que compõem o **período chuvoso** e para os meses que compõem o **período seco** são mostradas na Figura 27. As composições climáticas mostraram maiores amplitudes sazonais das vazões dos rios que compõem o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Munim. No alto curso desta bacia, mesmo na estação chuvosa (Figura 27a), observa-se baixos níveis de vazão dos rios.

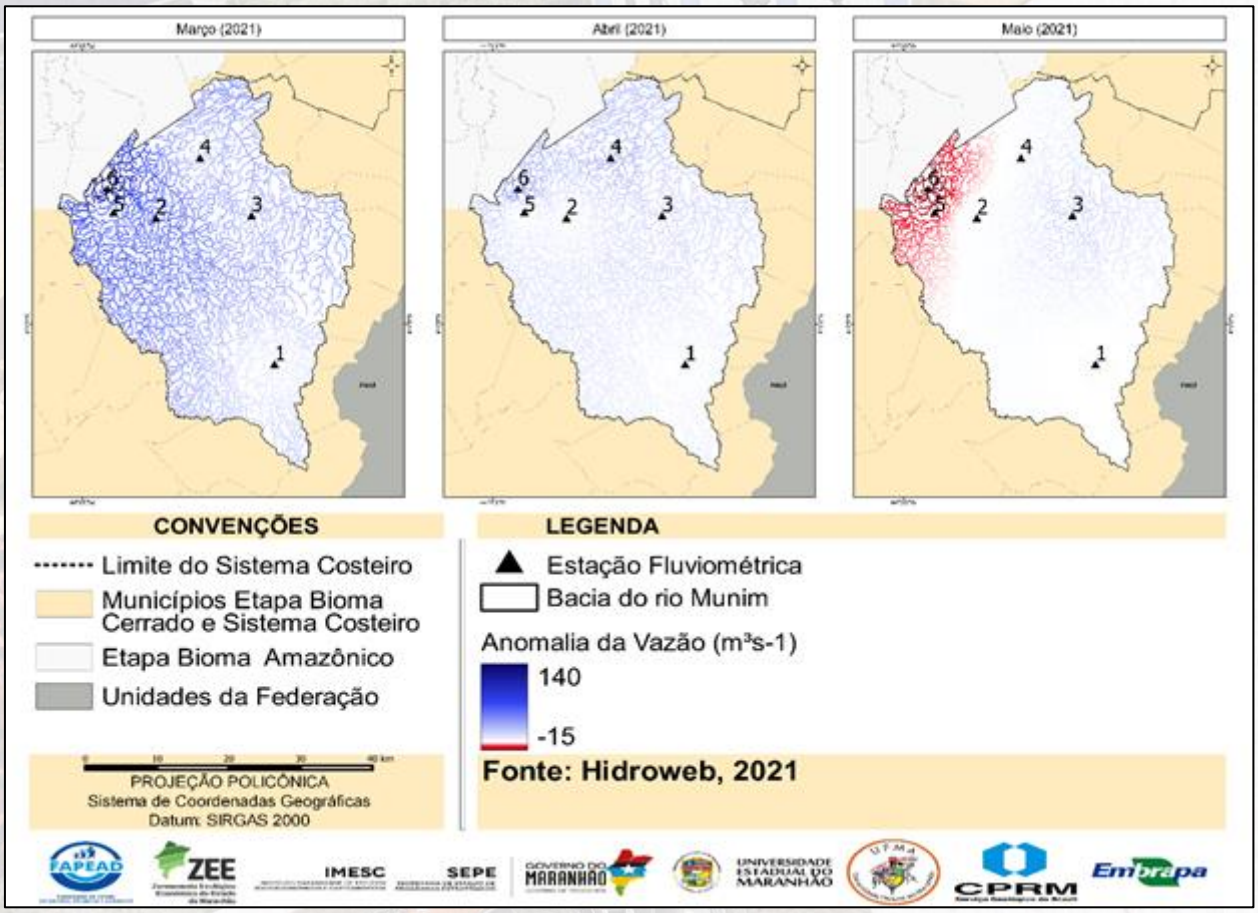
Figura 27 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A Figura 28 mostra os campos anômalos, em relação à média climatológica (1963-2021), de vazão dos rios que compõem a bacia do rio Munim para os meses que foram realizadas as coletas *in situ* (i.e., março, abril e maio de 2021). Os rios que compõem esta bacia tiveram suas vazões anomalamente aumentadas nos meses de março (em até 140 m^3s^{-1}) e abril de 2021, com inversão de sinal em maio, quando anomalias positivas (em até -15 m^3s^{-1}) de vazão ocorreram no setor noroeste da bacia. Segundo Centro de Previsão Climática da NOAA, que monitorada e disponibiliza a evolução do ION,disponível em https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php, desde o trimestre de julho-agosto-setembro a região do Nino 3.4 encontra-se em fase negativa, ou seja, sob a influência do fenômeno La Niña, com o pico ocorrendo em outubro-novembro-dezembro, e estendendo-se até o trimestre abril-maio-junho. Em anos de La Niña comumente espera-se que ocorra um aumento generalizado da precipitação sobre a Região Nordeste (p.e., OLIVEIRA *et al.,* 2014), onde o BCSC encontra-se. Entretanto, como essa influência se dá principalmente via alterações na circulação zonal atmosférica e oceânica, espera-se que esses impactos ocorram com uma defasagem de cerca de 5 meses. Segundo Soares (2019), há uma correlação negativa moderada entre o fenômeno ENOS e as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical Sul (ATS) até 5 meses após o evento (*lag* = *+5*). Essas correlações também foram fracas no *lag* = *0* (SOARES, 2019), assim como as correlações encontradas no presente estudo entre o ION e as vazões. Assim, é muito provável que os impactos da fase negativa do ENOS, que ocorreu do trimestre julho a setembro de 2020 ao trimestre abril a junho de 2021, nas vazões dos rios que pertencem ao BCSC, se refletirá mais fortemente nos próximos meses, ainda que seja possível observar anomalias positivas de vazão no mês de maio de 2021 (Figura 28).

Figura 28 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Munim. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométrica, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados também mostraram que as vazões das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Munim são influenciadas pelo fenômeno ENOS, com uma correlação negativa baixa, porém significativa (Tabela 14). Dentre as regiões do ENOS, a Niño 4 é a que mais influencia a vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Munim, assim como foi observado para a do Rio Preguiças.

Tabela 14 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Munim.

	Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4	
	r	*P*	r	*P*	R	*P*	R	*p*
Bacia do Rio Munim	-0.2206	*0.0000*	-0.2147	*0.0000*	-0.2331	*0.0000*	-0.2003	*0.0000*

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.4.3 Qualidade de Água

A Bacia do Rio Munim possui uma rede de monitoramento composta por 22 estações vinculadas à RHN. A temperatura da água variou em faixas características de rios tropicais. A variável pH revelou que o rio apresenta águas com tendencia à acidez, com variações entre as estações de 4,96±0,29 a 6,62±0,44. Os valores de oxigênio dissolvido, em todas as estações de monitoramento, obtiveram concentrações essenciais para manutenção da vida aquática, no entanto, na estação 33740000 (Rio Preto, município de Anapurus), ocorreram os níveis mais baixos da série histórica, com concentrações de 2,49±0,76 mg L^{-1}, sendo considerado uma zona de maior suscetibilidade quanto à variável oxigênio dissolvido (Tabela 15).

Com relação à variável turbidez, os valores variaram na ordem de 8,08±5,77 a 154,18±85,59 NTU. A série histórica demonstrou que a bacia possui rios com águas límpidas e relativamente turvas. Por exemplo, no rio Rio Iguará (estação 33770000) onde ocorreram os maiores valores, os resultados sugerem que esse rio sofre maior influência da descarga de sólidos suspensos na água. No que tange à condutividade, as variações identificadas estão na faixa de variação esperada para os rios da região, sendo que os rios com menor ordenamento hierárquico apresentaram tendências relativamente menores.

Tabela 15 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Munim

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})
33720001	28,07 ±1,49	6,41 ±0,19	37,90 ±24,02	4,25 ±1,32	128,62 ±41,13	-
33740000	27,06 ±1,08	4,96 ±0,29	8,08 ±5,77	2,49 ±0,76	42,75 ±3,73	-
33750000	29,78 ±1,46	5,75 ±0,79	42,28 ±67,92	7,08 ±1,22	43,39 ±15,21	65,13 ±136,78
33742000	28,37 ±2,41	5,85 ±1,27	33,37 ±33,08	4,91 ±3,07	69,26 ±18,38	-
33743000	28,30 ±1,87	5,23 ±0,61	30,70 ±28,94	3,93 ±1,60	47,24 ±1,91	-
33750001	29,51 ±1,43	5,78 ±0,72	39,53 ±32,68	7,16 ±0,30	50,84 ±9,27	-
33720000	28,80 ±1,45	6,25 ±0,68	63,52 ±39,14	5,34 ±1,61	98,74 ±40,11	87,90 ±31,61
33770000	29,98 ±2,25	6,34 ±0,67	154,18 ±85,59	5,26 ±1,71	29,40 ±0,85	95,74 ±58,51
33747000	26,87 ±0,98	5,65 ±0,28	32,81 ±28,36	6,84 ±0,35	65,88 ±18,32	-
33748000	29,44 ±1,46	5,64 ±0,27	37,69 ±24,66	7,10 ±0,51	52,46 ±7,28	-
33742500	27,40 ±0,60	5,62 ±0,87	8,51 ±6,12	5,34 ±0,63	50,58 ±5,06	-

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})
33730000	29,84 ±1,68	6,45 ±1,00	77,87 ±38,67	5,58 ±1,29	68,81 ±21,15	-
33765000	28,85 ±1,39	5,90 ±0,19	34,86 ±27,18	6,63 ±1,07	55,99 ±9,36	-
33765001	28,59 ±1,52	6,01 ±0,52	34,34 ±27,59	6,33 ±1,42	54,33 ±10,64	-
33780000	30,28 ±1,45	5,99 ±0,88	48,87 ±47,65	6,45 ±1,44	50,53 ±4,69	45,50 ±12,78
33780001	28,27 ±1,33	6,04 ±1,14	36,80 ±45,84	6,44 ±1,33	55,85 ±20,53	-
33760000	29,67 ±1,37	5,78 ±0,91	25,27 ±14,41	6,75 ±1,01	58,25 ±7,37	51,26 ±18,12
33790000	28,66 ±1,65	5,70 ±0,82	6,44 ±2,96	6,78 ±1,04	44,38 ±2,87	41,60 ±15,83
33788000	27,86 ±1,24	5,38 ±0,37	6,56 ±4,72	6,77 ±0,93	54,64 ±10,85	-
33790001	28,95 ±3,60	5,29 ±0,41	3,86 ±2,93	6,87 ±0,65	46,40 ±8,05	-
33730001	29,59 ±2,34	6,62 ±0,44	65,30 ±18,81	6,39 ±1,41	105,51 ±57,26	-
33770001	28,49 ±1,35	6,40 ±0,33	84,10 ±60,31	5,43 ±1,44	111,06 ±65,18	-

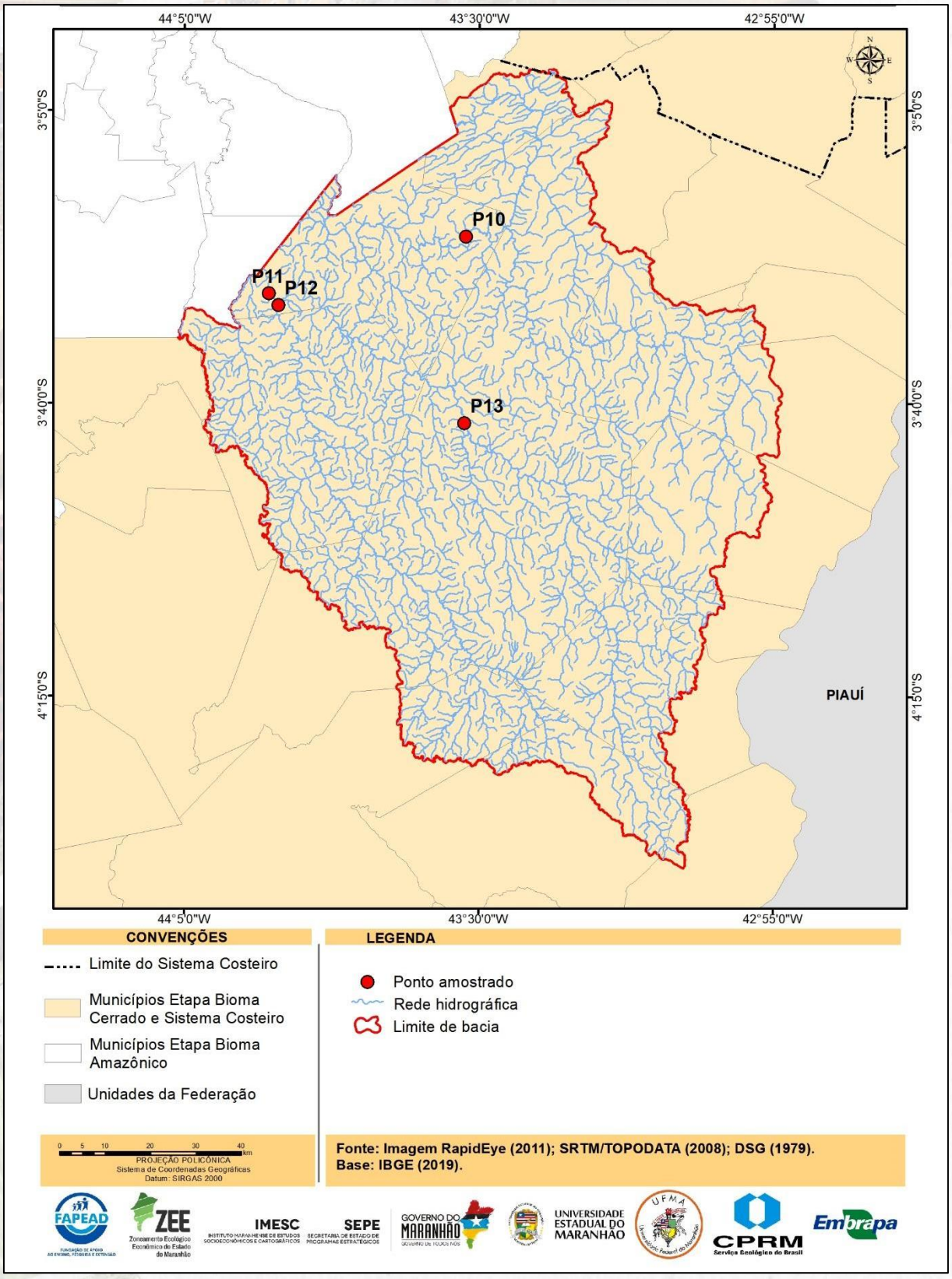
Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica
Fonte: Registro da Pesquisa.

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 29 e 30), nos municípios de Nina Rodrigues, São Benedito do Rio Preto e Chapadinha. O ponto 10 foi coletado na sede do Município de São Benedito do Rio Preto, com intensa ocupação imobiliária nas duas margens do rio, próximo ao centro comercial do município. Os pontos 11 e 12 possuem vegetação bastante preservada em ambas as margens do rio, sendo o ponto 12 bastante usado para pesca. O P13 é cortado pela BR-222, com pequena estrutura de casas, vegetação conservada e curso d'água meândrico.

Figura 29 – Pontos de coleta Bacia Rio Munim

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 30 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Munim.



Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Munim são mostrados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Parâmetros físicos e químicos medidos nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim (abril/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Munim**			
Ponto de Coleta		**P10**	**P11**	**P12**	**P13**
Local de Coleta		**Rio Preto - São Benedito do Rio Preto**	**Rio Munim - Nina Rodrigues**	**Rio Iguará - Nina Rodrigues**	**Rio Munim - Chapadinha**
Data da Coleta		27/04/2021	27/04/2021	27/04/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		9:00	11:09	11:44	17:10
Temperatura	(°C)	27,57	27,50	27,97	26,93
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	50,00	28,00	32,00	31,00
TDS	(mg L^{-1})	33	17	20	19
Turbidez	(NTU)	18,20	55,20	32,40	65,30
pH		5,85	4,44	5,6	5,34
ORP	(mV)	210	186	252	122
OD	(mg L^{-1})	3,60	6,24	3,37	4,95
OD	(%)	46,15	80,00	43,93	63,46
TSS	(mg L^{-1})	9,89	7,89	6,22	10,00
Fosfato	(mg L^{-1})	2,80	2,30	3,85	2,90
Silicato	(mg L^{-1})	46,80	40,40	35,10	48,70
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	0,20	0,16	0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	0,01	0,01
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,70	2,80	1,10	0,70
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O Rio Munim obteve resultados dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, mas houve alguns valores que merecem destaque, como a turbidez, que apresentou concentrações acima de 40 NTU nesta bacia, nos pontos P11 e P13 no mês de abril, e no ponto P12 no mês de maio, estando acima do que estabelece a legislação. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa, assim como também pode estar relacionada à erosão das margens do rio.

O pH este abaixo dos valores padronizados na resolução brasileira, em todos os pontos de coleta no Rio Munim durante o mês de abril e no P10, durante o mês de maio, indicando águas levemente ácidas neste rio.

Tabela 17 – Parâmetros físicos e químicos medidos nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim (maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Munim**			
Ponto de Coleta		**P10**	**P11**	**P12**	**P13**
Local de Coleta		**Rio Preto - São Benedito do Rio Preto**	**Rio Munim - Nina Rodrigues**	**Rio Iguará - Nina Rodrigues**	**Rio Munim - Chapadinha**
Data da Coleta		26/05/2021	26/05/2021	26/05/2021	25/05/2021
Horário de Coleta		09:41	11:47	12:29	17:53
Temperatura	(°C)	28,83	29,23	30,07	29,73
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,01
CE	(µS cm^{-1})	83	78	107	110
TDS	(mg L^{-1})	54	50	69	71
Turbidez	(NTU)	12,4	27,1	57,1	34
pH		5,35	6,18	6,43	6,72
ORP	(mV)	175	44	70	73
OD	(mg L^{-1})	4,03	3,97	3,24	4,86
OD	(%)	51,96	51,70	42,95	63,72
TSS	(mg L^{-1})	7,88	16,13	20,63	27,88
Fosfato	(mg L^{-1})	3,78	2,83	3,85	2,47
Silicato	(mg L^{-1})	52,10	52,10	54,60	48,70
Nitrato	(mg L^{-1})	0,40	0,30	0,50	0,50
Nitrito	(mg L^{-1})	0,02	0,02	0,04	0,02
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,70	2,10	3,50	1,50
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O OD mostrou valores menores do que é recomendado pela resolução CONAMA nesta bacia, sendo menor no Rio Iguará (P12) no mês de abril e maio, indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática. O OD% mostrou que as águas do Munim são subsaturadas em oxigênio, também com as menores saturações no P12, indicando excesso de matéria orgânica, comum em áreas com deságues de esgoto doméstico, podendo ser um indicador de águas poluídas.

As concentrações de fosfato ficaram bem acima do que determina as normas brasileira, indicando um potencial para eutrofização nesse rio, que também apresenta boa disponibilidade de silicato e N-amoniacal nas suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são esperadas no período chuvoso, quando há maior contribuição do aporte pluvial e de lixiviação continental pelo aporte fluvial. Mas também pode representar contribuição antrópica desses nutrientes, sobretudo o fosfato e o N-

amoniacal, que quando presente em grandes concentrações, indica aportes da entrada de esgoto doméstico.

3.5 Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru

3.5.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Itapecuru representa a segunda maior bacia hidrográfica do BCSC (26,3%), com área equivalente a 50.094,3km^2. A bacia tem limites hidrográficos à nordeste, com a Bacia do Rio Munim; à oeste, com a Bacia do Rio Mearim e; à sul e leste, com a Bacia do Rio Parnaíba. Ao todo, a rede hidrográfica possui 9.926 trechos de drenagem e 31.166,9km de extensão de cursos d'água (Figura 31). O rio Itapecuru tem aproximadamente 756,7km de extensão. No alto curso da Bacia do Rio Itapecuru, há a unidade de conservação de proteção integral do Parque Estadual do Mirador, importante área preservada que agrega as nascentes do Rio Itapecuru e do seu principal afluente, o Rio Alpercatas.

O alto curso do rio Itapecuru possui paisagem marcada por um conjunto de serras e chapadas que compõem as Chapadas do Alto Itapecuru (Figura 32). Este compartimento é descrito por um conjunto de feições tabulares formadas por rochas paleozoicas e mesozoicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, constituídas por depósitos sedimentares e derrames vulcânicos (CPRM, 2013). As formas tabulares denominadas de chapadas tiveram sua gênese no soerguimento dessa bacia ao longo do Cenozoico. Consequentemente, as zonas de fragilidade deixada por estes movimentos deram condições para a drenagem se instalar e esculpir os blocos conhecidos regionalmente por Serra das Alpercatas, Serra de Itapecuru, Serra da Croeira, Chapada do Azeitão, Serra Vermelha, Chapada do Alegre e Chapada do Agreste.

Estes blocos que foram seccionados pelos vales dos rios da região – Itapecuru e Alpercatas – apresentam relevos de topos planos com recuo das escarpas em direção às cabeceiras dos cursos d'água. O alto curso é o divisor hidrográfico de duas grandes bacias – o Rio Alpercatas e o Rio Itapecuru. O Rio Alpercatas possui 195km de extensão e é o principal rio de contribuição para a bacia do Itapecuru. Ambos nascem nas costas mais elevadas da Serra do Itapecuru e se encontram na cidade de Colinas.

Os riachos que drenam a Serra de Itapecuru apresentam extensões variadas, porém uma característica que a maioria tem em comum é que, assim como os rios principais que circundam a Serra (rio Itapecuru e Alpercatas), se desenvolveram principalmente no sistema de falhas que ocorre na região. Estas falhas de acordo com RADAM (1973) possuem cisalhamento com direção NE-SW, nas suas terminações norte e NW-SE em suas terminações sul, que correspondem à direção da drenagem da maioria dos riachos, configurando curso d'águas retilíneos com padrão de drenagem retangular.

No médio curso da bacia há a transição do relevo tabular para uma superfície dissecada com colinas e morros. No baixo curso, predominam os tabuleiros. Observa-se, na transição alto-médio curso, que o rio Itapecuru faz uma inflexão brusca, desviando seu percurso antes, na direção NE-SW, para a direção N-S. No baixo curso, a planície aluvial do rio Itapecuru atinge cerca de 4km de extensão.

Os parâmetros morfométricos mostram que a Bacia do Rio Itapecuru possui média densidade de drenagem (0,6 km/km^2) e a maior densidade hidrográfica (0,2 Nc/km^2) do bioma. Esse parâmetro é crucial para o entendimento da contribuição denudacional, pois, quanto maior ou menor for este parâmetro, maior ou menor será a velocidade dos processos que agem na esculturação da paisagem da bacia. A declividade varia de 0 a 43,5^0 (Figura 33), sendo que os maiores declives se concentram no alto e médio curso em virtude da maior dissecação do relevo.

Figura 31 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Itapecuru

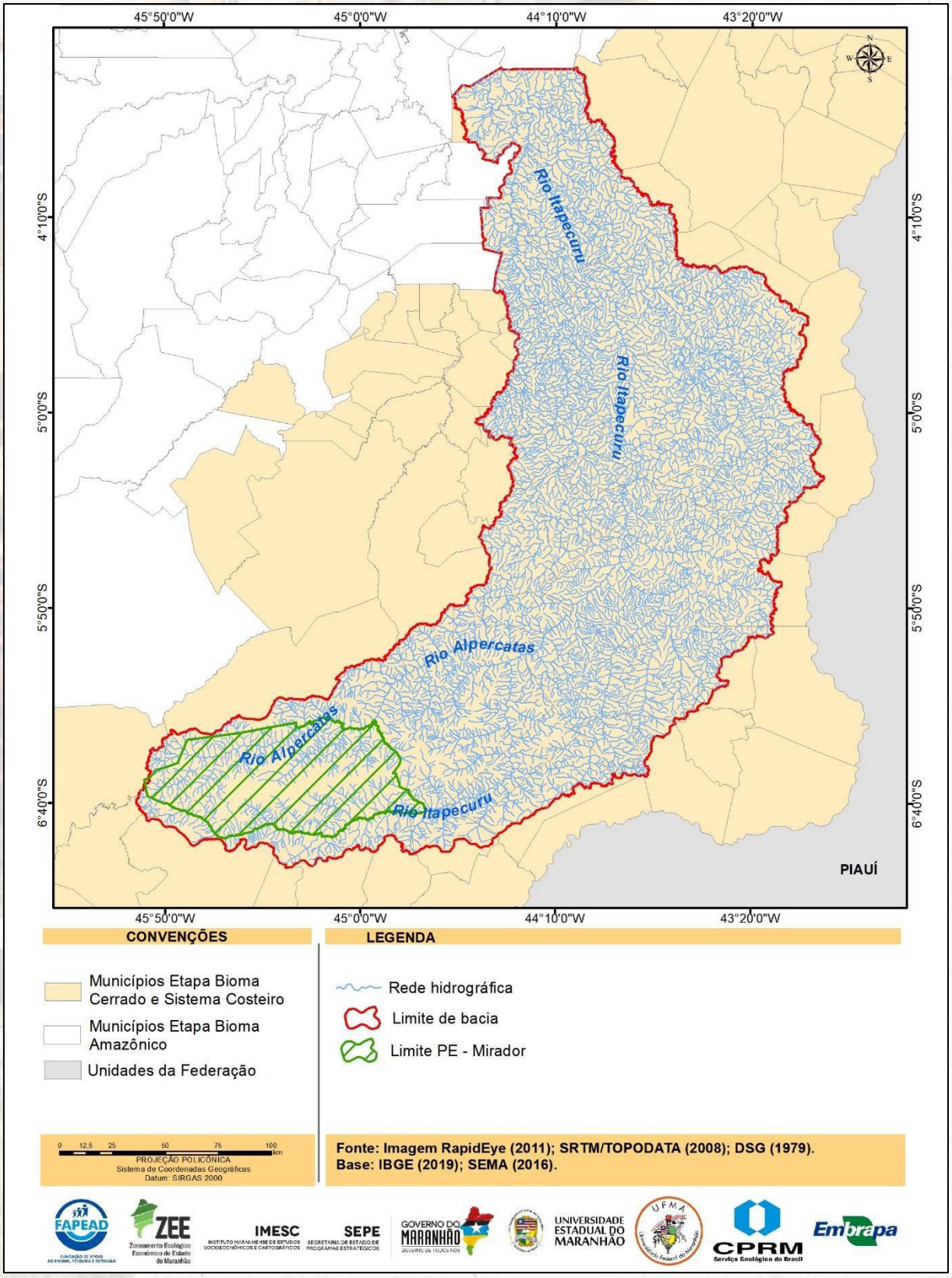


Figura 32 – Hipsometria da Bacia do Rio Itapecuru

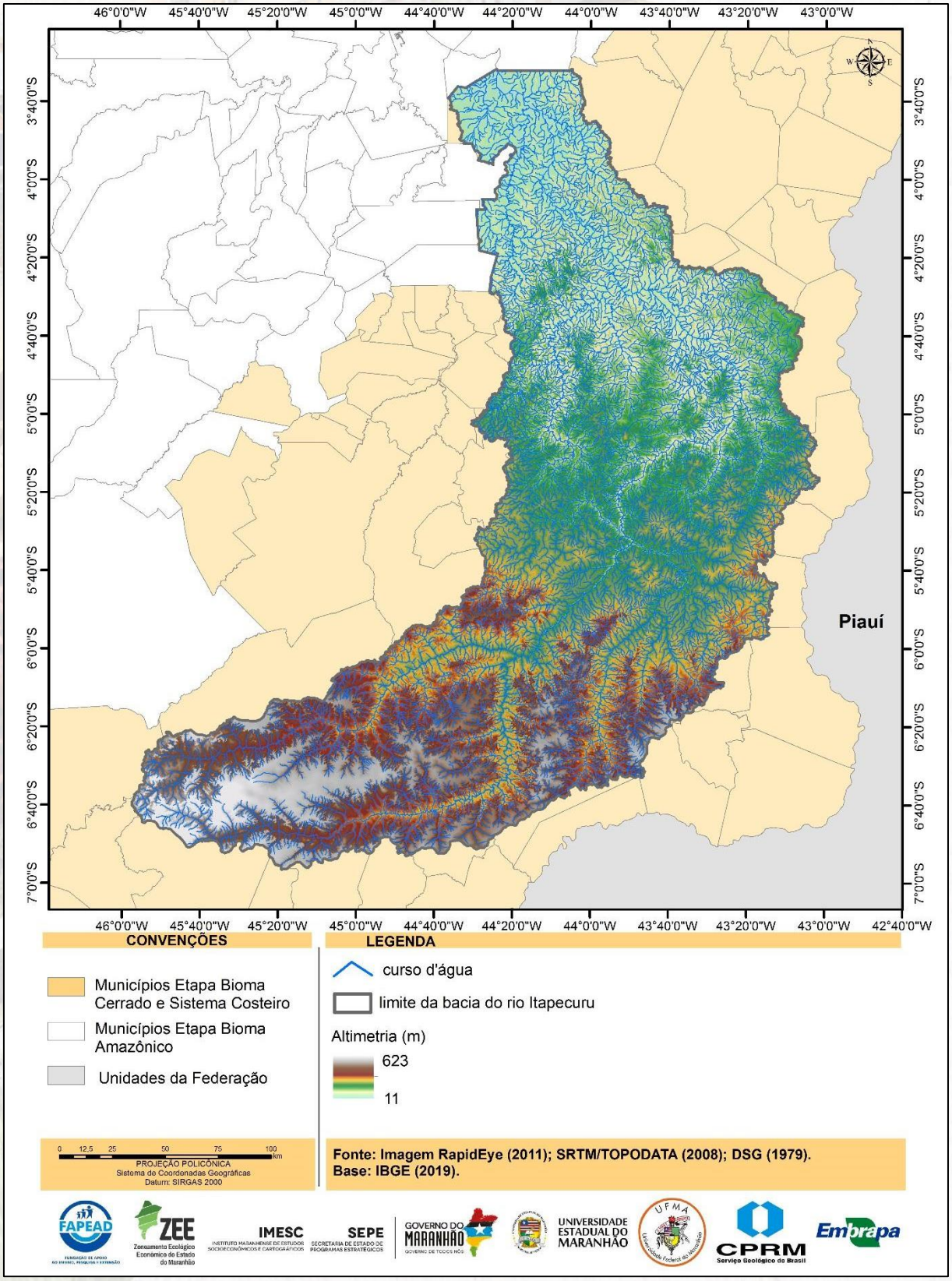
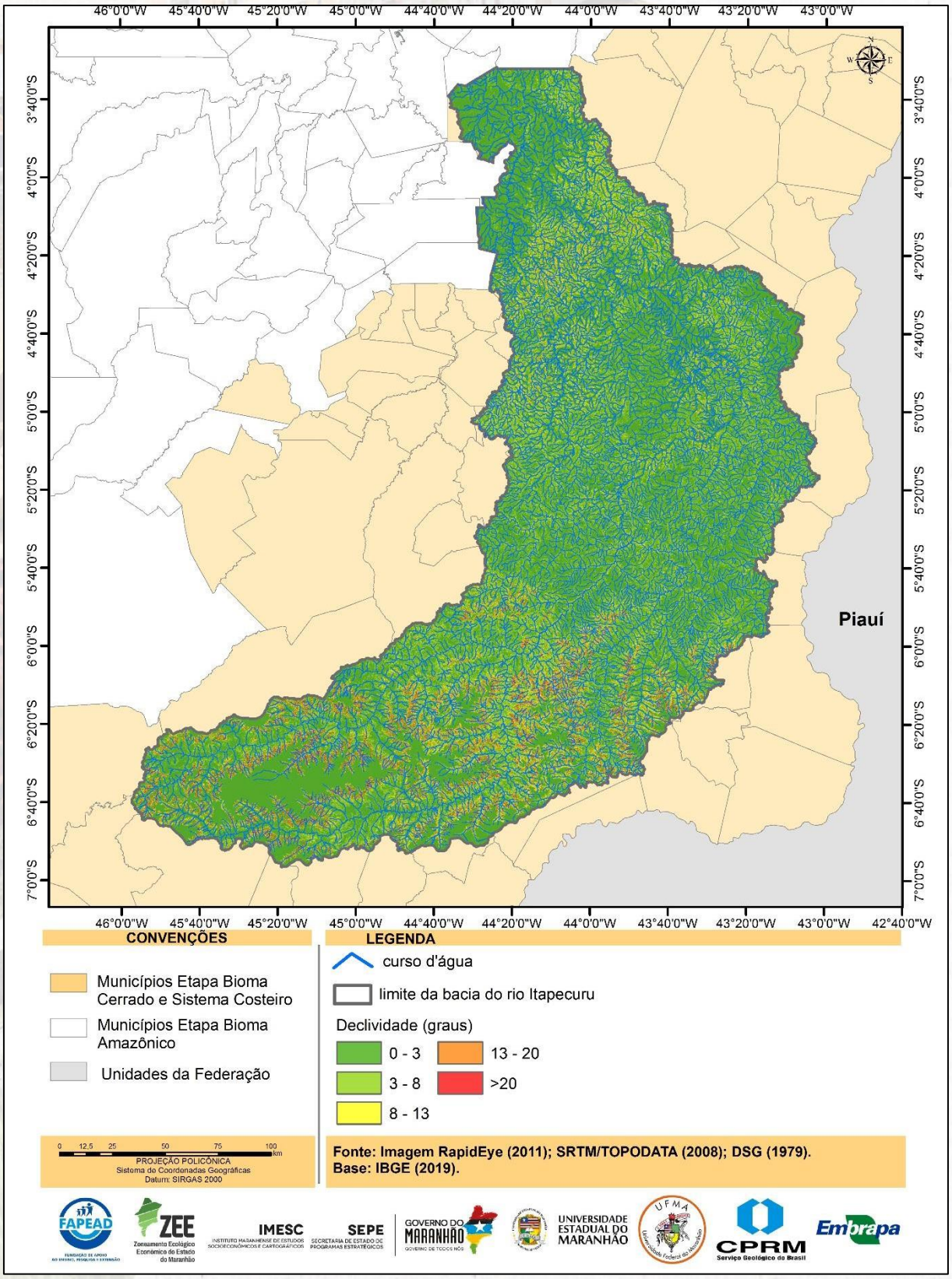


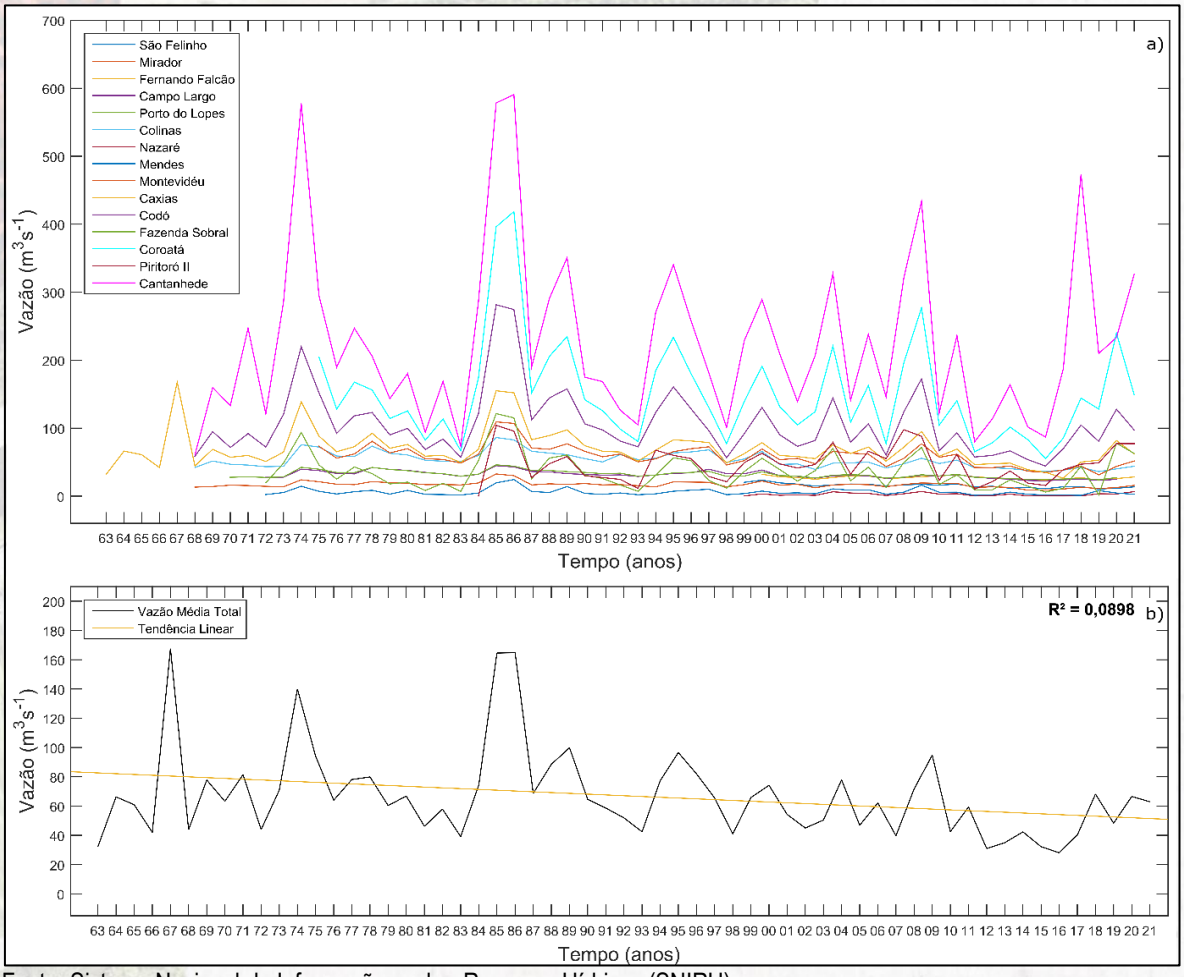
Figura 33 – Declividade da Bacia do Rio Itapecuru



3.5.2 Regime Fluvial

As vazões médias anuais das 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (isto é, estações São Felinho, Mirador, Fernando Falcão, Campo Largo, Porto do Lopes, Colinas, Nazaré, Mendes, Montevidéu, Caxias, Codó, Fazenda Sobral, Coroatá, Peritoró II, Cantanhede) e a vazão média total da bacia são mostradas na Figura 34 e Tabela 18. A vazão média anual total para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru variou de 28,06 m^3s^{-1} a 167,6 m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1967 (Figura 34b). Analisando-se as vazões médias anuais, foi possível notar que as estações de Cantanhede e Coroatá, localizadas no baixo curso do Rio Itapecuru, apresentam as maiores amplitudes de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, atingindo um pico de 590,7 m^3s^{-1} na estação Cantanhede em 1986 (Figura 34a). Em geral, a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru apresentou uma tendência de redução da vazão dos rios (Figura 34b e Tabela 18).

Figura 34 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As vazões médias dos rios medidas por 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e a tendência anual são mostradas na Tabela 18. De acordo com os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, no alto curso da bacia, o Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação São Felinho, apresentou vazão média anual de 15,3 m^3s^{-1} (Tabela 18). Na estação Mirador, o Rio Itapecuru apresentou vazão média anual de 16,9 m^3s^{-1}. Ainda no alto curso da bacia, o Rio Alpercatas, um dos principais afluentes do Rio Itapecuru, possui três estações fluviométricas, onde a vazão média anual variou de 27,1 m^3s^{-1} a 32,1 m^3s^{-1}. Mais adiante, o Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Colinas, apresentou vazão média anual de 53,4 m^3s^{-1}. No médio curso da Bacia do Itapecuru, o Rio Balseiros e o Rio Correntes, afluentes do Rio Itapecuru nessa região, apresentaram vazão média anual de 2,7 m^3s^{-1} e 6,1 m^3s^{-1}, respectivamente. O Rio Balseiros apresentou grandes lacunas nas séries temporais, o que pode ter influenciado na definição correta de sua vazão. No Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Montevidéu e Caxias, a vazão média anual foi de 59,5 m^3s^{-1} e 68,9 m^3s^{-1}, respectivamente (Tabela 18). No Rio Itapecuru, os dados monitorados na estação Codó mostram vazão média anual de 106 m^3s^{-1}. O Rio Codozinho, afluente do Rio Itapecuru, apresentou vazão média anual de 36,5 m^3s^{-1}. Ainda no trecho do médio curso da bacia, o Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Coroatá, apresentou vazão média anual de 151,5 m^3s^{-1}. Os dados também mostram que neste trecho, o Rio Itapecuru apresentou a maior redução na vazão em comparação com as outras estações desta bacia, com um decréscimo de cerca de 55,7 m^3s^{-1} (Tabela 18). No baixo curso da bacia, o Rio Peritoró, afluente do Rio Itapecuru, apresentou vazão média anual de 48,3 m^3s^{-1}. Mais adiante, a vazão média anual do Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Cantanhede, foi de 223,5 m^3s^{-1} (Tabela 18). Os afluentes que contribuem com a vazão do rio principal desta bacia, o Rio Itapecuru, e que estão inseridos no BCSC e possuem dados de vazão, são os Rios Correntes e Codozinho (pela margem direita) e os Rios Alpercatas e Peritoró (pela margem esquerda). Na região do baixo curso da bacia, o índice pluviométrico médio é de 1.550 mm ano^{-1}, enquanto no alto curso da bacia o índice é de 1.200 mm ano^{-1} (CODEVASF, 2019). Esse fato pode explicar, em parte, os altos valores de vazão dos rios situados no baixo curso desta bacia. Entretanto, as estações da Bacia do Rio Itapecuru apresentaram tendências de redução nas vazões dos rios ao longo dos anos, com exceção da estação Peritoró II que apresentou uma leve tendência positiva (Tabela 18).

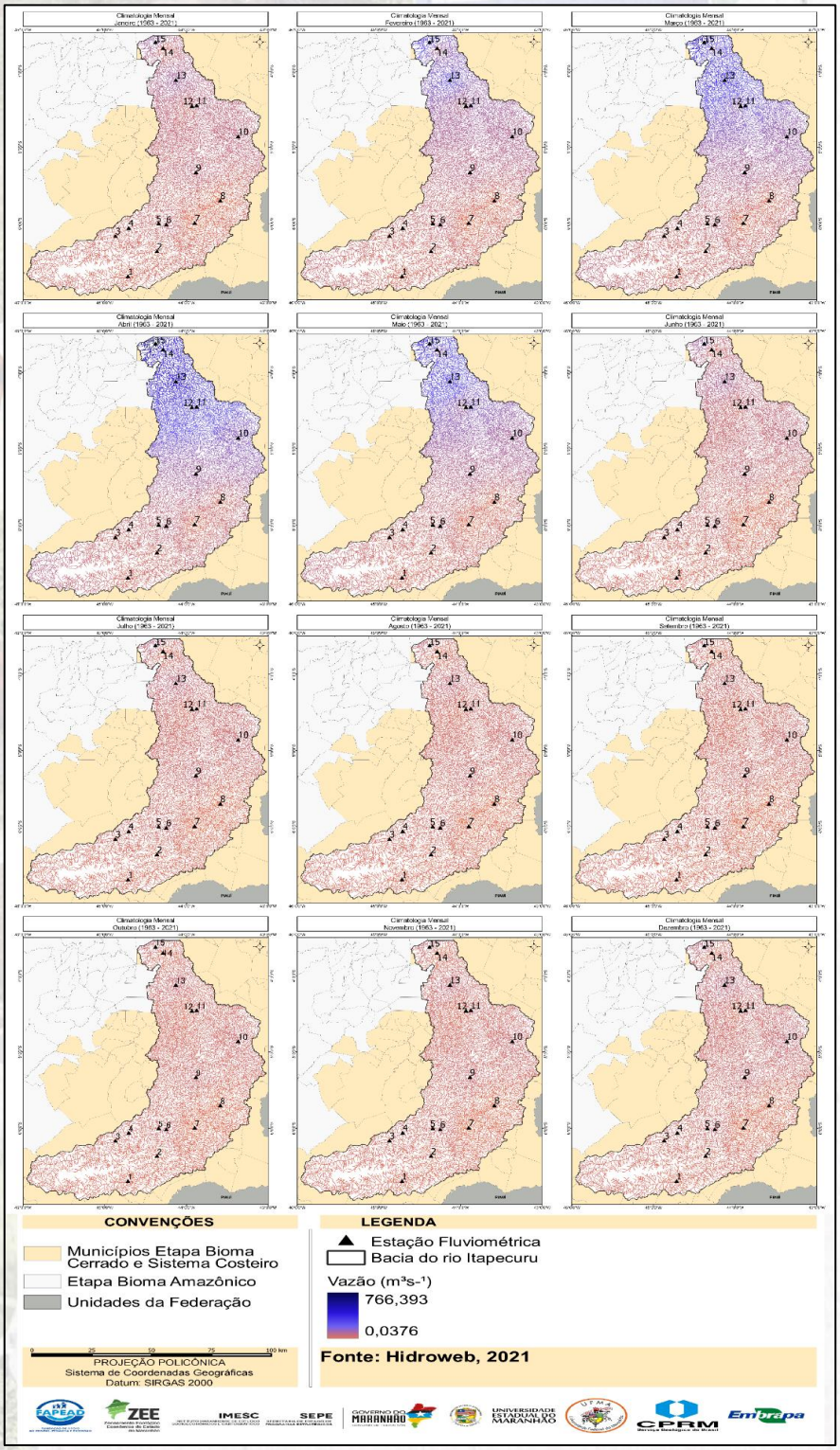
Tabela 18 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
São Felinho	15,3	-9,5	Rio Itapecuru	1999 - 2021
Mirador	16,9	-5,7	Rio Itapecuru	1968 - 2021
Fernando Falcão	27,1	-4,2	Rio Alpercatas	2000 - 2021
Campo Largo	31,7	-12,6	Rio Alpercatas	1972 - 2020
Porto do Lopes	32,1	-10,8	Rio Alpercatas	1970 - 2020
Colinas	53,4	-19,9	Rio Itapecuru	1968 - 2021
Nazaré	2,7	-0,037	Rio Balseiros	1999 - 2021
Mendes	6,1	-3,3	Rio Correntes	1972 - 2021
Montevidéu	59,5	-31,6	Rio Itapecuru	1975 - 2021
Caxias	68,9	-24,1	Rio Itapecuru	1963 - 2021
Codó	106	-38,1	Rio Itapecuru	1968 - 2021
Fazenda Sobral	36,5	-14,4	Rio Codozinho	1972 - 2021
Coroatá	151,5	-55,7	Rio Itapecuru	1975 - 2021
Peritoró II	48,3	+1,42	Rio Peritoró	1984 - 2021
Cantanhede	223,5	-11,9	Rio Itapecuru	1968 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A climatologia mensal (janeiro a dezembro) mostrou que as maiores vazões dos rios monitorados na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru ocorreram no seu alto curso, no trimestre de março – abril – maio (Figura 35).

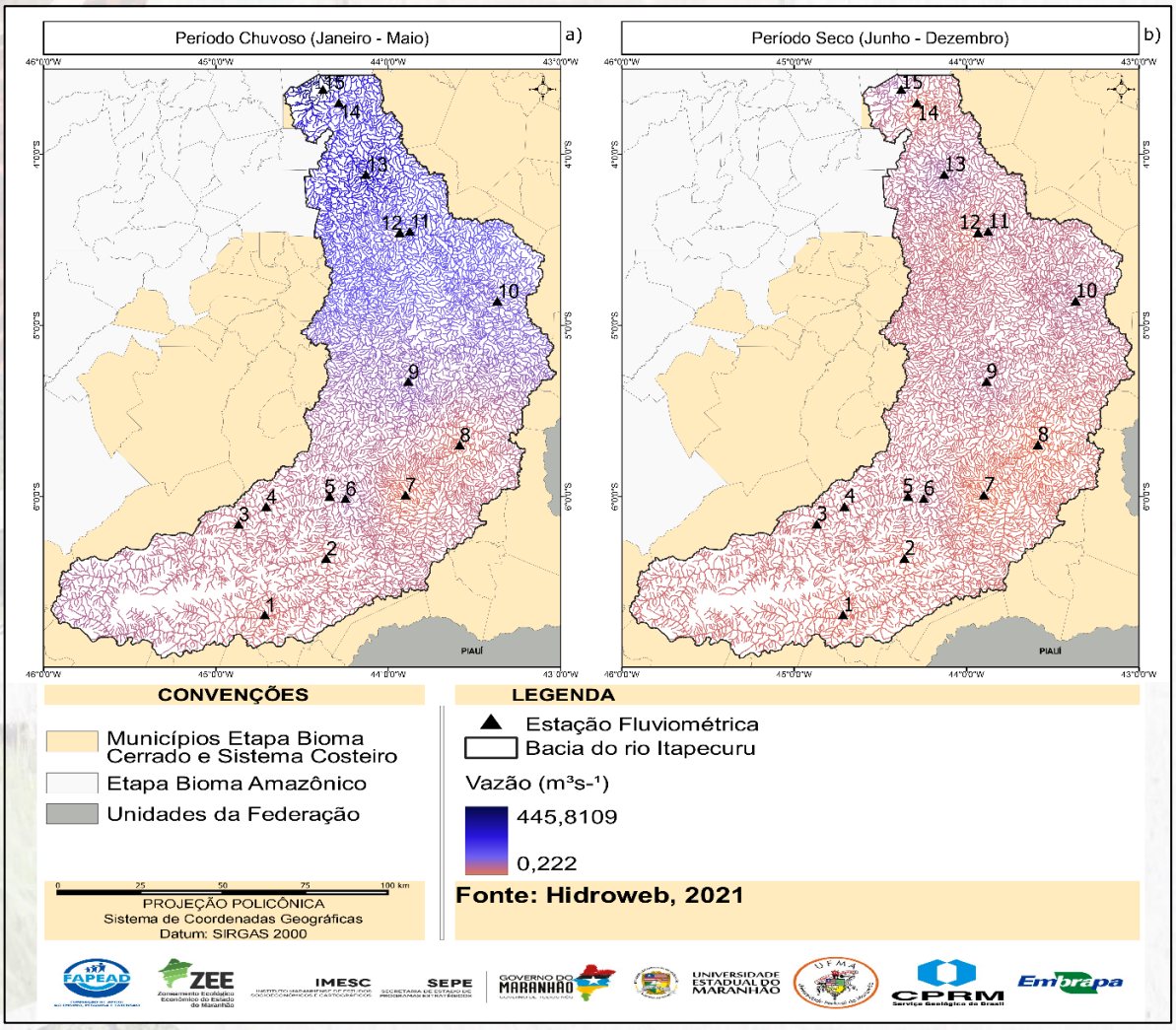
Figura 35 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Piritoró II e 15 – Cantanhede



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As distribuições sazonais das vazões para os meses que compõem o período chuvoso e para os meses que compõem o período seco da região são mostradas na Figura 36. Os resultados mostram que as vazões dos rios se distribuem zonalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, com maiores (menores) vazões no setor norte (sul), ou seja, no baixo (alto) curso da bacia, respectivamente. Observa-se também que, mesmo no período chuvoso, baixas vazões são encontradas no baixo curso desta bacia.

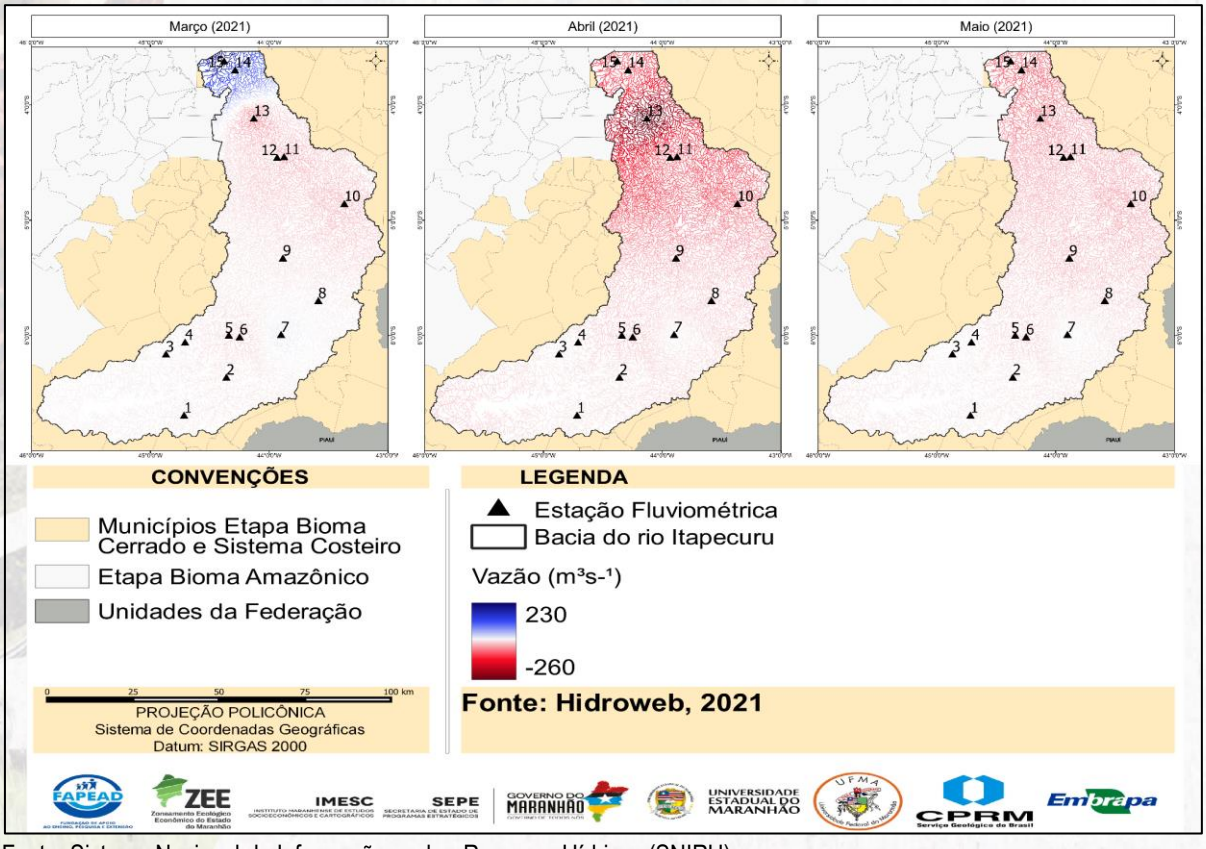
Figura 36 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da re região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A Figura 37 mostra os campos anômalos em relação à média climatológica (1963-2021), das vazões dos rios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru para os meses que foram realizadas as coletas in situ (i.e., março, abril e maio de 2021). Observa-se que os meses de coleta in situ dos dados de qualidade de água realizados neste estudo foram anos anomalamente secos nesta bacia, com o pico no mês de abril de 2021. Em março anterior, observam-se anomalias positivas de vazão nas estações ao norte da bacia.

Figura 37 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Piritoró II e 15 – Cantanhede



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados também mostraram que as vazões das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru são influenciadas pelo fenômeno ENOS, com uma correlação negativa baixa, porém significativa (Tabela 19). Dentre as regiões do ENOS, a Niño 1+2 foi a que mais influenciou sobre a vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, seguida da Niño 4.

Tabela 19 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

	Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4	
	r	P	r	p	r	p	r	p
Bacia do Rio Itapecuru	-0.1915	0.0000	-0.1736	0.0000	-0.1842	0.0000	-0.1750	0.0000

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.5.3 Qualidade de Água

A bacia do rio Itapecuru possui uma rede de monitoramento composta por 20 estações vinculadas à RHN. A vaiável temperatura da água oscilou entre 26,86±1,66 a 29,92±1,34 ºC. Os valores refletem que a bacia possui comportamento característico de regiões tropicais. A escala de pH tendeu para águas de levemente ácida à levemente alcalina, com faixa variando entre 5,68±0,68 até 7,38±0,66 (Tabela 20). Este tipo de variação é esperado para bacias com a dimensão territorial e hidrográfica como a do rio Itapecuru, onde seus afluentes estão submetidos a diferentes dinâmicas geoambientais.

A turbidez apresentou valores médios e desvio padrão que refletem relevante variações da variável nas estações de monitoramento. Provavelmente essa tendência deve estar associada aos ciclos pluviométricos que convergem na bacia hidrográfica, potencializando ou reduzindo o carreamento de material em suspensão para o caudal fluvial do rio ao longo do ano. A maior variação e valor médio foi detectada no rio Itapecuru, no município de Codó (64,89±56,86 NTU, estação 33590000), sugerindo que essa região está submetida a uma maior influência dos sólidos suspenso no rio.

Na bacia do Itapecuru, duas estações apresentam dados referentes às variáveis DQO, DBO, TSS e TDS. Também, para a estação 33630000 (rio Itapecuru, na cidade de Coroatá), estão disponíveis os dados de Nitrogênio Total e Nitritos. Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 20 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Itapecuru.

10,5	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TSS	TDS	NT	Nitritos
33630500	29,92 ±1,34	6,23 ±0,56	14,20 ±10,99	2,20 ±2,06	101,42 ±39,92	-	-	-	-	-	-	-
33450000	27,27 ±1,23	5,68 ±0,68	7,42 ±4,13	6,90 ±1,37	10,08 ±1,53	11,96 ±12,94	-	-	-	-	-	-
33680001	29,23 ±1,46	7,07 ±0,59	38,21 ±33,42	7,20 ±0,95	79,73 ±20,33	-	-	-	-	-	-	-
33680000	29,92 ±1,93	6,88 ±1,01	62,97 ±61,16	6,36 ±1,62	65,87 ±21,18	55,64 ±18,72	-	-	-	-	-	-
33590000	29,42 ±1,46	6,60 ±1,08	64,89 ±56,86	6,71 ±1,75	72,53 ±26,02	50,81 ±24,11	-	-	-	-	-	-
33550000	28,75 ±1,91	6,28 ±0,88	46,38 ±48,29	6,48 ±1,47	60,27 ±27,17	49,31 ±24,48	18,95 ±11,56	3,04 ±2,99	53,64 ±38,09	52,25 ±37,27	-	-
33480000	27,88 ±1,23	6,08 ±0,79	26,61 ±14,23	6,67 ±1,57	21,11 ±4,84	23,54 ±23,41	-	-	-	-	-	-
33410000	27,38 ±1,23	6,17 ±0,91	10,95 ±10,78	7,13 ±1,18	8,01 ±3,03	11,53 ±10,64	-	-	-	-	-	-
33630000	29,51 ±2,05	6,44 ±0,97	42,23 ±27,91	6,47 ±1,62	78,21 ±33,11	68,39 ±26,47	23,25 ±17,28	2,59 ±2,47	33,03 ±26,81	74,67 ±79,20	1,49 ±2,27	0,83 ±2,97
33620000	28,69 ±1,63	6,68 ±0,81	32,68 ±38,90	6,43 ±1,39	155,25 ±58,35	121,56 ±42,09	-	-	-	-	-	-
33430000	26,98 ±1,09	5,70 ±0,70	5,53 ±3,93	6,85 ±1,19	9,04 ±2,61	8,86 ±4,38	-	-	-	-	-	-
33685000	29,33 ±1,64	7,38 ±0,66	37,61 ±34,44	7,33 ±1,04	69,46 ±15,74	-	-	-	-	-	-	-
33520000	26,86 ±1,66	7,14 ±0,57	39,49 ±50,17	5,59 ±1,49	265,61 ±53,77	222,59 ±66,01	-	-	-	-	-	-
33420000	27,81 ±1,62	6,03 ±0,64	33,72 ±21,79	6,80 ±1,22	19,36 ±12,02	23,00 ±42,03	-	-	-	-	-	-
33530000	28,73 ±1,27	6,48 ±1,10	32,03 ±18,77	6,81 ±1,45	48,31 ±19,78	34,91 ±20,88	-	-	-	-	-	-
33490000	26,61	7,01	30,19	5,77	204,42	186,21	-	-	-	-	-	-

10,5	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TSS	TDS	NT	Nitritos
	±1,45	±0,78	±29,05	±1,23	±114,44	±76,58						
33638000	29,63 ±1,39	6,52 ±0,70	45,15 ±38,01	4,19 ±1,84	105,05 ±43,77	63,50 ±45,90	-	-	-	-	-	-
33661000	29,30 ±1,84	6,77 ±0,85	58,08 ±35,39	6,25 ±1,77	159,05 ±68,14	112,67 ±73,17	-	-	-	-	-	-
33460000	27,65 ±1,39	5,89 ±0,67	12,25 ±7,62	7,25 ±1,14	13,50 ±6,25	14,94 ±12,66	-	-	-	-	-	-
33410000	27,38 ±1,23	6,17 ±0,91	10,95 ±10,78	7,13 ±1,18	8,01 ±3,03	13,59 ±16,48	-	-	-	-	-	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); TSS – Total de Sólidos Suspensos (mg L^{-1}); TDS – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1}).
Fonte: Elaboração própria.

A coleta foi realizada em 6 pontos (Figuras 38 e 39), nos municípios de Cantanhede, Pirapemas, Codó, Caxias e Colinas. Os pontos P14 e P16 foram definidos nas proximidades da sede dos municípios de Cantanhede e Pirapemas, respectivamente, porém com pequena ocupação imobiliária e vegetação preservada. Os pontos P15 e P17 localizam-se nas proximidades da MA-332 e BR-316, respectivamente, em áreas meândricas e com vegetação preservada. Os pontos P18 e P19 também são trechos meândricos, distantes da sede e de povoados, com vegetação preservada nas duas margens do rio.

Figura 38 – Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru

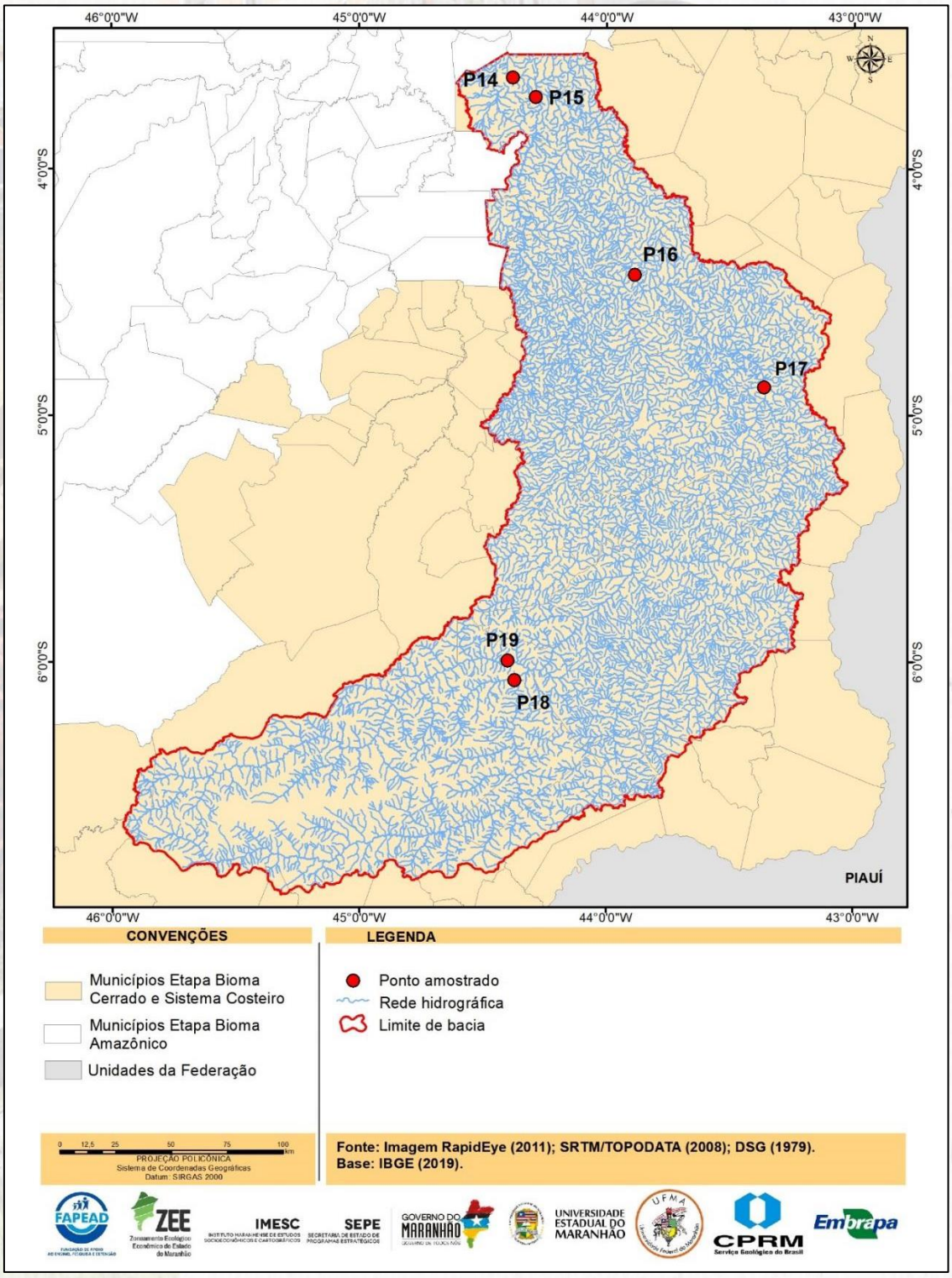


Figura 39 – Pontos de coleta da Bacia Rio Itapecuru

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Itapecuru se encontram nas Tabelas 21 e 22.

No mês de abril de 2021, a turbidez mostrou valores elevados em quase todos os pontos de estudo dessa bacia, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no ponto P19, que ficou dentro do limite. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa. No mês de maio, os valores foram menores e, embora o P15 ainda tenha sido um pouco elevado (Tabela 17), ainda ficou dentro do limite permitido.

O OD apresentou teores preocupantes nos pontos P14 e P16 na coleta de abril, sendo menor que 4 mg L^{-1}, já no mês de maio, embora todos os pontos de estudo tenham obtidos valores de OD menores do que é referendado pelo padrão CONAMA, foram levemente menores, indicando boa disponibilidade de oxigênio. O OD% mostrou valores abaixo de 50% nos pontos P14 e P16 em abril. Os demais pontos de abril e maio, embora indiquem que as águas estão subsaturadas em oxigênio, isto não compromete a biota e as necessidades das águas da bacia. A distribuição do OD é uma indicação direta de qualidade, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000).

A carga dos totais de sólidos suspensos (TSS) na água apresentou valores elevados em relação às demais bacias estudadas no BCSC, sendo maior no mês de abril e no Rio Peritoró (P15), indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência tanto das chuvas como também de erosão das margens, seja por ações naturais e/ou antrópicas.

Tabela 21 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru (Abril / 2021)

		Bacia do Rio Itapecuru					
Ponto de Coleta		**P14**	**P15**	**P16**	**P17**	**P18**	**P19**
Local de Coleta		**Rio Itapecuru - Cantanhede**	**Rio Peritoró - Pirapemas**	**Rio Itapecuru - Codó**	**Rio Itapecuru - Caxias**	**Rio Itapecuru - Rio Itapecurizinho**	**Rio Itapecuru - Rio Alpecartas - Colinas**
Data da Coleta		27/04/2021	05/05/2021	04/05/2021	04/05/2021	20/04/2021	20/04/2021
Horário de Coleta		14:58	17:00	8:41	10:50	10:12	11:38
Temperatura	(°C)	29,54	26,80	27,67	28,00	26,76	27,11
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	106,00	77,00	5,00	95,00	29,00	13,00
TDS	(mg L^{-1})	69	50	4	62	19	9
Turbidez	(NTU)	68,10	138,00	99,00	70,50	62,80	6,30
pH		6,58	7,37	6,56	5,83	6,89	6,43
ORP	(mV)	173	69	117	160	107	124
OD	(mg L^{-1})	3,55	6,17	3,74	4,59	5,71	5,97
OD	(%)	47,06	80,36	48,30	60,85	70,62	74,43
TSS	(mg L^{-1})	53,22	107,60	40,00	14,60	38,83	4,40
Fosfato	(mg L^{-1})	2,51	3,71	1,95	2,80	2,83	0,06
Silicato	(mg L^{-1})	45,60	26,20	47,80	47,60	58,30	50,50
Nitrato	(mg L^{-1})	0,12	0,51	0,19	0,12	0,15	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,60	2,20	0,70	0,90	0,80	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As concentrações de fosfato ficaram bem acima do que determina a resolução vigente, exceto no Rio Alpercatas (P19), indicando um potencial para eutrofização nesse rio, que também apresenta altas concentrações de silicato, além de boas quantidades dos nutrientes nitrato e N-amoniacal, capazes de sustentar a produtividade primária de suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios.

Os resultados dos outros parâmetros estudados na Bacia do Rio Itapecuru ficaram dentro do limiar regido pela resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 22 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru (Maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Itapecuru**					
Ponto de Coleta		**P14**	**P15**	**P16**	**P17**	**P18**	**P19**
Local de Coleta		**Rio Itapecuru - Cantanhede**	**Rio Peritoró – Pirapemas**	**Rio Itapecuru - Codó**	**Rio Itapecuru - Caxias**	**Rio Itapecuru - Rio Itapecurizinho**	**Rio Itapecuru - Rio Alpecartas - Colinas**
Data da Coleta		26/05/2021	26/05/2021	08/06/2021	08/06/2021	01/06/2021	01/06/2021
Horário de Coleta		16:57	16:05	17:02	12:48	10:37	09:54
Temperatura	(°C)	30,79	31,31	29,02	27,94	25,99	25,78
Salinidade	(g kg^{-1})	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	135	161	88	70	24	27
TDS	(mg L^{-1})	88	105	57	45	16	17
Turbidez	(NTU)	20,5	36,8	12,4	12,0	24,6	2,9
pH		7,45	6,97	7,35	7,38	6,83	6,85
ORP	(mV)	76	96	24	62	52	45
OD	(mg L^{-1})	5,81	5,91	5,09	5,55	5,58	5,52
OD	(%)	77,47	80,32	64,64	71,07	68,90	69,40
TSS	(mg L^{-1})	14,88	27,88	23,50	29,13	22,78	0,67
Fosfato	(mg L^{-1})	2,02	2,74	4,90	5,60	6,80	1,90
Silicato	(mg L^{-1})	48,30	40,70	43,60	40,70	42,00	34,60
Nitrato	(mg L^{-1})	0,70	0,60	0,30	< 0,10	0,20	0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	0,01	0,02	0,03	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,50	4,20	3,90	2,30	1,60	1,30
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.6 Bacia hidrográfica do Rio Mearim

3.6.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Mearim tem área de 27.925,7km^2, a qual corresponde à 14,6% da área pertencente ao BCSC. A bacia faz limites hidrográficos à leste, com a Bacia do Rio Itapecuru e; à sul, com a bacia do Rio Tocantins. A rede hidrográfica compõe-se de 4.305 trechos de drenagem, totalizando

15.431,6km de cursos d'água (Figura 40), destacando-se como os rios de maior extensão, o Rio Mearim (488,6km) e o Rio da Flores (216,4km). Destaca-se que a maior parte da Bacia do Rio Mearim se insere no Bioma Amazônico, sendo que no BCSC predominam porções fragmentadas do alto e médio curso e, em menor proporção, do baixo curso da bacia.

No alto curso da Bacia do Rio Mearim, os relevos são altimetricamente inferiores às chapadas do alto curso do Rio Itapecuru, com vales mais amplos e preenchidos de sedimentos. As cabeceiras de drenagem apresentam relevo plano a suavemente inclinado em altitude de 200 a 500m, sendo que a maior cota altimétrica atinge 687m (Figura 41). Na transição para o médio curso, a rede de drenagem dissecou uma grande superfície, originando um relevo suavemente ondulado, de colinas e morros, onde predomina o padrão de drenagem dendrítico. Observa-se diferença de dissecação fluvial e variação altimétrica entre as porções oeste e leste da bacia no médio curso, assim como uma ruptura de declive na transição médio-baixo curso. Nesta porção, configura-se uma extensa planície de inundação do rio principal.

A influência estrutural também se faz presente ao longo da Bacia do Rio Mearim. Uma das evidências pode ser observada no afluente da margem direita, o Rio das Flores. Este rio apresenta forte inflexão, com alteração da direção NE-SW para N-S, seguindo neste trecho paralelamente ao Rio Mearim. Os parâmetros morfométricos indicam média densidade de drenagem (0,6 km/km^2), similar à da Bacia do Rio Itapecuru e, densidade hidrográfica de 0,15Nc/km^2. A declividade varia de 0 a 46,2^0 (Figura 42), sendo a terceira maior do BCSC.

Figura 40 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Mearim.

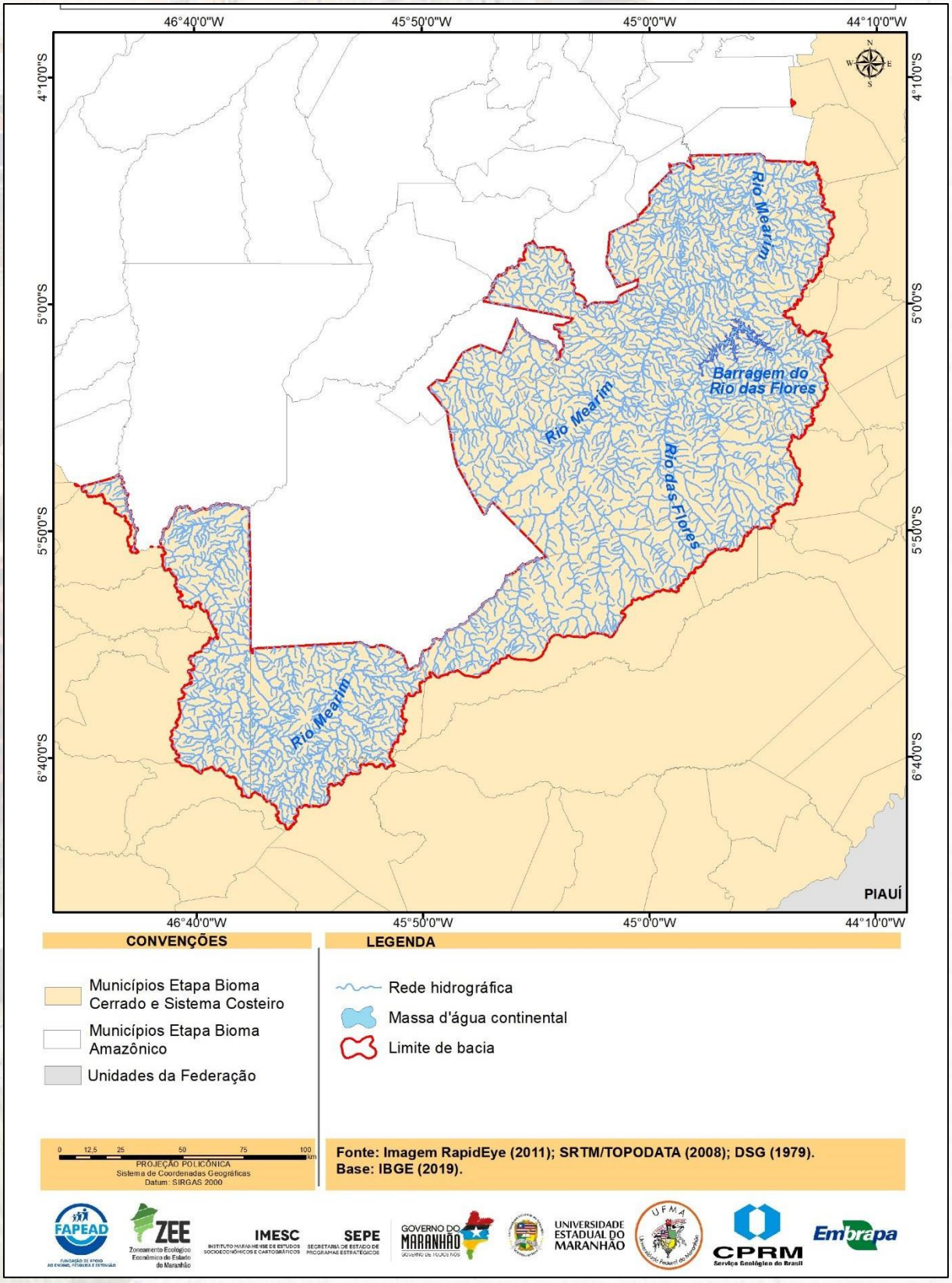


Figura 41 – Hipsometria da Bacia do Rio Mearim

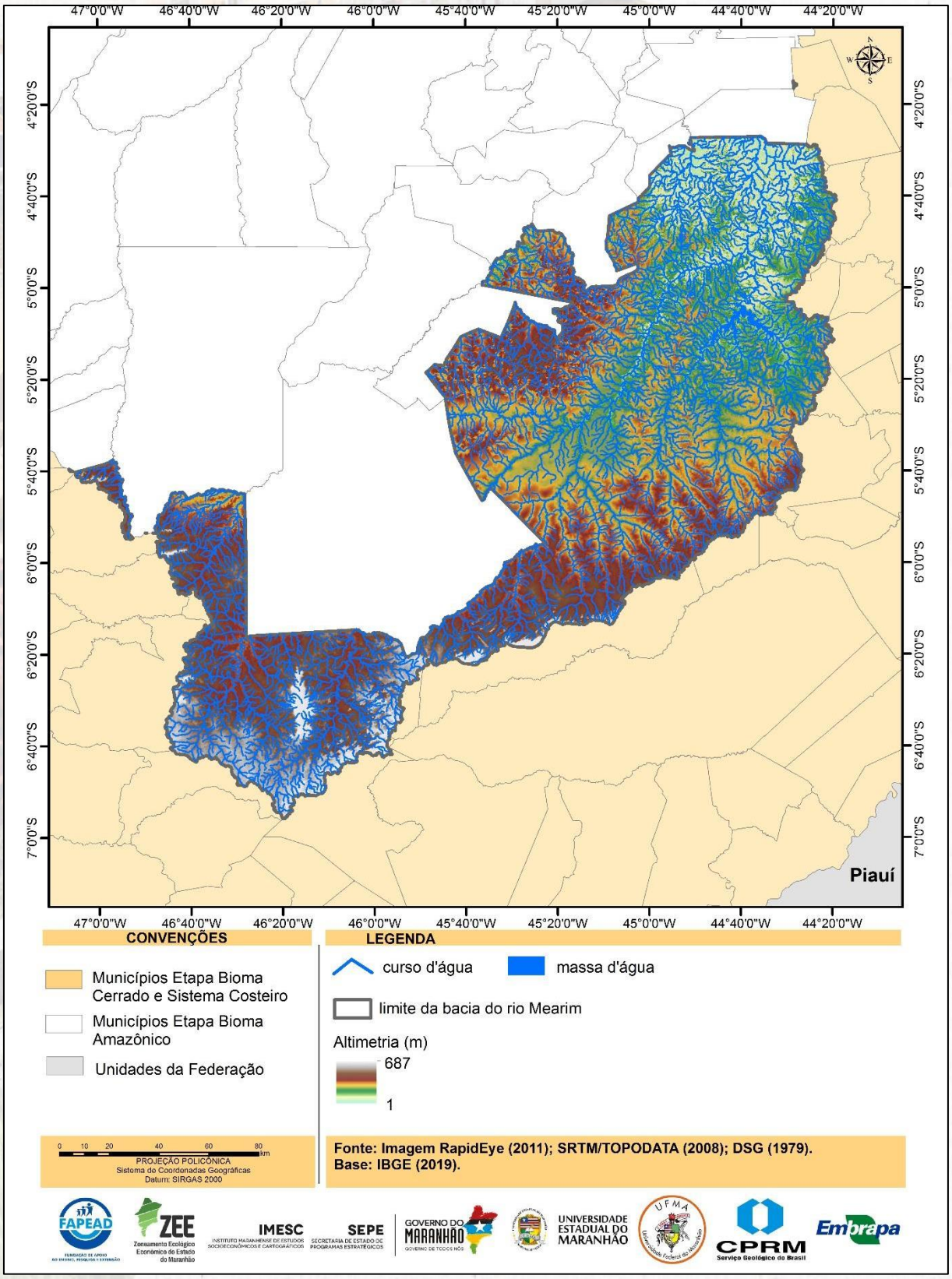
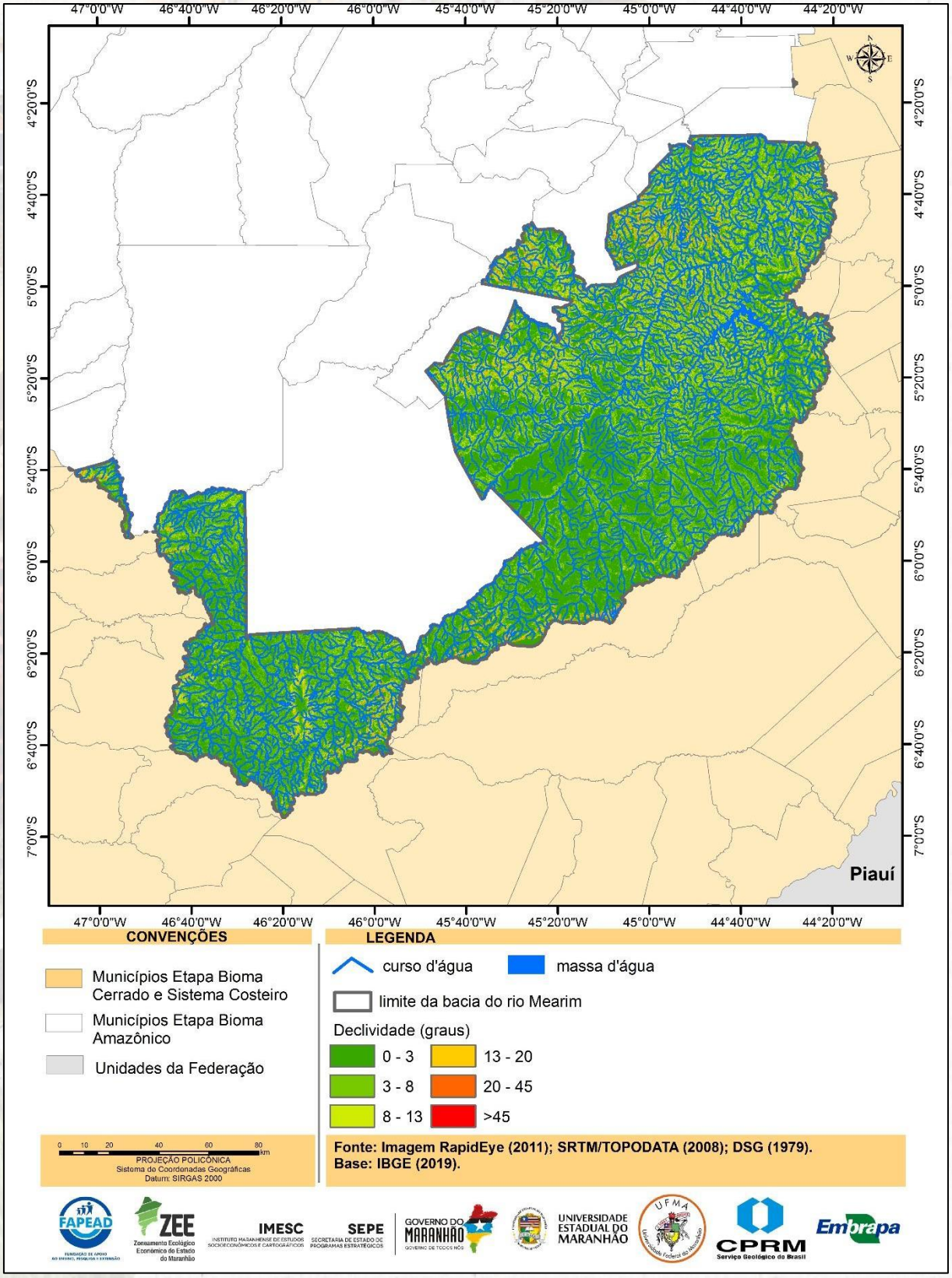


Figura 42 – Declividade da Bacia do Rio Mearim

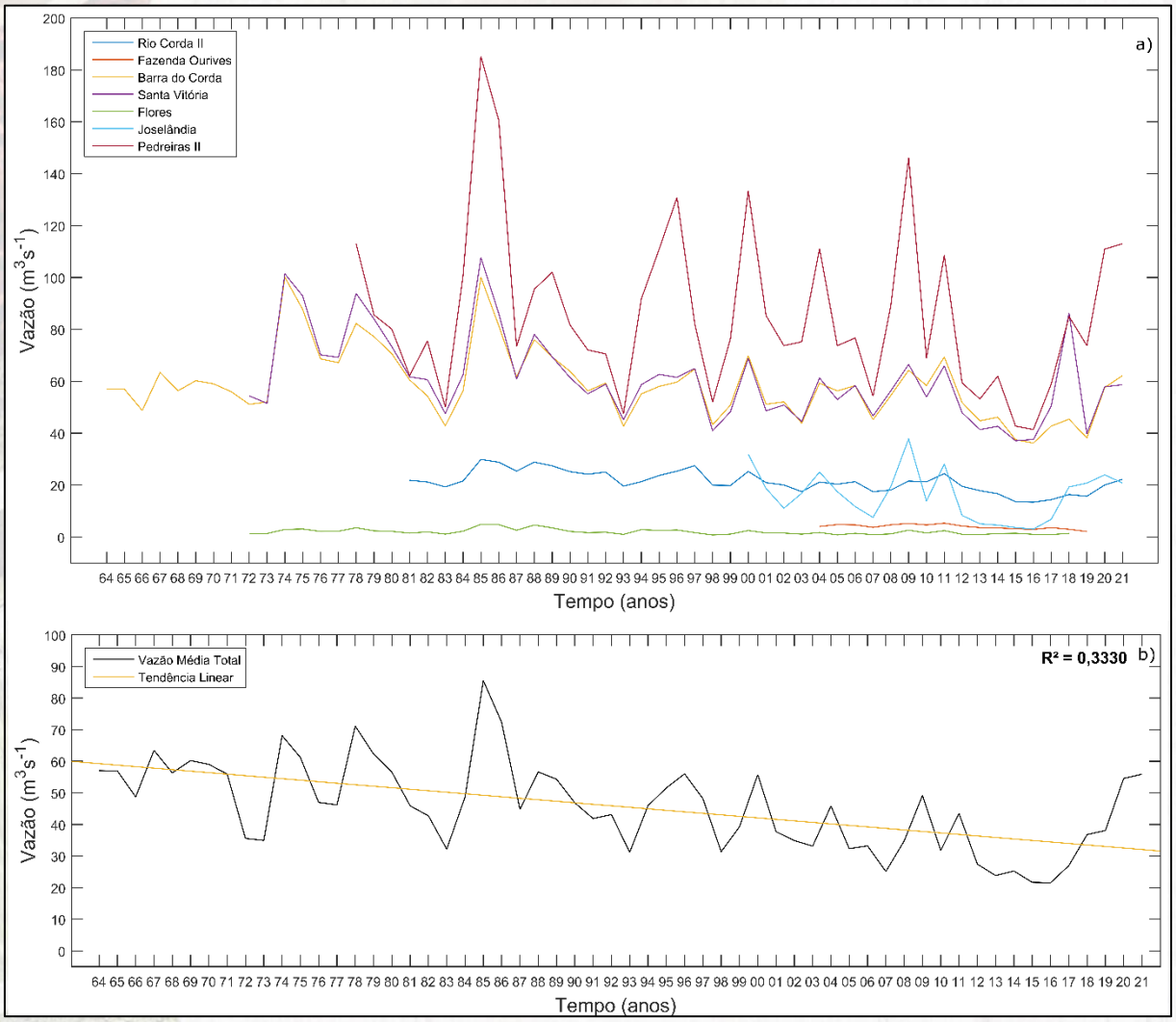


3.6.2 Regime Fluvial

As vazões médias anuais das 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (isto é, estações Rio Corda II, Fazenda Ourives, Barra do Corda, Santa Vitória, Flores, Joselândia e Pedreiras II) e a vazão média total da bacia são mostradas na Figura 43. Na análise das vazões médias anuais, é possível notar que a estação Pedreiras II apresentou a maior amplitude de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, atingindo um pico de 185,2 m^3s^{-1} em 1985 (Figura 43a).

A vazão média anual total para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim variou de 21,5 m^3s^{-1} a 85,5 m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1985 (Figura 43b). Em geral, esta bacia apresenta uma tendência de redução da vazão dos rios (Figura 43b e Tabela 23), assim como as demais bacias já analisadas até aqui.

Figura 43 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As vazões médias dos rios medidas por 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e a tendência anual são mostradas na Tabela 23. Com base nos dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, as estações pertencentes ao BCSC estão inseridas no médio curso da bacia. O Rio Corda, com dados monitorados na estação Rio Corda II, apresentou vazão média anual de 21,3 m^3s^{-1}, e o Rio Ourives, com dados monitorados na estação Fazenda Ourives, apresentou vazão média anual de 4,2 m^3s^{-1}. O Rio Mearim, com dados monitorados na estação Barra do Corda, apresentou vazão média anual de 58,8 m^3s^{-1} (Tabela 23). Mais adiante, o Rio Mearim, com dados monitorados na estação Santa Vitória, apresentou vazão média anual de 61,1 m^3s^{-1}, apresentando neste trecho do rio a maior redução da vazão, em comparação com as demais estações desta bacia, com decréscimo de cerca de 29,6 m^3s^{-1} (Tabela 23). O Rio Flores, afluente do Rio Mearim, possui duas estações fluviométricas nesse trecho, as estações Flores e Joselândia, que apresentam vazão média anual de 2 m^3s^{-1} e 15,8m^3s^{-1}, respectivamente. O Rio Mearim, com dados monitorados na estação Pedreiras II, apresentou vazão média anual de 85,4 m^3s^{-1} (Tabela 23). Na região do alto Mearim, os índices pluviométricos são menores, e na região do baixo Mearim esse índice aumenta, apresentando em torno de 1.200 mm ano^{-1} e 1.550 mm ano^{-1}, respectivamente. No trecho do Rio Mearim, onde está situada a estação de Pedreiras II, em determinados anos, durante a época de chuva, há ocorrências de enchentes (MARANHÃO, 2014), fato que influencia significativamente sobre as vazões neste período. Os afluentes que contribuem com a vazão do rio principal desta bacia, o Rio Mearim, e que estão inseridos no BCSC e possuem dados de vazão são os rios Corda, Ourives e Flores, todos situados à margem direita.

Tabela 23 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mearim

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
Rio Corda II	21,3	-9,3	Rio Corda ou Capim	1981 – 2021
Fazenda Ourives	4,2	-2,4	Rio Ourives	2004 – 2019
Barra do Corda	58,8	-19,3	Rio Mearim	1964 – 2021
Santa Vitória	61,1	-29,6	Rio Mearim	1972 – 2021
Flores	2,0	-1,6	Rio Flores	1972 – 2018
Joselândia	15,8	-7,5	Rio Flores	2000 – 2021
Pedreiras II	85,8	-22,9	Rio Mearim	1978 – 2021

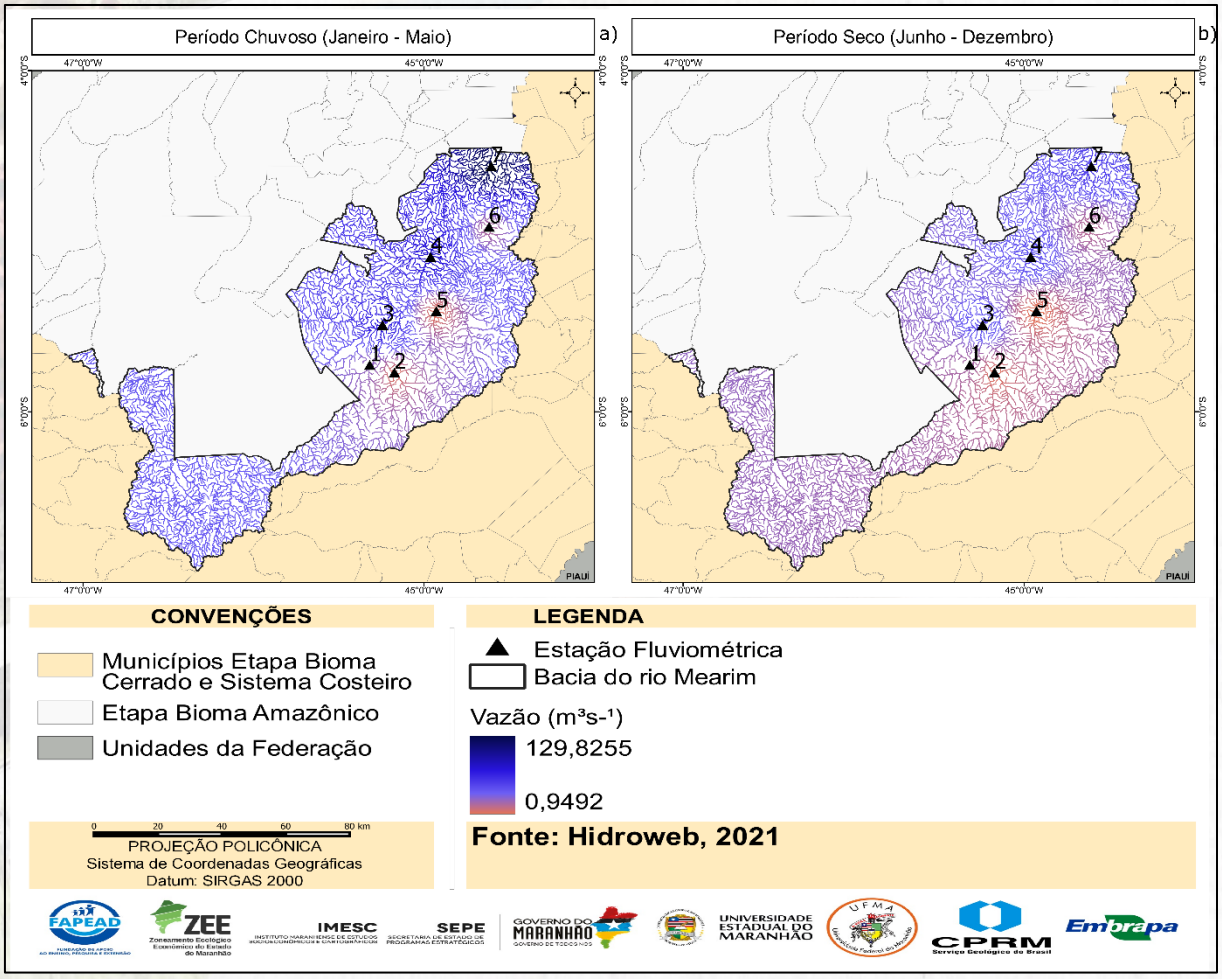
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A climatologia mensal (janeiro a dezembro) para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim mostrou que as maiores vazões dos rios ocorreram no setor norte da bacia (no baixo curso), especialmente nos meses de fevereiro a maio (Figura 44).

Figura 44 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II

As distribuições sazonais das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim para os meses que compõem o período chuvoso e para os meses que compõem o período seco da região são mostradas a seguir (Figura 45). Os resultados evidenciaram maiores vazões no setor norte e menores vazões no setor centro-leste da bacia. As maiores amplitudes de vazões, entre o período chuvoso e seco, ocorreram nos rios que compõem o baixo e médio curso da bacia.

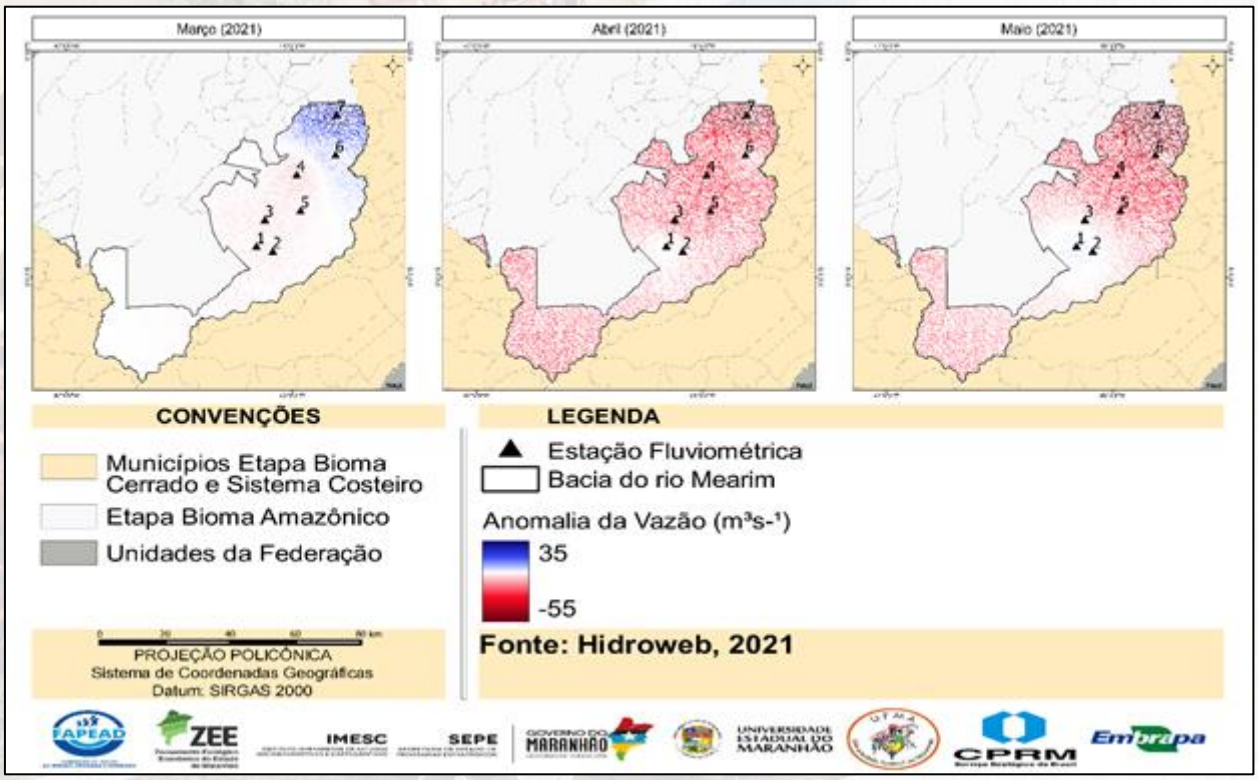
Figura 45 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II



A Figura 46 mostra os campos anômalos, em relação à média climatológica (1963-2021), das vazões dos rios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim para os meses que foram realizadas as coletas *in situ* (i.e., março, abril e maio de 2021). Esse trimestre seguiu o mesmo padrão daquele anteriormente discutido para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, com os meses de abril e maio em

condição de estiagem, partindo do mês de março com anomalias positivas no setor norte da bacia. O setor central da bacia encontrou-se dentro da média climatológica para este trimestre.

Figura 46 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II



Os resultados também mostraram que as vazões das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim são influenciadas pelo fenômeno ENOS, com uma correlação negativa baixa, porém significativa (Tabela 24). Dentre as regiões do ENOS, a Niño 1+2 é a que mais influenciou sobre as vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim.

Tabela 24 – Correlação (r) e significância (p < 0,05) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Mearim

	Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4	
	r	P	r	P	r	p	r	p
Bacia do Rio Mearim	-0.2619	0.0000	-0.2234	0.0000	-0.2231	0.0000	-0.1930	0.0000

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.6.3 Qualidade de Água

A Bacia do Rio Mearim possui uma rede de monitoramento composta por 09 estações vinculadas à RHN. A temperatura da água variou em faixas características de rios tropicais, sem variações significativas nas estações. A escala de pH tendeu para águas com propensão à acidez, com faixa de variação entre 5,84±0,91 até 7,05±0,86. O oxigênio dissolvido apresentou concentrações acentuadas e com valores médios acima de 4,19±2,49 mg L^{-1}. Com relação à turbidez, os valores mais acentuados ocorreram nas estações 33273000 (Rio Flores, no município de Joselândia), 33281000 (Rio Mearim, na cidade de Pedreiras), demonstrando que nessa região, ocorre maior descarga de sólidos suspensos no rio (Tabela 25).

Na bacia do Mearim, uma estação de monitoramento possui dados referentes às variáveis DQO, DBO, TSS, TDS, Nitrogênio Total e Nitritos (Rio Mearim, na cidade de Pedreiras). Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 25 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Mearim

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TDS	NA	NT	Nitritos
33250000	27,96 ±1,67	6,28 ±0,86	27,85 ±33,61	7,26 ±1,25	48,84 ±16,68	35,77 ±14,17	-	-	-	-	-	-
33222000	26,65 ±1,43	5,63 ±0,85	5,53 ±3,57	7,24 ±1,37	19,94 ±6,20	16,46 ±6,22	-	-	-	-	-	-
33270000	27,06 ±1,68	6,28 ±1,20	14,21 ±7,94	4,19 ±2,49	-	69,27 ±27,45	-	-	-	-	-	-
33273000	28,97 ±1,27	7,05 ±0,86	48,05 ±30,27	5,96 ±1,60	-	-	-	-	-	-	-	-
33212000	26,73 ±0,94	5,50 ±0,86	6,79 ±3,02	6,52 ±1,20	12,08 ±4,54	10,91 ±4,47	-	-	-	-	-	-
33281000	29,08 ±2,14	6,58 ±1,00	46,69 ±23,81	6,51 ±1,66	100,17 ±28,85	73,86 ±27,03	13,14 ±9,01	3,15 ±3,18	86,71 ±53,60	0,13 ±0,12	1,40 ±2,44	0,65 ±1,91
33215000	26,97 ±1,28	5,84 ±0,91	7,32 ±6,00	7,59 ±1,47	11,08 ±5,81	11,61 ±7,04	-	-	-	-	-	-
33260000	28,43 ±1,44	6,83 ±1,06	28,94 ±24,90	7,05 ±1,43	49,36 ±20,27	40,15 ±14,36	-	-	-	-	-	-
33214000	27,14 ±1,09	5,43 ±0,95	4,09 ±3,06	5,93 ±1,12	11,29 ±3,41	10,03 ±3,97	-	-	-	-	-	-

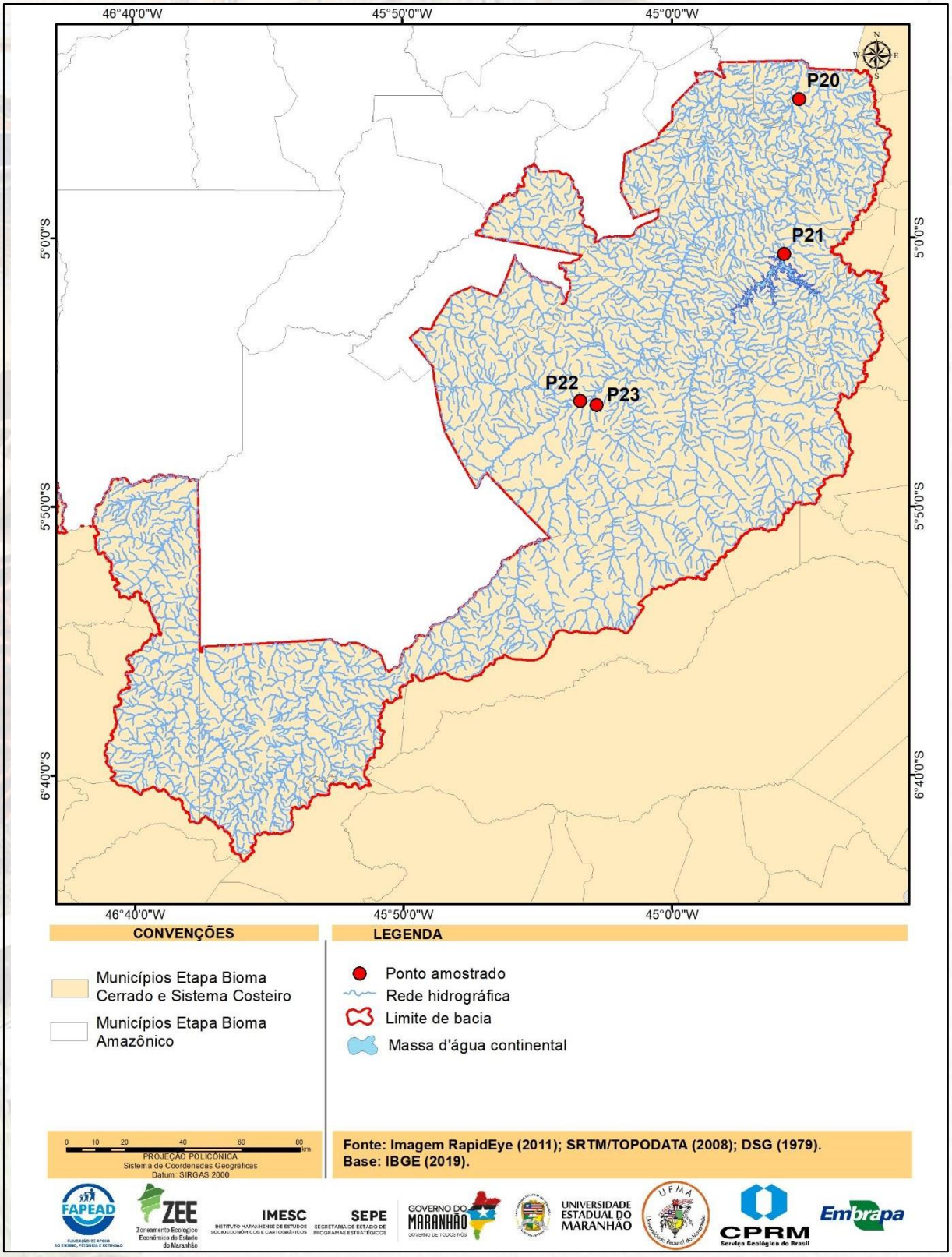
Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); TDS – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NA – Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1}).
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 47 e 48), nos municípios de Pedreiras, Joselândia e Barra do Corda. Os pontos P20, P22 e P23 foram coletados próximos das sedes das cidades, com intensas ocupações imobiliárias e vegetação degradada em alguns trechos; enquanto o ponto P21 foi coletado próximo à barragem do rio Flores, área com poucas residências e vegetação preservada.

Figura 47 – Pontos de coleta da Bacia Rio Mearim.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 48 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Mearim



Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Mearim se encontram nas Tabelas 26 e 27.

A CE na primeira coleta de maio de 20121, mostrou valores elevados nesta bacia, sobretudo no Rio Flores (P21), já em junho, o padrão de distribuição se repetiu, embora os valores tenham sido um pouco menores que em maio. A alta CE indica contribuição de íons inorgânicos dissolvidos (elementos maiores) nessas águas, o que pode indicar impactos ambientais provocados por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água (MOURA, 2007). A exceção de CE foi do Rio Corda (P23), que mostrou baixos valores em ambos os períodos de coleta.

O Rio Flores (P21) também registrou valores altos de TDS, nas duas coletas realizadas no rio, porém ainda dentro do limite aceito pela legislação brasileira.

A turbidez mostrou valores elevados ao longo desta bacia em maio, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no Rio Corda (P23). A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa. Em junho, os valores de turbidez foram menores e dentro do que preconiza a resolução brasileira.

O OD apresentou teores menores do que é referendado pelo padrão CONAMA no Rio Flores (P21) e Rio Corda (P23) na coleta de maio, e em todos os pontos de coleta da bacia no mês de junho, com valores que podem comprometer a saúde da biota aquática, pois segundo Von Sperling (2005), concentrações próximas a 2 mg L^{-1}, como as que ocorreram no mês de junho nos pontos P21 e P22, podem causar morte de peixes.

Tabela 26 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim (maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Mearim**			
Ponto de Coleta		**P20**	**P21**	**P22**	**P23**
Local de Coleta		**Rio Mearim - Pedreiras**	**Rio Flores - Joselândia**	**Rio Mearim - Barra do Corda**	**Rio Corda - Barra do Corda**
Data da Coleta		05/05/2021	04/05/2021	05/05/2021	05/05/2021
Horário de Coleta		14:11	17:00	10:30	8:45
Temperatura	(°C)	29,19	28,91	27,31	26,23
Salinidade	(g kg^{-1})	0,01	0,02	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	138,00	384,00	120,00	20,00
TDS	(mg L^{-1})	89	250	78	13
Turbidez	(NTU)	87,40	114,00	159,00	4,20
pH		7,33	7,14	6,56	6,48
ORP	(mV)	85	31	143	149
OD	(mg L^{-1})	7,66	5,41	7,56	3,50
OD	(%)	99,85	69,81	95,98	43,67
TSS	(mg L^{-1})	74,00	52,38	28,88	2,50
Fosfato	(mg L^{-1})	1,20	9,70	9,40	6,80

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Mearim			
Ponto de Coleta		P20	P21	P22	P23
Local de Coleta		Rio Mearim - Pedreiras	Rio Flores - Joselândia	Rio Mearim - Barra do Corda	Rio Corda - Barra do Corda
Silicato	(mg L^{-1})	60,40	45,00	66,20	43,70
Nitrato	(mg L^{-1})	0,22	0,49	0,27	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,90	1,30	2,40	0,60
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Com relação aos valores de OD%, o ponto P23 no mês de maio, e os pontos P21 e P22 no mês de junho, apresentaram valores abaixo de 50%, embora os demais pontos também indiquem que as águas estão subsaturadas em oxigênio. Valores de OD% baixos, como os observados nesta bacia, indicam uma grande demanda química de oxigênio nessas águas, ou para respiração e processos metabólicos dos organismos aquáticos ou para utilização do gás nos processos de oxidação/depuração de grandes cargas de matéria orgânica, que normalmente são oriundas de aportes antrópicos.

O TSS foi maior durante as coletas de maio, com o maior valor no P20, tanto em maio como em junho, indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência ou das mudanças espaciais nas feições deposicionais ou em virtude das condições climáticas da região (chuva), que influenciam no maior aporte terrígeno nos rios.

Tabela 27 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim (junho/2021)

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Mearim			
Ponto de Coleta		P20	P21	P22	P23
Local de Coleta		Rio Mearim - Pedreiras	Rio Flores – Joselândia	Rio Mearim - Barra do Corda	Rio Corda - Barra do Corda
Data da Coleta		01/06/2021	08/06/2021	01/06/2021	01/06/2021
Horário de Coleta		17:00	09:29	15:20	14:57
Temperatura	(°C)	28,98	28,06	28,28	26,65
Salinidade	(g kg^{-1})	0,01	0,01	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	138	200	97	29
TDS	(mg L^{-1})	90	130	63	19
pH		7,47	6,04	7,74	6,94
ORP	(mV)	34	53	32	46
OD	(mg L^{-1})	5,00	2,73	2,73	5,03

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Mearim			
Ponto de Coleta		P20	P21	P22	P23
Local de Coleta		Rio Mearim - Pedreiras	Rio Flores – Joselândia	Rio Mearim - Barra do Corda	Rio Corda - Barra do Corda
OD	(%)	65,17	35,22	35,40	62,67
TSS	(mg L^{-1})	45,25	3,75	8,00	0,80
Fosfato	(mg L^{-1})	5,00	8,30	1,30	0,00
Silicato	(mg L^{-1})	49,60	34,60	60,60	39,90
Nitrato	(mg L^{-1})	0,20	0,50	0,10	0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,40	41,00	1,90	1,10
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As concentrações de fosfato, em todos os pontos de coleta e para os dois períodos de coleta nesta bacia, ficaram bem acima do que determina a resolução CONAMA vigente, indicando que esta bacia possui uma fonte de contaminação deste nutriente, com grande potencial a sofrer os efeitos danosos dos processos de eutrofização nesse rio, que também apresenta altas concentrações de silicato, além de boas quantidades dos nutrientes nitrato e N-amoniacal, capazes de sustentar a produtividade primária de suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há maior contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios, porém, as concentrações observadas neste rio sugerem contribuições antropogênicas de nutrientes, tais como esgotos domésticos e os efluentes industriais e agrícolas, que são ricos em nutrientes utilizados como fertilizantes de solo.

3.7 Bacia hidrográfica do Tocantins

3.7.1 Hidrografia

A porção da Bacia do Rio Tocantins que se insere no estado do Maranhão corresponde à margem direita do médio curso do rio Tocantins. A bacia ocupa área de 24.364,2km^2 e representa 12,8% da área do BCSC. A bacia tem limites hidrográficos à nordeste com a Bacia do Rio Mearim e à sudeste com a Bacia do Rio Parnaíba. Possui 3.833 trechos de drenagem e 13.015,1km de extensão de cursos d'água (Figura 49). Nesta bacia encontra-se uma das principais unidades de conservação de uso integral do Estado do Maranhão, o Parque Nacional da Chapada das Mesas.

A Chapada das Mesas representa uma unidade geomorfológica de exuberante beleza cênica, apresentando cânions, cachoeiras e lagoas de águas azuis e cristalinas, sendo a região conhecida como Vale das Águas. Este compartimento está inserido na porção sudoeste da unidade denominada Província Sedimentar do Parnaíba (GÓES, 1995). Esta bacia sedimentar originou-se pela subsidência de grande área cratônica formada segundo os principais sistemas de fraturamento paralelos e de sucessivos escalonamentos associados às falhas e fraturas. As interseções destas linhas de rupturas geraram grandes mosaicos ou blocos responsáveis pelas disposições dos estratos rochosos nas principais direções NE/SW, NW/SE e N-S.

Esse conjunto de chapadas representam importante divisor hidrográfico regional. Na vertente oeste, destacam-se os rios Farinha e Manuel Alves Grande, afluentes da margem direita do médio rio Tocantins, cuja rede hidrográfica drena a maior parte da área da bacia. Nesta região, encontram-se também os divisores de água das bacias hidrográficas limítrofes, a do rio Parnaíba e as principais bacias inseridas no território do Estado do Maranhão, do Mearim, do Grajaú e do Itapecuru.

Além da condição de divisor de águas, as características lito-estruturais possuem papel fundamental na organização da rede de drenagem, que se encontra adaptada aos lineamentos estruturais das formações areníticas densamente fraturadas, o que proporciona um grande poder de infiltração e armazenamento da água. Dessa forma, a drenagem é comandada pelas linhas de fraturamento, desdobrando-se em belos cânions, gargantas, cachoeiras e corredeiras e definindo um padrão de drenagem retangular e paralelo.

A maior parte dos relevos residuais definem um nível topográfico diferenciado, com altitudes que variam de 300 a 667m (Figura 50). Esses desníveis dão origem a inúmeras cachoeiras, em vales escalonados e bastante encaixados. O Rio Cocal, localizado na região da cidade de Riachão, é um dos pontos turísticos mais visitados da região, e apresenta uma sequência de desníveis topográficos (*knick points*) dando origem às cachoeiras dos Namorados, Santa Paula e Santa Bárbara. A declividade da bacia (0 a 65,1^0) é a maior do BCSC (Figura 51).

Outro curso d'água importante na área é o rio Farinha com 207km de extensão. O desnível existente ao longo do rio Farinha é de aproximadamente 260m, variando entre as elevações de 403m, próximo à cabeceira aos 140m na sua foz. Ao longo do rio destacam-se duas grandes cachoeiras, a da Prata e a de São Romão. A cachoeira da Prata é formada quando o rio se precipita de uma altura de 17m numa depressão estreita e encaixada através de duas grandes gargantas, separadas por um enorme afloramento rochoso. No geral, a bacia apresenta densidade de drenagem média (0,5 km/km^2) e densidade hidrográfica de 0,16 Nc/km^2.

Figura 49 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Tocantins

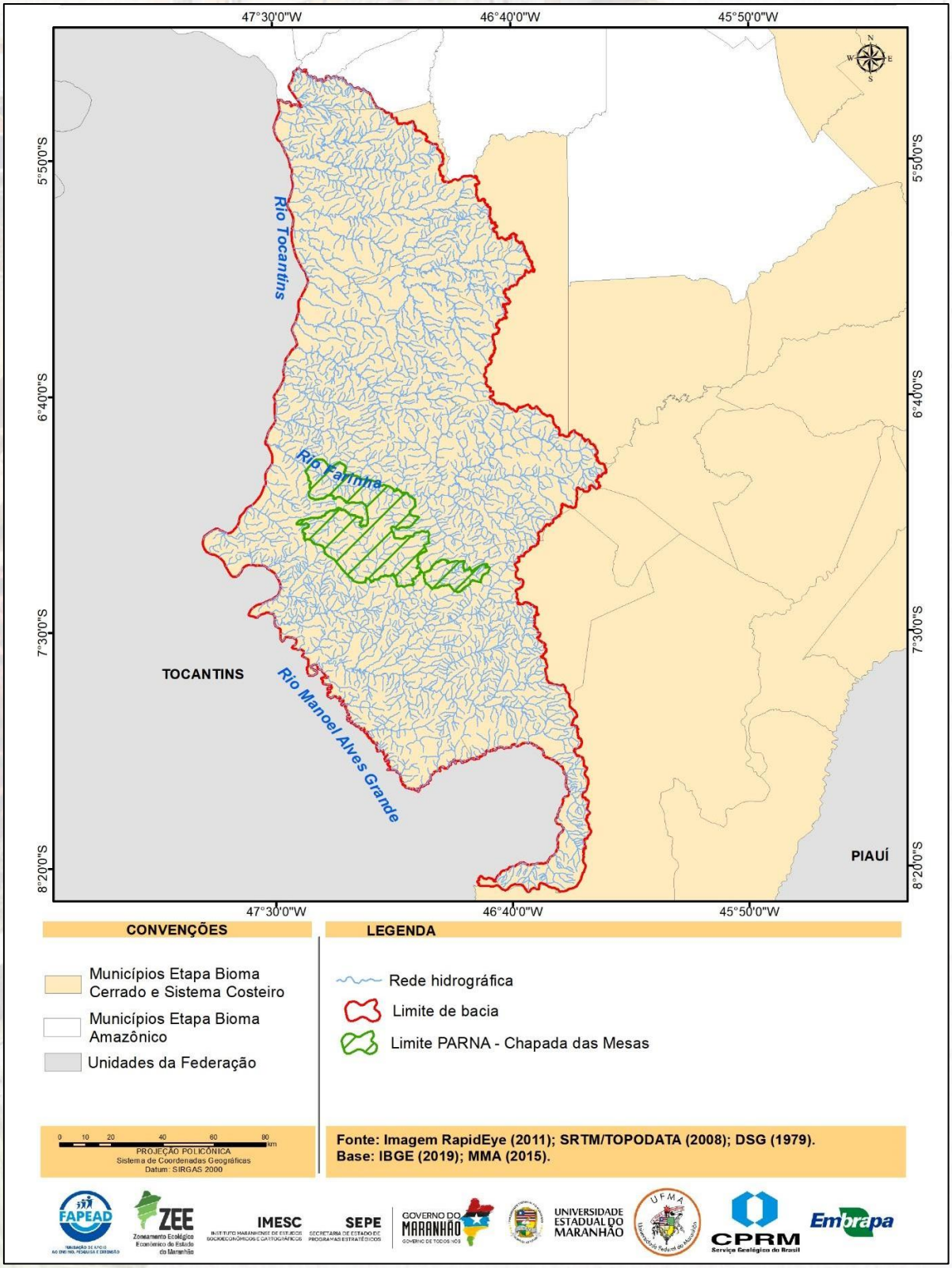


Figura 50 – Hipsometria da Bacia do Rio Tocantins

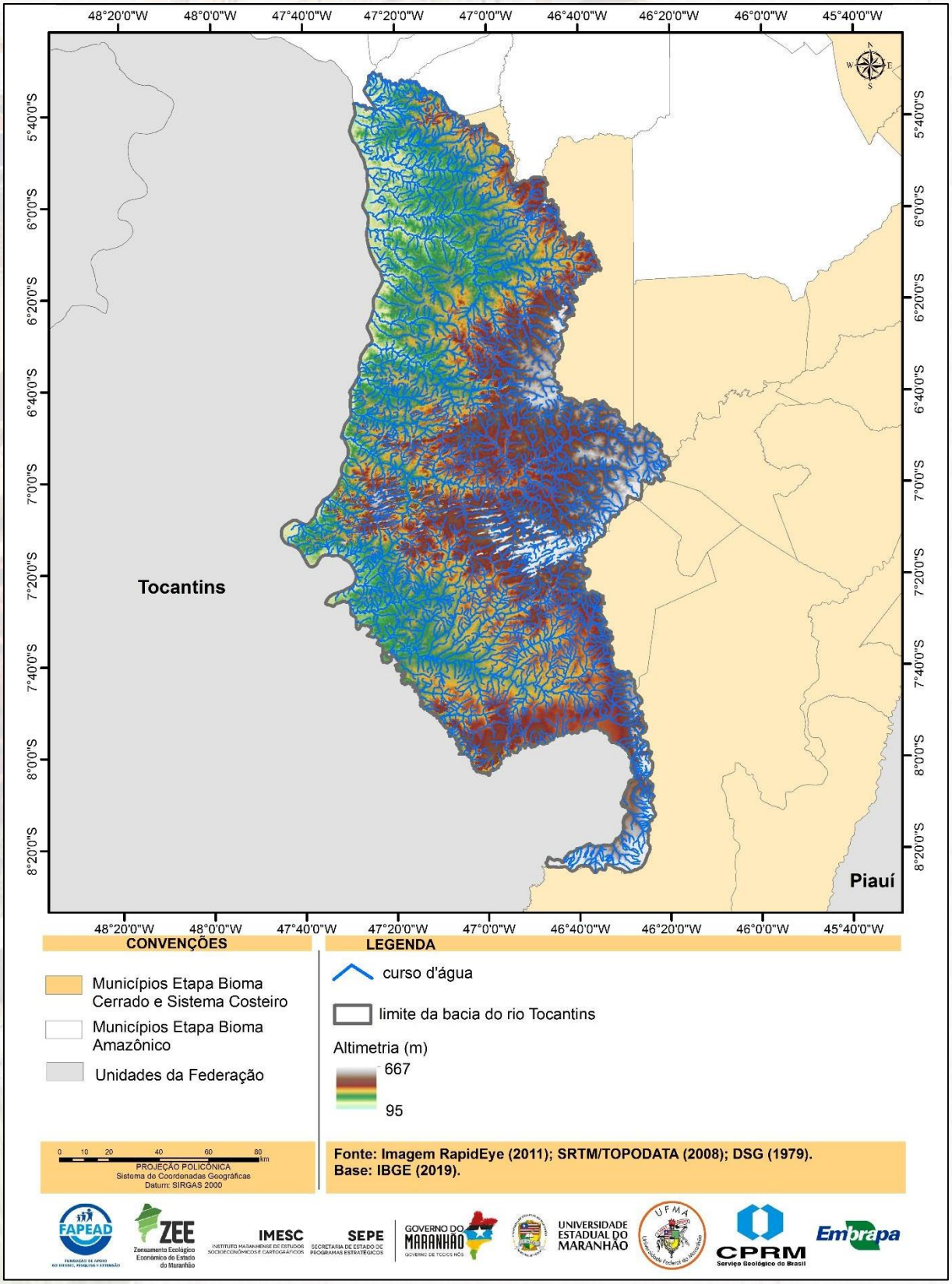
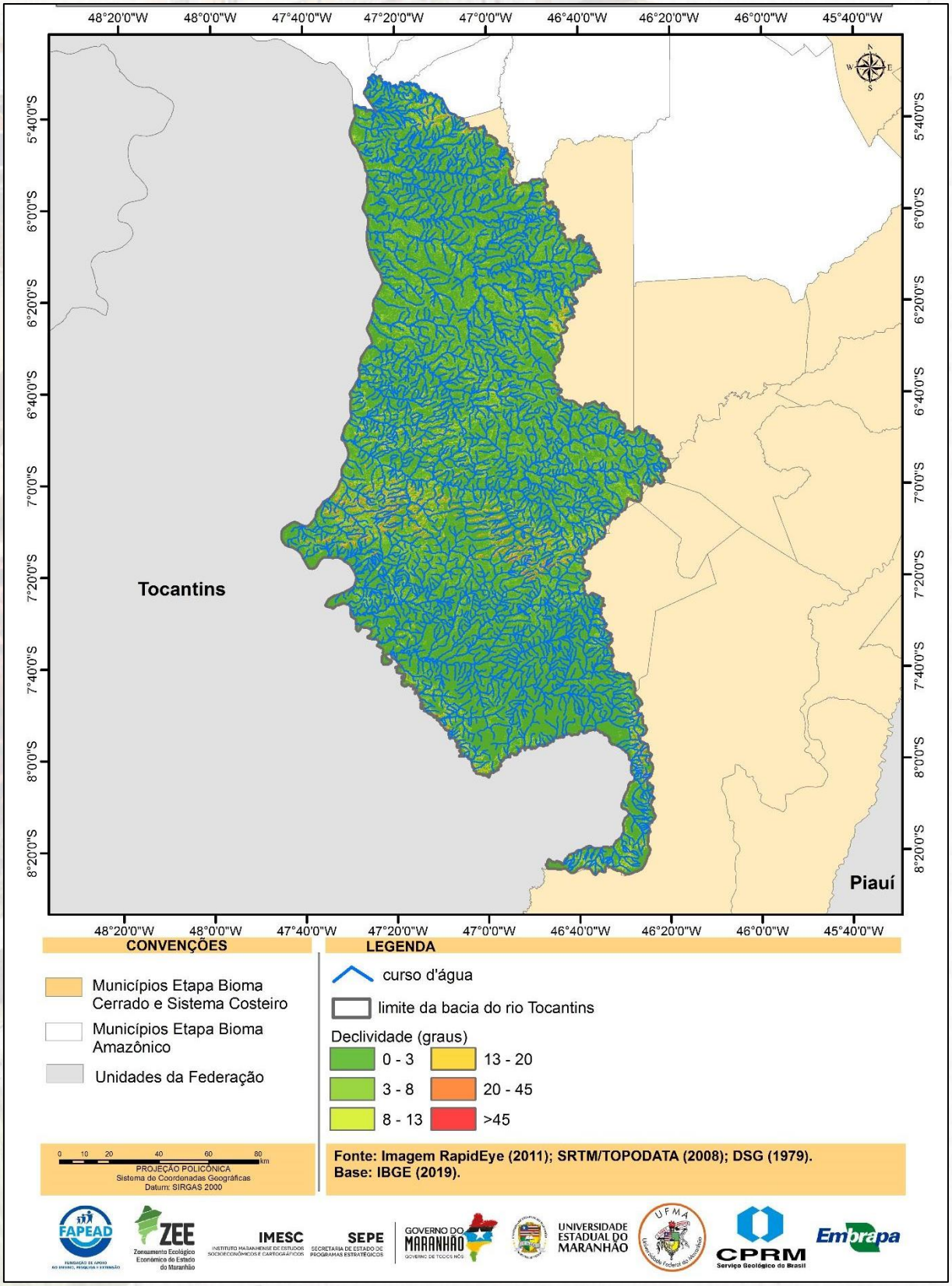


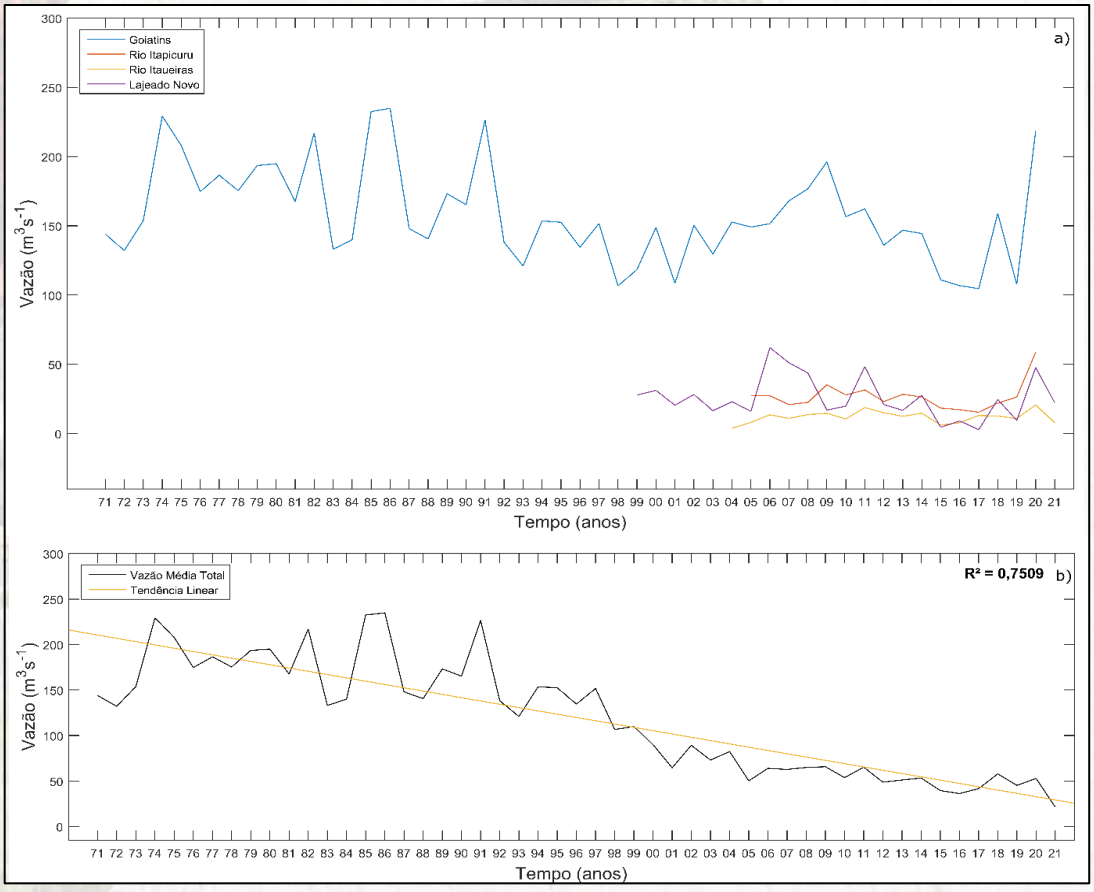
Figura 51 – Declividade da Bacia do Rio Tocantins



3.7.2 Regime Fluvial

As vazões médias anuais das 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (isto é, estações Goiatins, Itapecuru, Itaueiras e Lajeado Novo) e a vazão média total da bacia são mostradas na Figura 52. Analisando-se as vazões médias anuais, é possível notar que a estação Goiatins apresentou a maior amplitude de vazão para esta bacia hidrográfica, atingindo um pico de 234,8 m^3s^{-1} em 1986 (Figura 52a). A vazão média anual total para a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins variou de 21,3 m^3s^{-1} a 234,8 m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1986 (Figura 52b). Em geral, a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins apresentou uma tendência de redução das vazões dos rios (Figura 52b e Tabela 28). É claro, entretanto, que a alta tendência de redução nas vazões observada na Figura 52b deve-se especialmente ao fato dela representar o valor médio para a bacia, ou seja, considerando a maior existência de dados com baixas vazões a partir do ano de 2004.

Figura 52 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As vazões médias dos rios medidos pelas 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e a tendência anual são mostradas na Tabela 28. De acordo com os dados hidrológicos monitorados nas estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins compreendendo o BCSC, o baixo curso do Rio Manuel Alves Grande, principal afluente maranhense do Rio Tocantins, com dados monitorados na estação Goiatins, apresentou vazão média anual de 158,2 m^3s^{-1}. Apesar do alto valor de vazão, os dados mostram que ao longo dos anos, a vazão do rio diminuiu cerca de 46,8 m^3s^{-1} (Tabela 28). Os demais rios que fluem em direção ao Rio Tocantins e suas respectivas vazões são: o Rio Itapecuru, apresentando vazão média anual de 25,7 m^3s^{-1}; o Rio Itaueiras, apresentando vazão média anual de 12,3 m^3s^{-1}, e o Rio Lajeado, apresentando vazão média anual de 26,8 m^3s^{-1} (Tabela 28). Todos os rios maranhenses pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins são afluentes do Rio Tocantins, o principal rio da bacia.

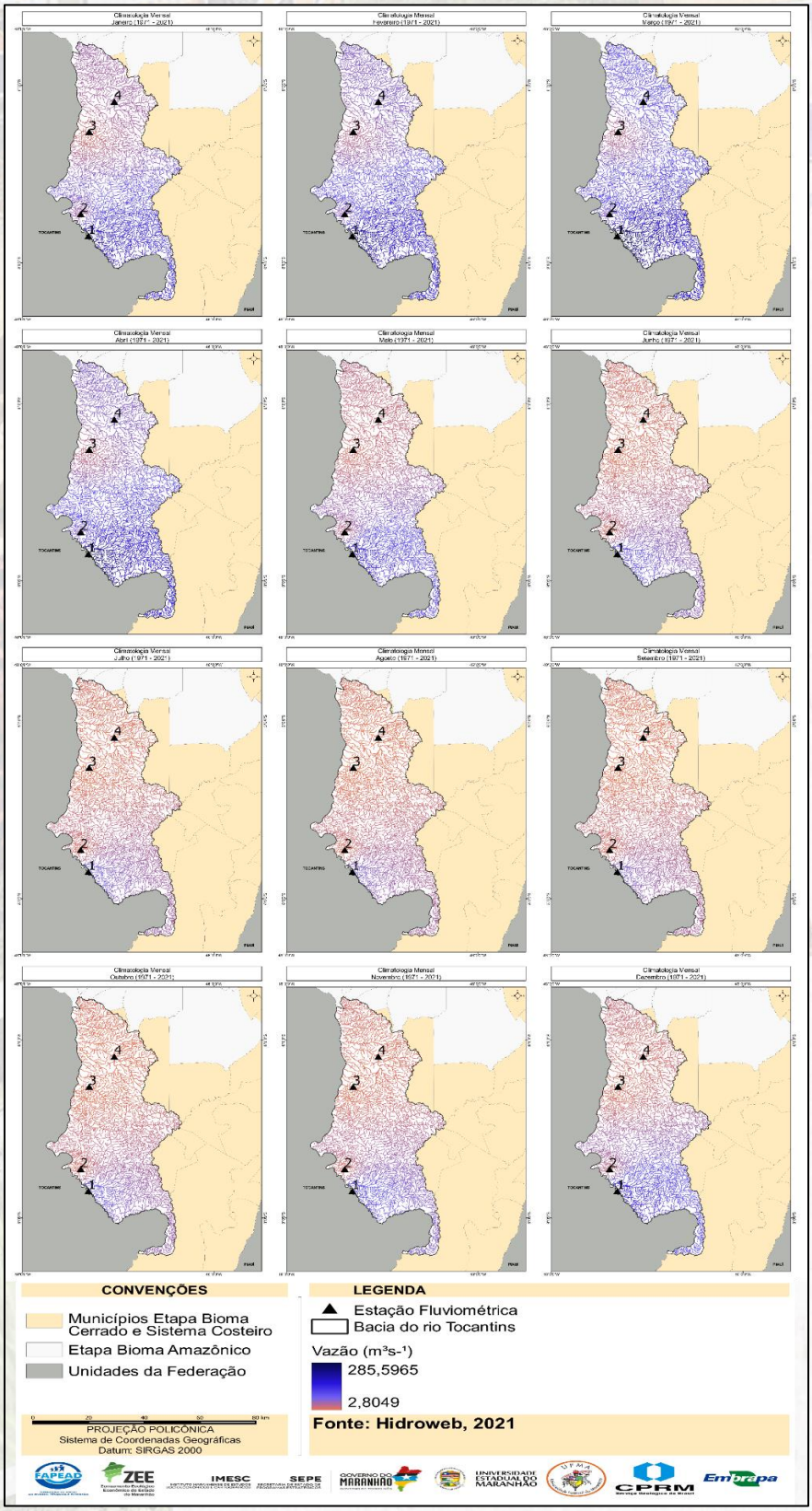
Tabela 28 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins.

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
Goiatins	158,2	-46,8	Rio Manuel Alves Grande	1971 - 2020
Rio Itapecuru	25,7	+5,46	Rio Itapecuru	2005 - 2020
Rio Itaueiras	12,3	-2,99	Rio Itaueiras	2004 - 2021
Lajeado Novo	26,8	-12,22	Rio Lajeado	1999 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

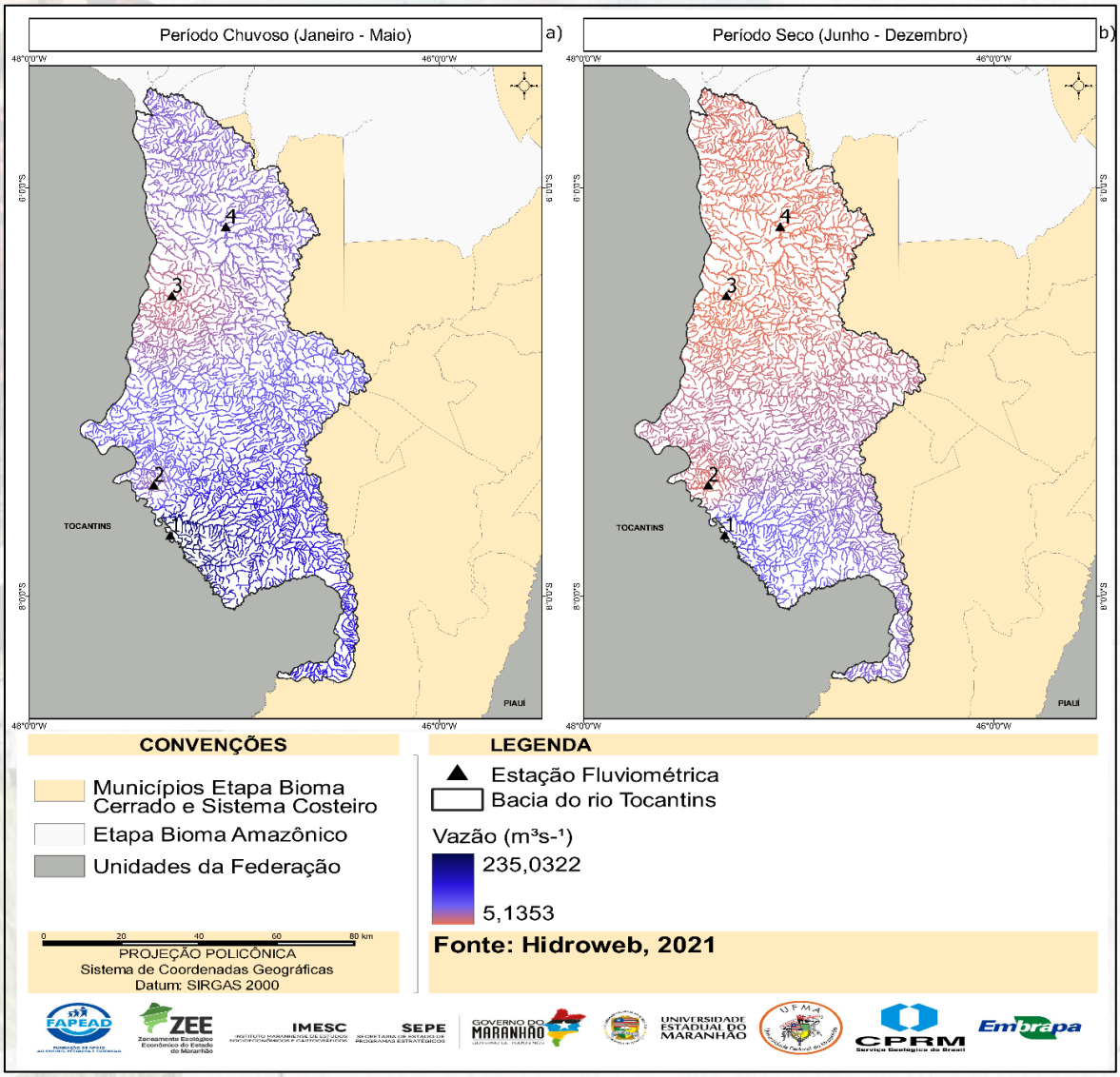
A climatologia mensal (janeiro a dezembro) da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins mostrou que, em geral, as maiores vazões ocorrem no setor sul da bacia, no alto curso do Rio Goiatins (Figura 53). Entretanto, no setor norte da bacia, observa-se que de janeiro a abril as vazões aumentam, enquanto diminuem de maio a dezembro.

Figura 53 – Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapecuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo



As distribuições sazonais das vazões dos rios para os meses que compõem o período chuvoso e para os meses que compõem o período seco são mostradas na figura 54. Os resultados mostram as maiores vazões médias dos rios no setor sul e menores vazões no setor centro-oeste da bacia em ambos os períodos chuvoso e seco. A maior amplitude sazonal de vazão ocorreu no Rio Lajeado Novo, no setor norte da bacia hidrográfica. Nota-se também que, no alto curso, mesmo no período seco (Figura 54b), ainda se encontram altos níveis de vazão.

Figura 54 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapecuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo



Devido à escassez de dados de vazões dos rios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins para os meses que foram realizadas as coletas *in situ* (i.e., março, abril e maio de 2021) não foi possível a espacialização dos campos anômalos para esse trimestre.

3.7.3 Qualidade de Água

A Bacia do Rio Tocantins possui uma rede de monitoramento composta por 08 estações vinculadas à RHN. Os valores obtidos para o oxigênio dissolvido apresentaram concentrações com saturação propicia para a manutenção da vida aquática em aerobiose, todos os valores médios foram superiores a 5,29±2,30 mg L^{-1}.

A variável pH apresentou tendências para um padrão de águas entre levemente ácido e levemente alcalina, demonstrando menor influência de compostos fúlvicos e húmicos. As variações detectadas foram da ordem de 6,35±0,46 até 7,46±0,53 (Tabela 29).

Na bacia do Tocantins, uma estação de monitoramento possui dados referentes às variáveis DQO, DBO, TSS, TDS, Nitrogênio Total e Nitritos (Rio Tocantins, na cidade de Carolina). Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 29 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Tocantins

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	OD (%)	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TDS	NT	PT
23610000	27,60 ±1,34	7,46 ±0,53	21,03 ±21,45	7,46 ±0,53	-	138,60 ±35,55	104,62 ±37,86	-	-	-	-	-
23466000	27,18 ±1,14	6,97 ±0,70	19,08 ±31,73	7,36 ±1,45	-	-	34,94 ±16,94	-	-	-	-	-
23300000	28,34 ±1,26	6,61 ±0,75	10,44 ±8,46	5,29 ±2,30	-	-	26,18 ±13,34	-	-	-	-	-
23251000	25,97 ±1,10	6,36 ±0,62	22,50 ±31,43	6,78 ±0,89	-	-	7,54 ±10,98	-	-	-	-	-
23650000	26,85 ±0,99	7,33 ±0,44	33,38 ±48,75	6,75 ±1,09	-	163,19 ±77,94	139,94 ±84,21	-	-	-	-	-
23718000	27,40 ±0,36	7,36 ±0,22	14,24 ±14,51	7,02 ±1,65	-	-	-	1,97 ±2,40	1,97 ±2,40	22,00 ±3,61	4,90 ±4,25	0,91 ±1,17
23250000	26,68 ±0,87	6,35 ±0,46	31,88 ±31,64	6,75 ±1,21	-	-	8,38 ±8,70	-	-	-	-	-
23250001	27,45 ±1,20	6,73 ±0,36	23,04 ±23,44	7,62 ±0,45	94,62 ±5,16	11,68 ±2,68	-	-	-	-	-	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); TDS – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1}); PT – Fósforo Total (mg L^{-1}).
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 55 e 56) da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, nos municípios de Imperatriz, Ribamar Fiquene e Carolina. Os pontos P24 e P26 foram coletados em áreas urbanizadas, com intensa ocupação imobiliária, pequena quantidade de vegetação na margem esquerda e, menor ocupação e maior quantidade de vegetação na margem direita. No ponto P25, a coleta ocorreu nas proximidades da BR010 com pouca ocupação imobiliária e rio meândrico. No ponto P27, foi observada grande ocupação pelo agronegócio.

Figura 55 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais na Bacia do Rio Tocantins

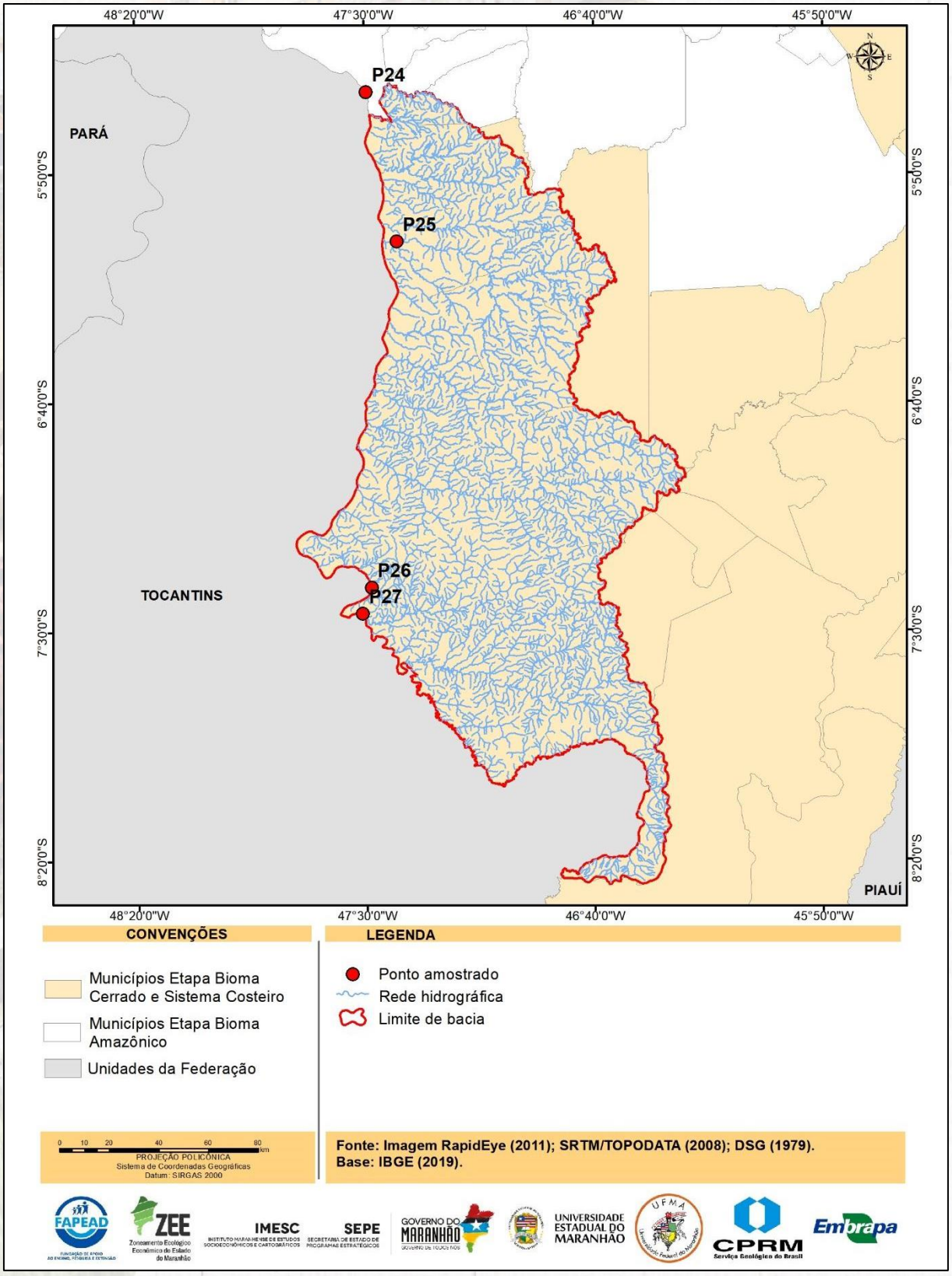


Figura 56 – Pontos de coleta do Rio Tocantins

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Tocantins se encontram nas Tabelas 30 e 31.

No geral, os parâmetros estudados nesta bacia estão dentro do que preconiza a resolução CONAMA 357/2005. No entanto, alguns resultados merecem destaque, como o Rio Lajeado (P25), que registrou valores altos de CE e TDS, para ambas as coletas neste rio, porém ainda dentro do limite aceito pela legislação brasileira, indicando contribuição dos elementos maiores nestas águas.

Os valores de pH indicam águas básicas na bacia, para ambos os períodos e de acordo com o que recomenda as normas brasileiras.

O OD apresentou concentrações um pouco menores do que determina a resolução brasileira nos pontos P25 e P27, no mês de abril, e nos pontos P24 e P26, no mês de maio, mas sem comprometer a saúde da biota e o equilíbrio químico de suas águas, que indicam boa disponibilidade de oxigênio.

Embora o fosfato tenha mostrado valores acima do que determina a resolução CONAMA 357/2005, em todos os pontos de coleta e em ambos os períodos, a concentração de fosfato medida nesta bacia foi menor do que os valores observados nas demais bacias do BCSC. Também foram altas as concentrações de silicato, em todos os pontos de coleta e períodos de estudo, e a bacia mostrou possuir contribuições dos nutrientes nitrogenados, nitrato e N-amoniacal, durante o mês de maio, embora dentro dos valores permitidos pela legislação. Esta bacia possui um potencial para eutrofização.

Tabela 30 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins (abril/2021).

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Tocantins			
Ponto de Coleta		**P24**	**P25**	**P26**	**P27**
Local de Coleta		**Rio Tocantins - Imperatriz**	**Rio Lajeado - Lajeado**	**Rio Tocantins - Carolina**	**Rio Manuel Alves Grande - Carolina**
Data da Coleta		18/04/2021	18/04/2021	18/04/2021	18/04/2021
Horário de Coleta		7:12	9:10	11:32	12:30
Temperatura	(°C)	29,31	29,91	29,76	28,11
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,01	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	39,00	161,00	33,00	18,00
TDS	(mg L^{-1})	21	110	21	11
Turbidez	(NTU)	2,50	35,80	3,00	10,90
pH		7,26	7,60	7,46	7,67
ORP	(mV)	196	150	137	157
OD	(mg L^{-1})	7,09	5,46	7,21	4,55
OD	(%)	93,11	71,71	94,62	58,33
TSS	(mg L^{-1})	2,56	24,00	3,00	5,20
Fosfato	(mg L^{-1})	1,10	1,40	0,29	0,68
Silicato	(mg L^{-1})	41,40	96,50	37,50	42,40
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,30	< 0,001	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Tabela 31 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins (maio/2021).

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Tocantins			
Ponto de Coleta		**P24**	**P25**	**P26**	**P27**
Local de Coleta		**Rio Tocantins - Imperatriz**	**Rio Lajeado - Lajeado**	**Rio Tocantins - Carolina**	**Rio Manuel Alves Grande - Carolina**
Data da Coleta		30/05/2021	30/05/2021	30/05/2021	30/05/2021
Horário de Coleta		14:10	15:34	17:00	17:30
Temperatura	(°C)	29,65	29,23	29,45	28,13
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,01	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	44	234	36	25
TDS	(mg L^{-1})	28	152	24	16
Turbidez	(NTU)	1,4	7,2	1,8	5,9
pH		7,48	8,33	7,71	7,36
ORP	(mV)	80	105	113	115
OD	(mg L^{-1})	5,70	6,33	5,30	6,41
OD	(%)	74,17	83,79	69,57	82,11
TSS	(mg L^{-1})	1,00	4,00	1,37	6,00
Fosfato	(mg L^{-1})	0,26	0,81	1,01	1,46
Silicato	(mg L^{-1})	44,1	89,8	40,9	44,2
Nitrato	(mg L^{-1})	0,8	0,5	0,3	0,2
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,2	1,6	0,7	0,3
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

3.8 Bacia hidrográfica do rio parnaíba

3.8.1 Hidrografia

A parte da Bacia do Rio Parnaíba que se insere no estado do Maranhão corresponde à porção da margem esquerda do rio principal que faz divisa com os estados do Tocantins e Piauí. Essa porção representa a maior área de bacia que abrange o BCSC. São cerca de 65.226,5km^2 correspondendo a 34,6% da área total do bioma. Ao todo, possui 11.509 trechos de drenagem e 37.271,9km de extensão de cursos d'água (Figura 57). No alto curso da bacia do Parnaíba, há importante unidade de conservação de proteção integral, o Parque Nacional das Nascentes do Parnaíba, que engloba também parte do território do Piauí e do Tocantins.

O Rio Parnaíba possui cerca de 1.366,3km de extensão, desde a sua cabeceira localizada na Chapada das Mangabeiras, após a confluência dos rios Água Quente e das Lontras e divisa entre Maranhão e Piauí, até a foz, formando o grande Delta do Parnaíba. O seu maior afluente, o Rio Balsas, possui 604,5km. O vale do Rio Parnaíba é encaixado, entalhado em cotas altimétricas que variam de 200 a 350m e ladeado por vertentes abruptas, esculpidas em formações areníticas. O Rio Balsas, afluente da margem esquerda, apresenta vale mais aplainado, com relevo predominantemente de colinas dissecadas. Uma das características do rio principal é a ampla planície aluvial que atinge 6km de largura. O Rio Parnaíba possui morfologia retilínea com direção NE-SW, obedecendo ao controle morfoestrutural da maioria dos lineamentos. Várias feições fluviais são observadas ao longo do seu leito, como barras de areias e ilhas, ligadas aos trechos de estiramento e alargamento do canal e a presença de meandros e lagoas abandonados. O rio apresenta anomalias estruturais em arco e cotovelo, que ocasiona a mudança preferencial do curso de NE-SW para NW-SE, no decorrer do seu curso (GASTÃO, 2010). Os parâmetros morfométricos da bacia indicam média densidade de drenagem de 0,6 km/km^2 e densidade hidrográfica de 0,18 Nc/km^2.

No alto curso, predominam grandes formas tabulares com escarpas acentuadas, intensamente dissecadas pelos tributários do Rio Parnaíba. A Chapada das Mangabeiras, situada no extremo sul do Maranhão tem altitude entre 700 e 800 metros (Figura 58), com vertentes escarpadas bem delimitadas e declividade acentuada, que varia de 45 a 60,8^0 (Figura 59). Os topos planos favorecem a instalação de grandes áreas agrícolas nessa porção da bacia. Esta fronteira agrícola tem avançado de forma acelerada nos topos das chapadas, que são áreas destinadas principalmente para o cultivo de grãos, situadas próximas às cidades de Balsas e Alto Parnaíba.

No médio curso predominam as superfícies tabulares mais rebaixadas em relação ao alto curso (CPRM, 2013), variando entre 400 a 450m. Os rios apresentam amplos vales e a bacia, na porção maranhense, configura-se mais estreita no médio curso até a sua foz, consistindo num relevo de superfícies aplainadas em diferentes níveis altimétricos (30 a 200m). No baixo curso, parte leste da planície costeira maranhense, desenvolve-se o Delta do Parnaíba, que configura uma feição deltaica em leque aluvial (AB'Saber, 1960) localizada entre os estados do Piauí e Maranhão. Segundo a CPRM (2013), o delta se encontra na interface entre os sistemas sedimentares fluviais e marinhos, com diversificado conjunto de feições deposicionais, de origem fluvial, fluviomarinha, eólica e marinha.

Figura 57 – Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Parnaíba

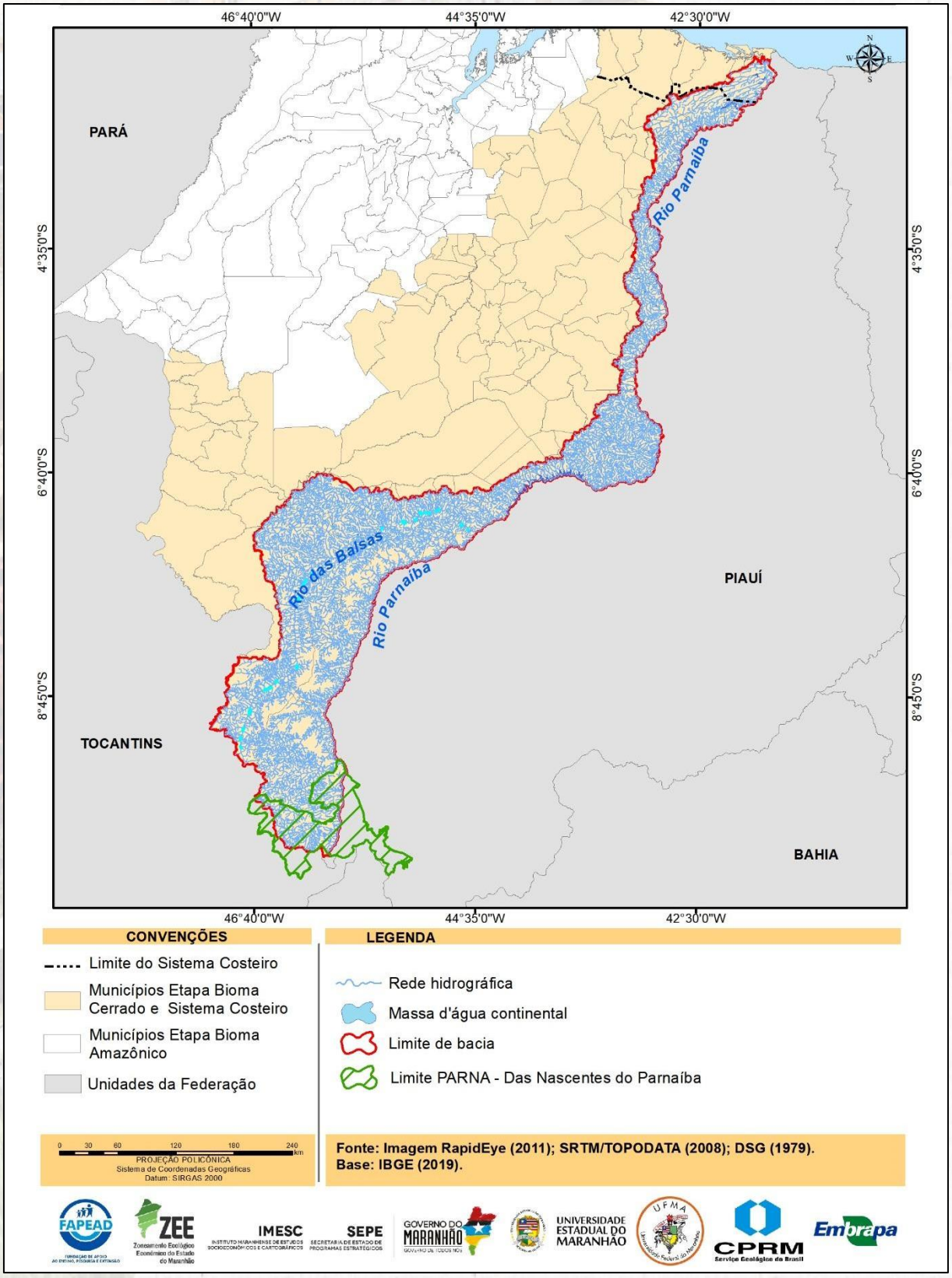


Figura 58 – Hipsometria da Bacia do Rio Parnaíba

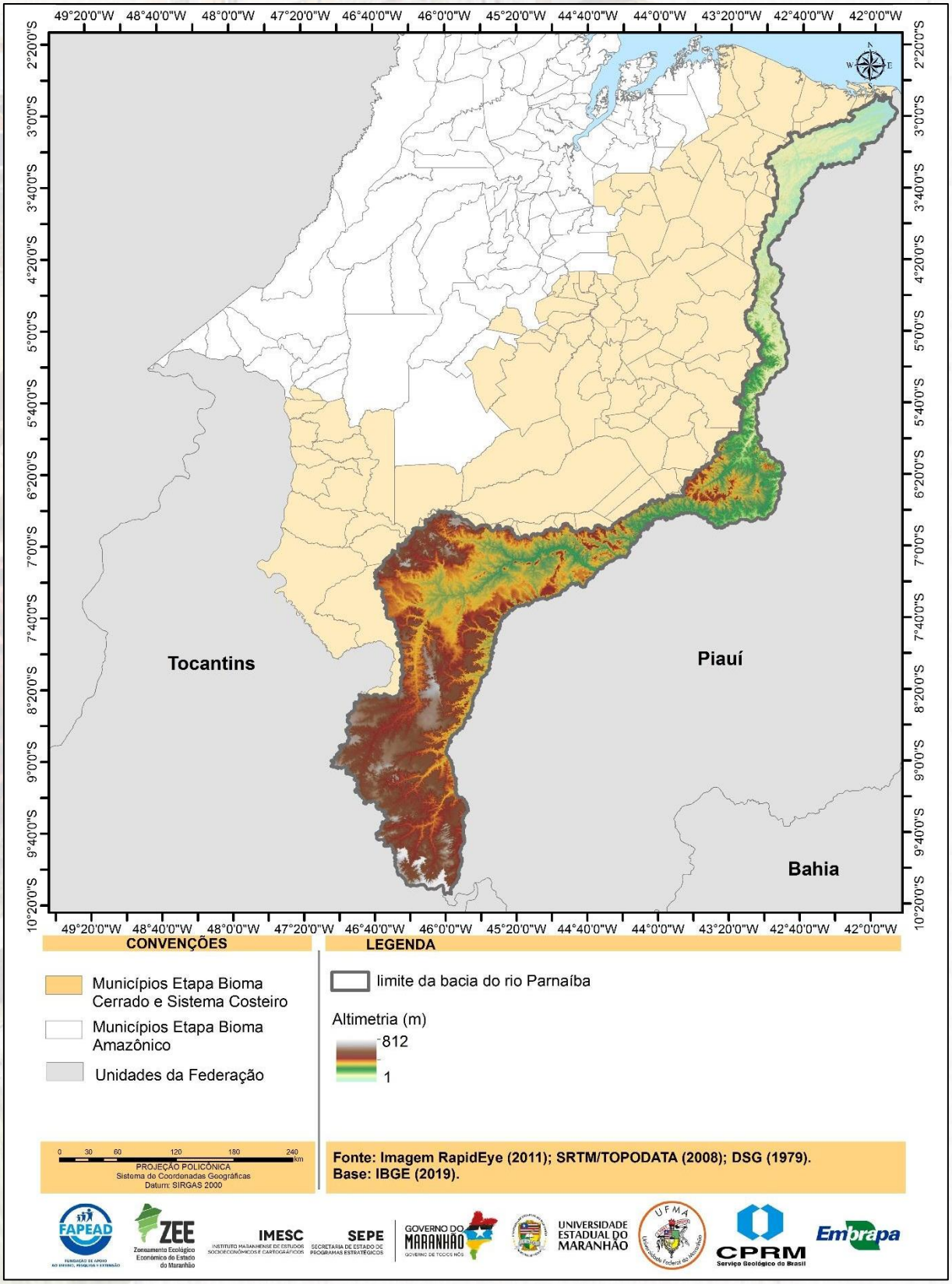
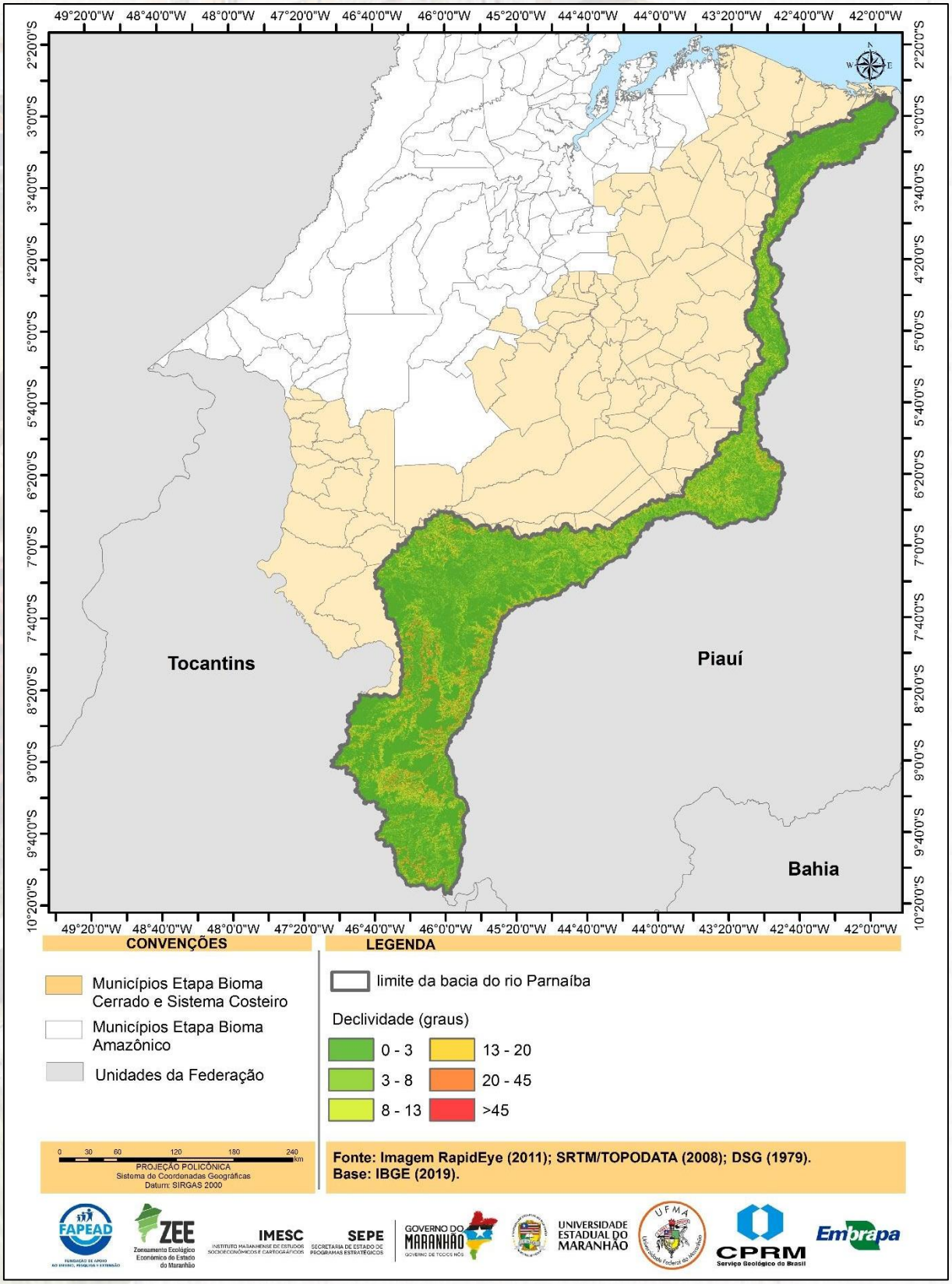


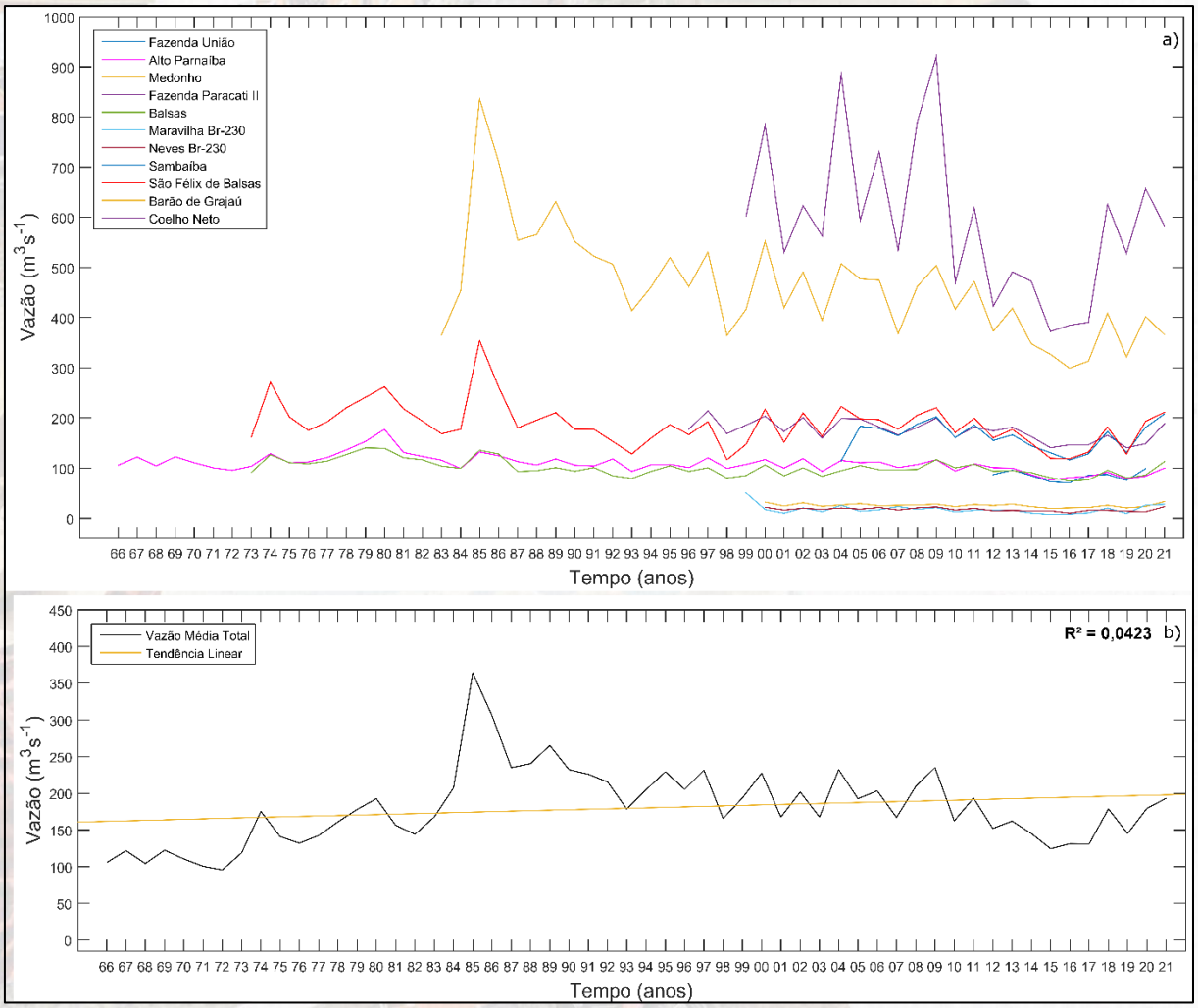
Figura 59 – Declividade da Bacia do Rio Parnaíba



3.8.2 Regime Fluvial

As vazões médias anuais das 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (isto é, estações Fazenda União, Alto Parnaíba, Medonho, Fazenda Paracati II, Balsas, Maravilha BR-230, Neves BR-230, Sambaíba, São Félix de Balsas, Barão de Grajaú e Coelho Neto) e a vazão média anual total da bacia são mostradas na Figura 60. Analisando-se as vazões médias anuais isoladamente, é possível notar que as estações de Coelho Neto e Barão de Grajaú, localizadas na transição do baixo para o médio curso e no médio curso, respectivamente, apresentam as maiores amplitudes de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, atingindo um pico de 920,3 m^3s^{-1} na estação de Coelho Neto em 2009 (Figura 60a). Os resultados mostram que a vazão média anual total para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba variou de 95,6 m^3s^{-1} a 364,1 m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1985 (Figura 60b). Apesar da vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba apresentar uma tendência de aumento (Figura 60b), o que pode ser explicado pelos altos valores de vazões médias encontrados na estação de Barão de Grajaú e Coelho Neto, ao se analisar separadamente os dados de cada estação, é mostrado que os rios apresentam redução de suas vazões (Tabela 32).

Figura 60 – a) Vazões médias anuais (m3s-1) obtidas para as 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e b) Vazão média anual total entre as estações e tendência



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As vazões médias dos rios medidas por 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e a tendência anual são mostradas na Tabela 32. De acordo com os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, no alto curso do Rio Parnaíba, os dados monitorados na Fazenda União mostram que a vazão média anual foi de 84 m^3s^{-1} (Tabela 32). Na estação seguinte, Alto Parnaíba, a vazão média anual do Rio Parnaíba foi de 109,4 m^3s^{-1}. Ainda no alto curso da bacia do Parnaíba, o Rio Medonho, afluente do Rio Parnaíba nessa região, apresentou vazão média anual de 25,3 m^3s^{-1}. Na transição do alto para o médio curso da bacia do Parnaíba, no Rio Parnaíba, os dados monitorados na estação Fazenda Pacarati II mostram que a vazão média anual foi de 174,2 m^3s^{-1}. No médio curso da bacia, o Rio das Balsas possui três estações fluviométricas, localizadas entre seu médio e baixo curso, que apresentaram vazão média anual variando de 100,6 m^3s^{-1} a 187,1m^3s^{-1}. O Rio Maravilha e o Rio Neves, afluentes do Rio das Balsas, apresentaram vazão média anual de 16 m^3s^{-1} e 17,2 m^3s^{-1}, respectivamente. No médio curso do Rio Parnaíba, os dados monitorados na estação Barão

de Grajaú, mostram que a vazão média anual foi de 463,6 m^3s^{-1}, apresentando neste trecho do rio um decréscimo na vazão de cerca de 253,6 m^3s^{-1} (Tabela 32), ou seja, a maior redução da vazão em comparação com as demais estações desta bacia. Na transição do médio para o baixo curso da bacia, o Rio Parnaíba, com dados monitorados na estação Coelho Neto, apresentou vazão média anual de 590,2 m^3s^{-1} (Tabela 32). Os afluentes que contribuem com a vazão do rio principal desta bacia, o Rio Parnaíba, e que estão inseridos no BCSC são os Rios Medonho e das Balsas, ambos situados à margem esquerda.

Tabela 32 – Dados de vazão média anual e tendência das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Tendência (m^3s^{-1})	Rio	Período
Fazenda União	84	+0,63	Rio Parnaíba	2012 - 2020
Alto Parnaíba	109	-33	Rio Parnaíba	1966 - 2021
Medonho	25,3	-4,8	Rio Medonho	2000 - 2021
Pacarati II	174,2	-42,8	Rio Parnaíba	1996 - 2021
Balsas	100,6	-31,9	Rio das Balsas	1973 - 2021
Maravilha Br - 230	16	-9,1	Rio Maravilha	1999 - 2021
Neves Br - 230	17,2	-5,7	Rio Neves	2000 - 2021
Sambaíba	162	-7,4	Rio das Balsas	2004 - 2021
São Félix De Balsas	187,1	-60,9	Rio das Balsas	1973 - 2021
Barão De Grajaú	463,6	-253,6	Rio Parnaíba	1983 - 2021
Coelho Neto	590,2	-212,9	Rio Parnaíba	1999 - 2021

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os resultados mostraram que as vazões das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba não são influenciadas pelo fenômeno ENOS, uma vez que não houve significativa estatística (Tabela 33). Ainda que sem significância, as correlações também foram negativas como nas demais bacias.

Tabela 33 – Correlação (r) e significância ($p < 0,05$) entre o ION e as anomalias mensais de vazão para Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba

	Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4	
	r	*p*	r	*p*	r	*p*	r	*p*
Bacia do Rio Parnaíba	-0.0325	*0.4031*	-0.0413	*0.2876*	-0.0186	*0.6313*	-0.0466	*0.2297*

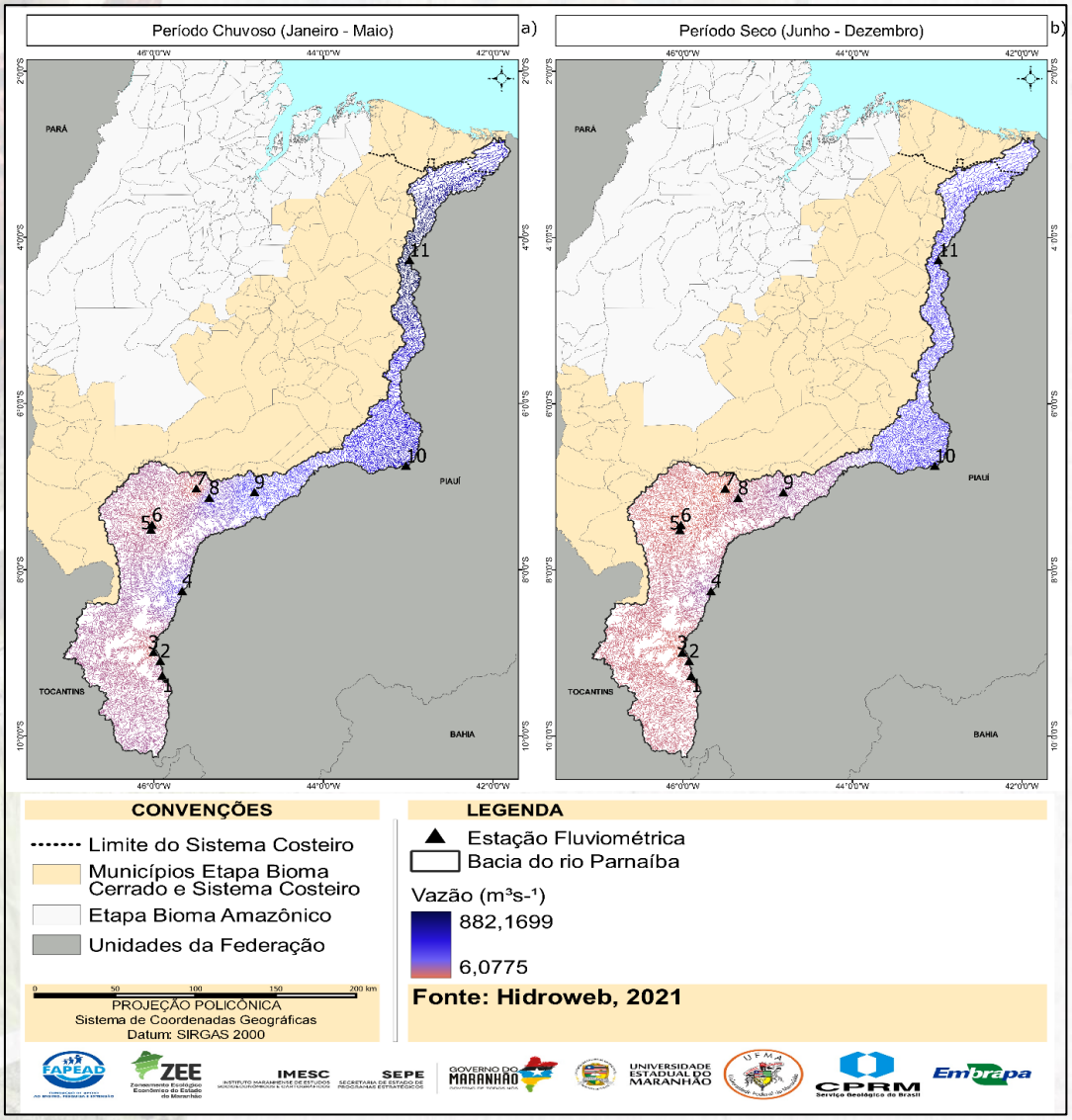
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A climatologia mensal (janeiro a dezembro) para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba mostrou que as maiores vazões dos rios ocorreram no baixo e médio curso da bacia, especialmente nos meses de janeiro a maio (Figura 61).

Figura 61 - Climatologia mensal (janeiro a dezembro) das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto

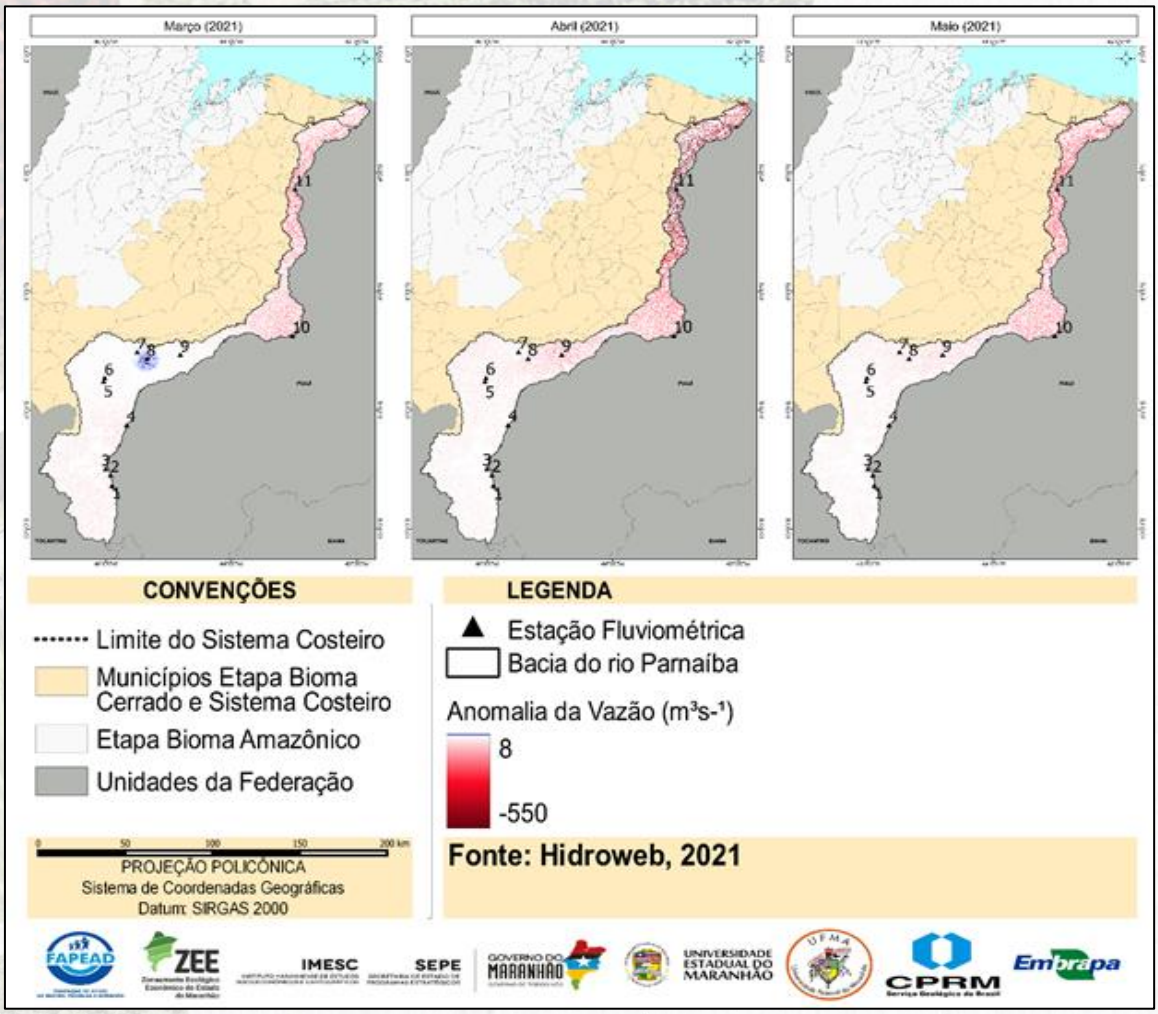
A distribuição sazonal das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba é mostrada para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e a estação seca (junho a dezembro) da região (Figura 62). Os resultados mostraram uma clara distribuição zonal das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, com maiores vazões no setor norte (baixo curso) e menores vazões no setor sul (alto curso) da bacia. As maiores amplitudes de vazão, entre o período chuvoso e o seco, ocorreram no médio curso.

Figura 62 – Distribuição sazonal das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para: a) os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e b) os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da regiã região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto



A Figura 63 mostra os campos anômalos, em relação à média climatológica (1963-2021), das vazões dos rios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba para os meses que foram realizadas as coletas *in situ* (i.e., março, abril e maio de 2021). Durante os meses de amostragem dos parâmetros de qualidade das águas, esta bacia hidrográfica encontrava-se em período de estiagem, ou seja, com anomalias negativas de vazão nos setores central e norte, mais intensamente no mês de abril (-550 m^3s^{-1}). Apenas uma estação (8-Sambaíba) no médio curso registrou chuvas acima do normal no mês de março.

Figura 63 – Campos anômalos das vazões dos rios para os meses de março, abril e maio de 2021 a partir das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fl fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto.



3.8.3 Qualidade de Águas

A Bacia do Rio Parnaíba possui uma rede de monitoramento composta por 14 estações vinculadas à RHN. A vaiável temperatura da água oscilou entre 26,02±1,35 a 30,23±1,01ºC. A escala de pH tendeu para águas de levemente ácida à levemente alcalina, com faixa variando entre 5,70±0,76 até 7,20±0,32. Os valores obtidos para o oxigênio dissolvido apresentaram concentrações com saturação propícia para a manutenção da vida aquática em aerobiose, todos os valores médios foram superiores à 6,36±1,55mg L^{-1} (Tabela 34).

A variável turbidez apresentou as maiores variações significativas em duas estações de monitoramento do rio Parnaíba, ambas no alto curso. A primeira, com níveis equivalentes a 180,09±303,98 NTU (Rio Parnaíba, Alto Alegre) e a segunda, com valores da ordem de 74,10±90,67 NTU (Rio Medonho, Alto Parnaíba) destacaram-se como ambiente que estão submetidos a forte influência de processos de carreamento de sólidos suspensos para coluna d'água.

Na bacia do Parnaíba, duas estações apresentam dados referentes às variáveis TDS, NA, NT. Também, para estação 34311000 (Rio Parnaíba, na cidade de Barão de Grajaú), estão disponíveis os dados de BDO, DQO e Nitritos. Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio, no trecho monitorado.

Tabela 34 – Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Parnaíba

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TDS	NA	NT	Nitrito
34020000	27,32 ±1,33	6,89 ±0,85	180,09 ±303,98	6,95 ±1,78	21,68 ±25,07	15,96 ±11,91	-	-	-	-	-	-
34142000	26,02 ±1,35	7,06 ±1,12	22,02 ±21,81	7,25 ±1,43	30,67 ±7,53	29,58 ±4,63	-	-	-	-	-	-
34030000	26,85 ±1,60	6,50 ±1,11	74,10 ±90,67	7,06 ±1,75	7,64 ±1,49	8,19 ±4,07	-	-	-	-	-	-
34040500	27,80 ±1,23	6,66 ±1,08	66,06 ±107,60	7,21 ±1,57	13,94 ±9,01	13,63 ±7,79	-	-	-	-	-	-
34010000	27,38 ±1,62	6,38 ±0,71	42,83 ±55,96	6,92 ±1,72	8,15 ±3,83	9,15 ±6,25	-	-	-	-	-	-
34130000	27,02 ±1,34	6,44 ±1,21	18,66 ±29,53	6,86 ±1,63	8,88 ±7,51	8,89 ±6,64	-	-	-	-	-	-
34140000	27,05 ±1,40	6,72 ±0,98	20,60 ±11,81	6,66 ±1,51	29,23 ±16,56	26,25 ±10,38	-	-	-	-	-	-
34145000	26,96 ±1,59	6,98 ±0,94	28,15 ±26,11	7,02 ±1,54	23,47 ±10,94	24,14 ±7,62	-	-	-	-	-	-
34160000	27,73 ±1,32	6,99 ±0,92	27,35 ±29,38	6,73 ±1,50	24,74 ±11,21	22,89 ±7,59	-	-	-	-	-	-
34820000	30,22 ±1,17	7,15 ±0,70	50,84 ±44,57	6,80 ±1,66	62,40 ±19,94	45,83 ±15,79	-	-	-	-	-	-

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TDS	NA	NT	Nitrito
34820001	30,23 ±1,01	7,20 ±0,32	28,20 ±16,99	7,67 ±0,80	58,28 ±11,96	-	-	-	-	-	-	-
34988000	29,49 ±1,29	5,70 ±0,76	25,65 ±9,41	6,36 ±1,55	69,42 ±8,02	78,06 ±26,92	-	-	-	-	-	-
34170000	28,01 ±1,68	6,62 ±0,84	42,64 ±64,99	6,56 ±1,63	29,71 ±12,62	29,17 ±13,13	-	-	8,73 ±1,15	0,33 ±0,08	0,23 ±0,31	-
34311000	28,42 ±2,07	6,74 ±0,97	27,72 ±21,14	6,49 ±1,14	33,58 ±9,38	34,06 ±11,20	20,90± 24,80	2,39 ±1,94	26,32 ±32,63	0,13 ±0,17	1,11 ±1,99	0,20 ±0,65

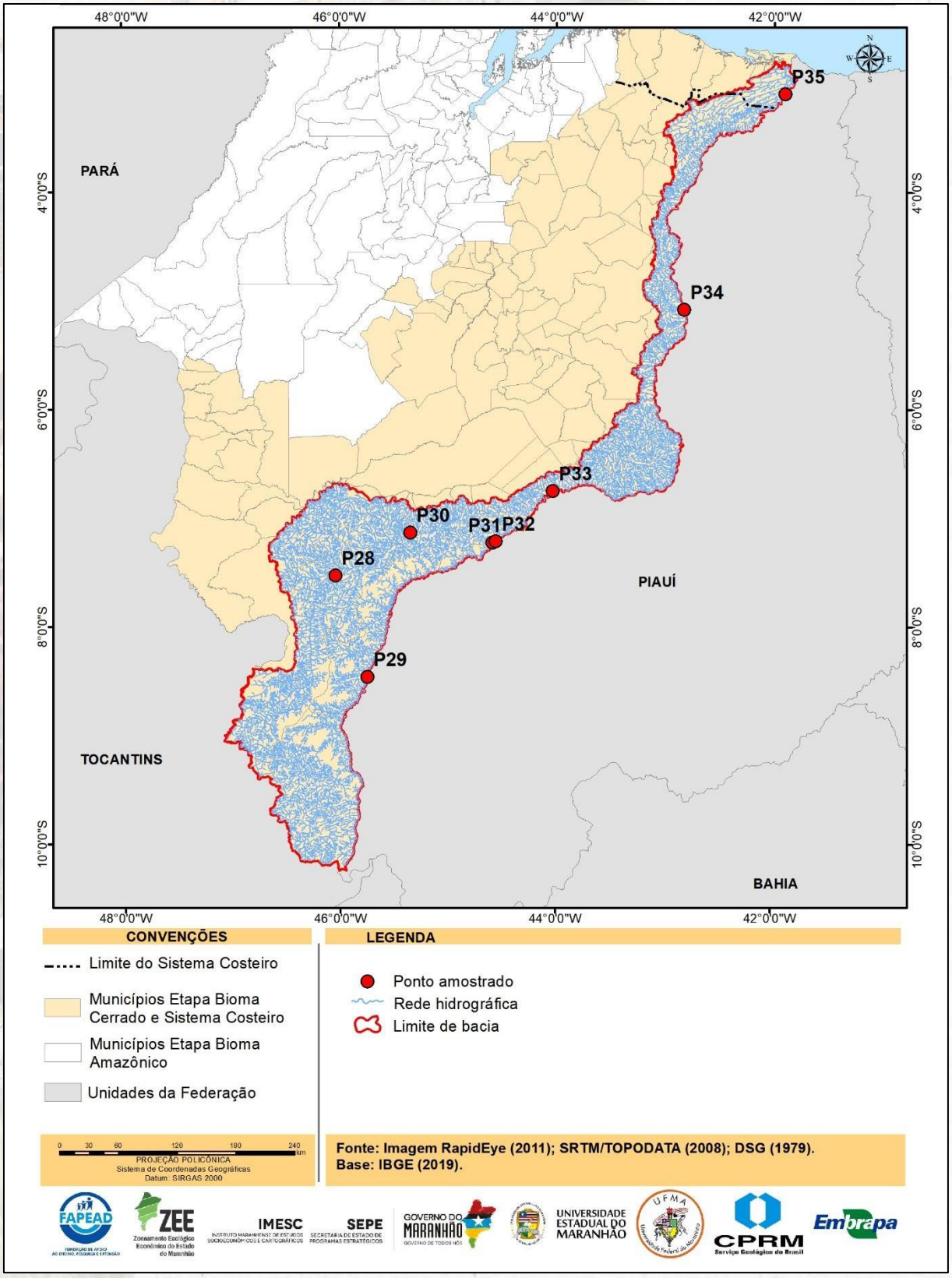
Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); TDS – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NA – Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1}).
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A coleta foi realiza em 8 pontos (Figuras 64 e 65) da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, nos municípios de Tasso Fragoso, Sambaíba, Benedito Leite, Araioses, Nova Iorque e Timon. Os pontos P28 a P33 foram coletados próximo à sede dos municípios com ocupação imobiliária em uma das margens e, a outra margem com aspecto preservado. O ponto P34 entre Timon e Teresina possui intensa ocupação imobiliária e baixa cobertura vegetal. A amostra do ponto P35 foi coletada em local distante da sede, com baixa ocupação imobiliária e vegetação preservada.

Figura 64 – Pontos de coleta do Rio Parnaíba

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 65 – Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba



Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Parnaíba se encontram nas Tabelas 35 e 36.

Tabela 35 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba (abril-maio/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Parnaíba**							
Ponto de Coleta		**P28**	**P29**	**P30**	**P31**	**P32**	**P33**	**P34**	**P35**
Local de Coleta		**Rio Balsas - Balsas**	**Rio Parnaíba - Tasso Fragoso**	**Rio Balsas-Sambaíba**	**Rio Balsas - Benedito Leite**	**Rio Parnaíba - Benedito Leite**	**Rio Parnaíba - Nova Iorque**	**Rio Parnaíba - Timon**	**Rio Parnaíba - Baixo Curso**
Data da Coleta		18/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	20/04/2021	04/05/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		15:58	7:13	12:25	15:44	16:25	7:03	12:13	13:16
Temperatura	(°C)	26,89	26,28	26,63	27,00	27,61	29,27	28,91	30,00
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CE	(µS cm^{-1})	10,00	19,00	36,00	38,00	28,00	32,00	384,00	30,00
TDS	(mg L^{-1})	7	12	23	25	18	20	55	18
Turbidez	(NTU)	51,40	182,00	23,40	281,00	322,00	6,10	114,00	129,00
pH		6,73	7,37	7,1	7,26	7,29	7,35	7,14	7,23
ORP	(mV)	165	137	186	139	155	101	31	137
OD	(mg L^{-1})	3,83	4,74	5,40	4,51	5,08	7,90	5,40	7,10
OD	(%)	47,37	58,62	67,99	56,78	64,54	102,03	69,23	95,76
TSS	(mg L^{-1})	44,14	173,60	22,44	222,17	219,00	224,17	24,63	81,38
Fosfato	(mg L^{-1})	1,27	1,69	0,16	2,50	2,44	0,84	5,40	3,39
Silicato	(mg L^{-1})	42,90	48,00	57,20	50,80	52,60	52,10	45,00	58,50
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,18	0,13	< 0,10	0,25	0,18
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	< 0,001	0,02	0,02	< 0,001	< 0,001	0,01
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,50	0,70	0,10	1,10	< 0,001	1,20	1,50
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A CE, nesta bacia, esteve dentro da normalidade, com uma concentração mais elevada no P34 (Timon) na coleta de maio, diminuindo seu valor em junho.

A turbidez mostrou valores elevados em quase todos os pontos de estudo dessa bacia em abril-maio, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no Rio Balsas (P31) e no Rio Parnaíba (P33), que ficaram dentro do limite. No período de coleta de maio-junho, os valores de turbidez diminuíram em todos os pontos, ficando dentro do permitido pelas normas brasileiras. A alta turbidez dessas águas pode

ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

Tabela 36 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba (maio-junho/2021)

Bacia Hidrográfica		**Bacia do Rio Parnaíba**							
Ponto de Coleta		**P28**	**P29**	**P30**	**P31**	**P32**	**P33**	**P34**	**P35**
Local de Coleta		**Rio Balsas - Balsas**	**Rio Parnaíba - Tasso Fragoso**	**Rio Balsas - Sambaíba**	**Rio Balsas - Benedito Leite**	**Rio Parnaíba - Benedito Leite**	**Rio Parnaíba - Nova Iorque**	**Rio Parnaíba - Timon**	**Rio Parnaíba - Baixo Curso**
Data da Coleta		31/05/2021	31/05/2021	31/05/2021	31/05/2021	31/05/2021	01/06/2021	08/06/2021	25/05/2021
Horário de Coleta		07:37	10:36	14:59	17:24	17:34	07:00	14:59	14:23
Temperatura	(°C)	24,42	25,7	26,76	27,04	27,33	28,08	26,76	31,65
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	13	15	54	30	16	54	54	104
TDS	(mg L^{-1})	9	10	35	20	11	35	35	67
Turbidez	(NTU)	2,3	9,4	7,4	7,3	13,8	4,9	7,4	23,3
pH		7,16	7,02	7,36	7,05	6,9	7,55	7,36	7,57
ORP	(mV)	43	50	48	61	72	90	48	93
OD	(mg L^{-1})	5,77	6,87	5,80	5,24	5,58	6,19	7,03	5,09
OD	(%)	72,5	84,8	72,3	65,9	70,8	80,6	90,7	69,1
TSS	(mg L^{-1})	5,12	21,88	9,88	14,38	16,00	2,25	13,38	28,50
Fosfato	(mg L^{-1})	0,70	5,00	2,50	3,20	9,80	6,70	4,00	2,70
Silicato	(mg L^{-1})	33,70	42,20	42,40	42,20	40,70	42,50	38,10	48,80
Nitrato	(mg L^{-1})	0,20	0,20	0,10	< 0,10	0,10	0,30	0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,00	0,30	< 0,001	0,80	1,40	2,70	2,00	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O OD apresentou concentrações abaixo do que é referendado pelo padrão CONAMA na bacia no período de abril-maio, exceto nos pontos P33 e P35. No período de maio-junho, a exceção foi nos pontos P29, P33 e P34. O OD é uma indicação direta de qualidade da água, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da

matéria orgânica (SANTOS, 2000). A concentração de OD% indicou águas subsaturadas em oxigênio na bacia, para ambos os períodos, mas somente o ponto P28, durante a coleta de abril, mostrou valores de OD% abaixo de 50% de saturação em oxigênio, os demais evidenciaram águas oxigenadas.

O TSS foi alto em todos os pontos de coleta na primeira campanha (abril-maio), indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência ou das mudanças espaciais nas feições deposicionais ou em virtude das condições climáticas da região (chuva) ou dos diferentes tipos de uso das margens fluviais, que influenciam no maior aporte terrígeno nos rios. Na segunda campanha de coleta, os valores foram menores e dentro da normalidade.

O fosfato mostrou valores acima do que determina a resolução CONAMA 357/2005, em todos os pontos e períodos de coleta, indicando que esta bacia possui um potencial para eutrofização, com valores preocupantes nos pontos P34 e P35, no período de abril-maio, e nos pontos P29, P32 E P33, no período de maio-junho, que sugerem contribuição por fonte antrópica desse nutriente nessas áreas. O silicato também apresentou altas concentrações ao longo de toda a bacia e para os dois períodos de coleta. Também tivemos contribuições, em alguns pontos, de nutrientes nitrogenados, nitrato e N-amoniacal, embora estes valores tenham se mantido dentro dos limites toleráveis pelas normas brasileiras. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há maior contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios.

Os demais parâmetros estudados nesta bacia estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente.

4 SEÇÃO DE INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Nesta seção reúne-se a compilação dos resultados das análises realizadas para os recursos hídricos superficiais do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão.

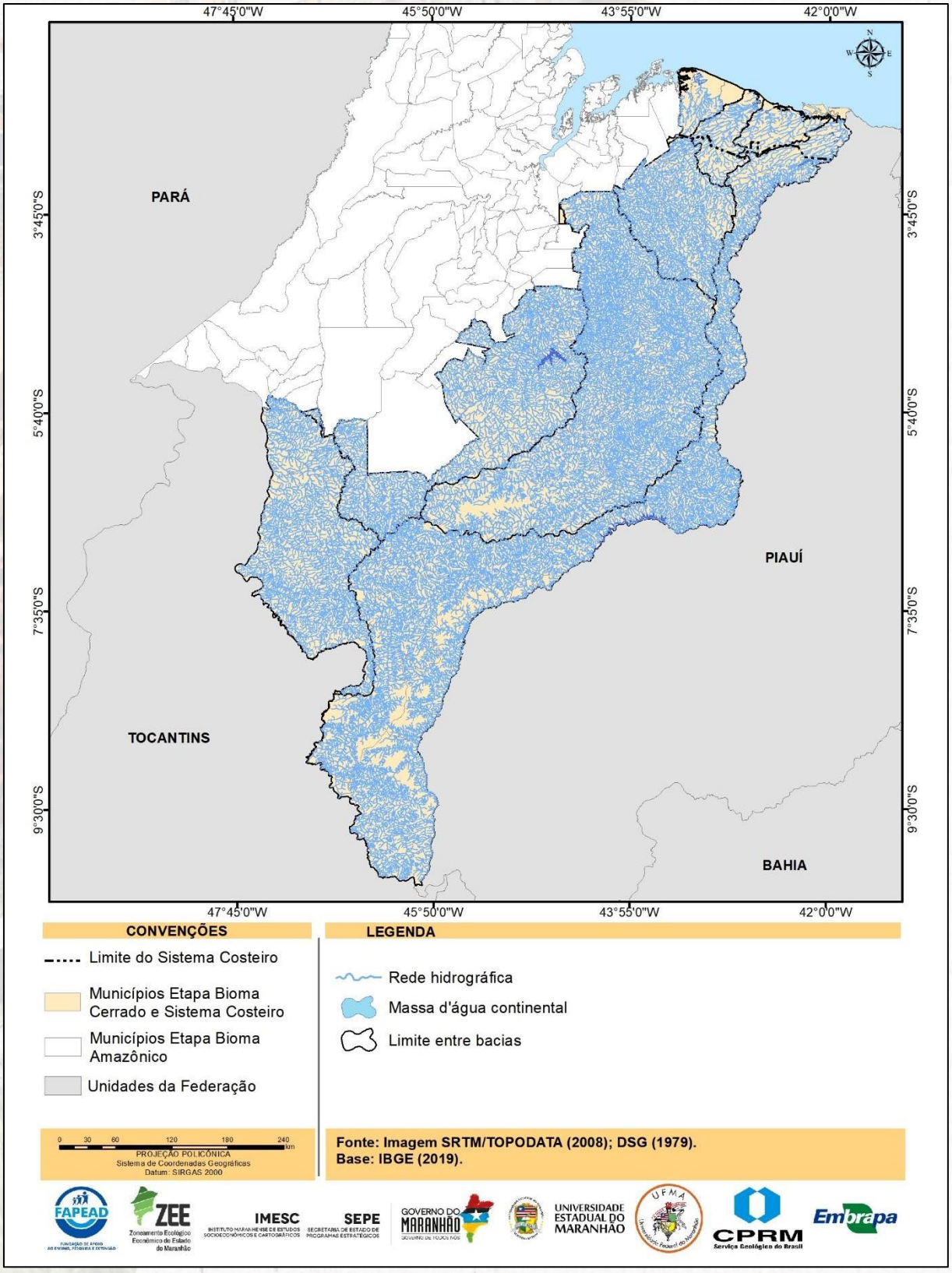
A Tabela 37 mostra os resultados da extensão dos trechos de drenagem (km) e do número de trechos de drenagem na escala 1:250.0000, em relação aos dados da base espacial hídrica mais atual, disponibilizada pela ANA (2017). Ao todo, o BCSC apresenta, em relação aos dados espaciais da ANA: acréscimo de 29.280 novos trechos de drenagem e 75.365,9 km de extensão dos cursos d'água. Os resultados mostram que a base cartográfica da hidrografia do ZEE BCSC apresenta maior precisão quanto à escala. A Figura 66 reúne o resultado da vetorização da rede hidrográfica do BCSC.

Tabela 37 – Resultados da rede hidrográfica em relação à base Agência Nacional de Águas

Bacias Hidrográficas e Sistemas de Bacias Costeiras	Número de trechos de drenagem da ANA	Número de trechos de drenagem do ZEE BCSC	Extensão (km) da rede de drenagem da ANA	Extensão (km) da rede de drenagem do ZEE BCSC
Sistemas de Bacias Costeiras: rios Periá e Grande	24	172	380,52	789,8
Bacia do Rio Preguiças	76	319	893,93	1.595,3
Sistemas de Bacias Costeiras: rios Novo e Barro Duro	54	186	603,65	1.034,2
Bacia do Rio Munim	157	2.389	1.968,60	7.538,7
Bacia do Rio Itapecuru	698	9.926	7.938,25	31.166,9
Bacia do Rio Mearim	386	4.305	4316,72	15.431,6
Bacia do Rio Tocantins	391	3.833	4.183,79	13.015,1
Bacia do Rio Parnaíba	1573	11.509	12.192,08	37.271,9
TOTAL	**3.359**	**32.639**	**32.477,5**	**107.843,4**

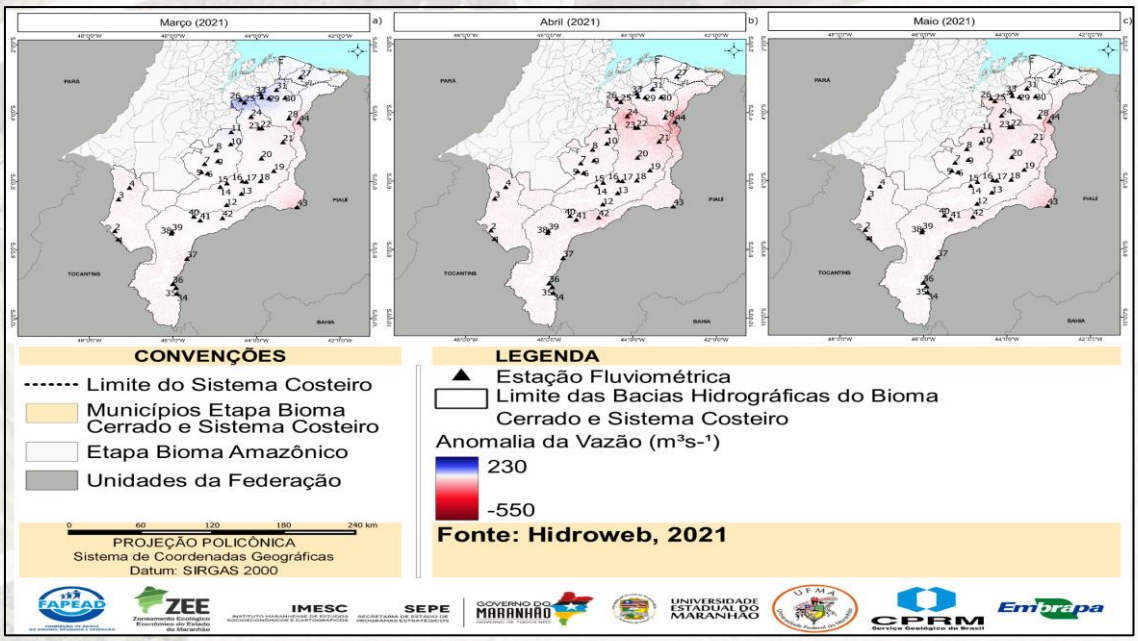
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 66 – Rede hidrográfica na escala 1:250.000 do BCSC



Os campos anômalos de vazões a partir dos dados medidos pelas 44 estações fluviométricas da ANA localizadas nas bacias hidrográficas do Tocantins, Mearim, Itapecuru, Preguiças, Munim e Parnaíba para os meses de realização das coletas (i.e., março, abril e maio de 2021) são mostrados na Figura 67. Ressalta-se, entretanto, que algumas estações do BCSC não apresentaram dados de vazão durante esses meses, impossibilitando a espacialização individual da bacia. Porém, ao se somar aos dados das demais bacias, elas contribuíram para a elaboração dos mapas das composições entre bacias. Esta análise mostrou que, em geral, durante a amostragem dos dados, o BCSC estava em condição de estiagem, com anomalias negativas de vazão, especialmente no setor norte do bioma, em torno do paralelo de 4°S, e sem contato com o litoral.

Figura 67 – Composição da distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 44 estações fluviométricas da ANA localizadas nas bacias hidrográficas do Tocantins, Mearim, Itapecuru, Preguiças, Munim e Parnaíba, entre os meses de: a) março, b) abril e c) maio de 22021. Os números no mapa representam a localização das 44 estações fluviométricas, a saber: 1 - Goiatins; 2 - Rio Itapecuru; 3 - Rio Itaueiras; 4 - Lajeado Novo; 5 - Rio Corda II; 6 - Fazenda Ourives; 7 - Barra do Corda; 8 - Santa Vitória; 9 - Flores; 10 - Joselândia; 11 - Pedreiras II; 12 - São Felinho; 13 - Mirador; 14 - Fernando Falcão; 15 - Campo Largo; 16 - Porto do Lopes; 17 - Colinas; 18 - Nazaré; 19 - Mendes; 20 - Montevidéu; 21 - Caxias; 22 - Codó; 23 - Fazenda Sobral; 24 - Coroatá; 25 - Piritoró II; 26 - Cantanhede; 27 - Morro Alto; 28 - Fazenda Capueira; 29 - Munim; 30 - Bonsucesso; 31 - São Benedito; 32 - Iguará; 33 - Nina Rodrigues; 34 - Fazenda União; 35 - Alto Parnaíba; 36 - Medonho; 37 - Fazenda Paracati II; 38 - Balsas; 39 - Maravilha Br - 230; 40 - Neves Br - 230; 41 - Sambaíba; 42 - São Felix de Balsas; 43 - Barão de Grajaú e 44 - Coelho Neto



De forma a compreender a dinâmica das variáveis monitoradas pela RHN entre os sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro do Estado do Maranhão, realizou-se a comparação entre as séries históricas das variáveis temperatura da água (°C), pH, turbidez (NTU), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) e condutividade específica. Para tanto, foram elaborados gráficos do tipo Box Plots no software MATLAB R2020a, licenciado pela Universidade Federal do Maranhão, os quais é possível verificar a variabilidade do conjunto de dados obtidos da RHN.

A Figura 68 apresenta as variações para temperatura da água na área de estudo. Os resultados indicam que, na série histórica, as variações apresentaram padrão esperado para a região de estudo e a pequena faixa de variação pode ser atribuída ao microclima local, horário dos registros e às variações diárias que se modificam em função da maior ou menor incidência solar. Para essa variável, os valores encontrados sugerem que os processos de intervenção nas bacias hidrográficas não estão influenciando em seus de padrões naturais.

Com relação aos padrões de condutividade elétrica e condutividade específica percebe-se que as bacias dos rios Itapecuru, Munim, Mearim e Itapecuru possuem níveis de variabilidade mais acentuados, com a ocorrência de valores superiores (*outlines*) aos padrões de média e desvio da série histórica para essas bacias. Os resultados indicam que nessas bacias, provavelmente, fenômenos como a sazonalidade (período de estiagem, chuvoso e transições) influenciam nas concentrações de íons indutores desta variável na água. No âmbito espacial, não foram observados, nas estações da RHN, valores que pudessem indicar intrusão da cunha salina nos sistemas monitorados. Destaca-se que os Sistemas de Bacias Costeiras Periá e Grande e a Bacia do Rio Preguiças, que hidrologicamente apresentam menores caudais fluviais e estão mais susceptíveis aos efeitos da cunha salina, apresentaram níveis de condutividade na mesma ordem de grandeza, por exemplo, àquelas encontradas nas bacias dos rios Itapecuru e Mearim (Figura 69 e Figura 70).

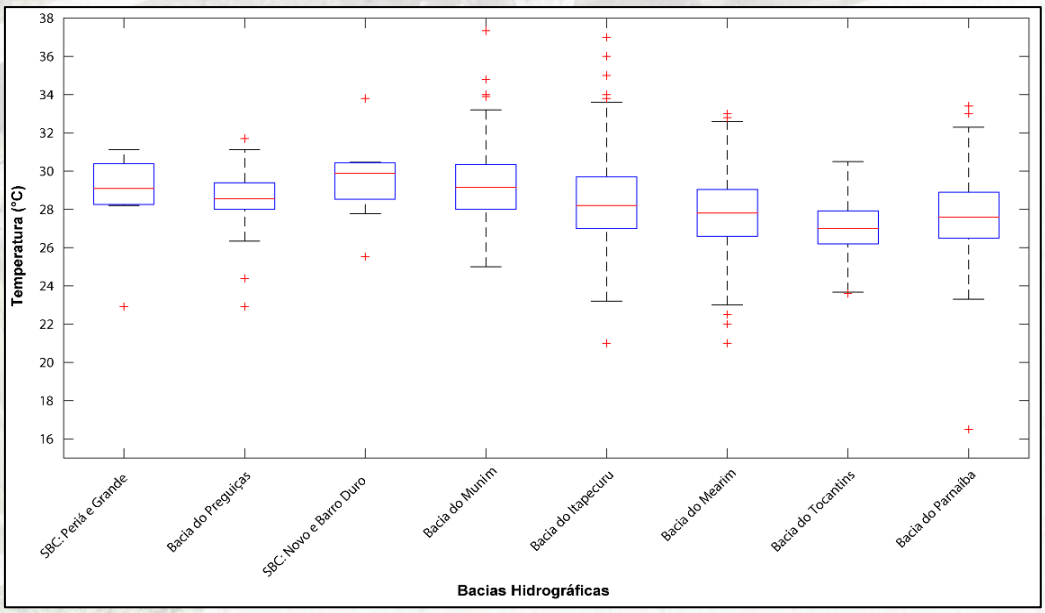
No que tange às variações da turbidez, identificou-se que as bacias dos sistemas costeiros Periá e Grande, Novo e Barro Duro e da Bacia do Rio Preguiças possuem um padrão histórico com medições abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1, que corresponde a 50 NTU. Para as bacias dos rios Itapecuru, Munim, Mearim, Tocantins e Parnaíba, todos os valores médios foram inferiores a 50 NTU de turbidez. No entanto, na série histórica ocorreram medições acima do nível preconizado pela Resolução CONAMA N.°357/2005 (Figura 71). Os maiores níveis foram observados nas bacias dos rios Munim e Parnaíba, revelando que na área de estudo, são as bacias hidrográficas com maior grau de sólidos suspensos e dissolvidos na coluna d´água. Sabe-se que a turbidez é uma medida que expressa a dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva a ela. As principais causas do aumento da turbidez

da água são: presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica ou coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, organismos microscópicos e algas.

A variação de pH revelou que qualidade da água dos Sistemas Periá e Grande e das bacias dos rios Preguiças e Munim apresentou tendências relativamente mais ácidas em relação às demais bacias hidrográficas. Os valores médios de pH em ambos os ambientes apresentaram padrões inferiores ao limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1. Para as demais bacias, os valores médios foram relativamente maiores, qualificando as bacias nos níveis estabelecidos pela legislação. Ressalta-se que foram observadas oscilações significativas dos valores de pH nas bacias do rio Munim, Itapecuru e Parnaíba, com tendências maiores para a alcalinidade das águas (Figura 72).

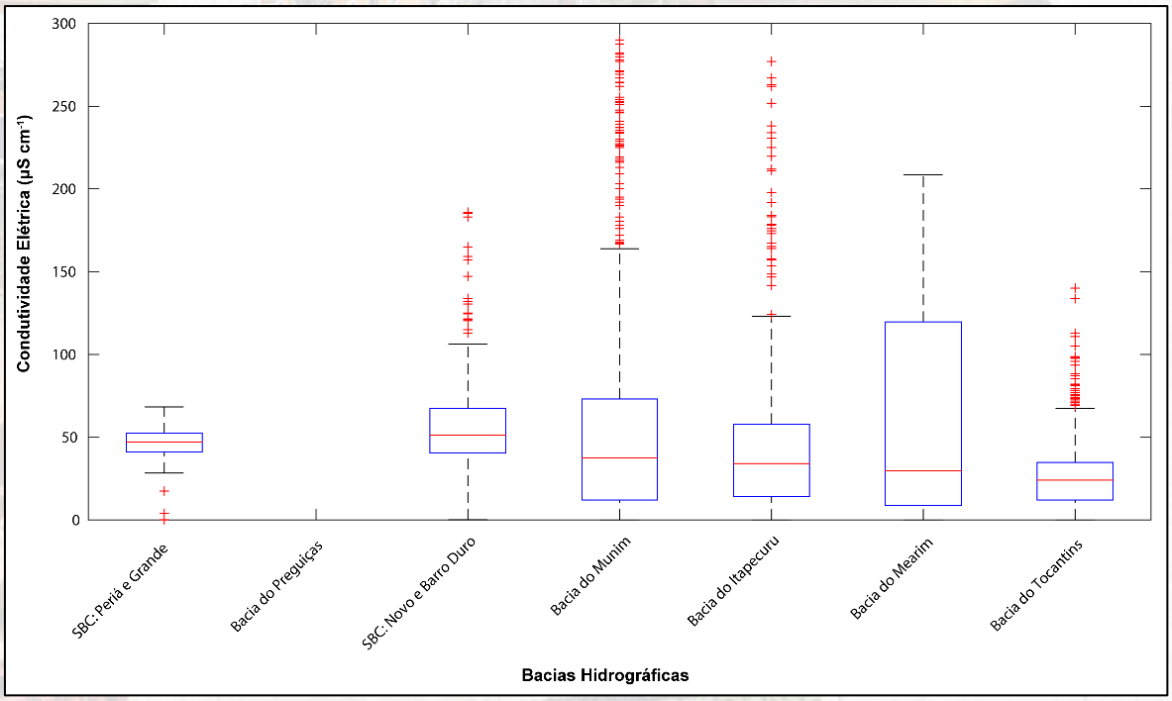
Por sua vez, a variável oxigênio dissolvido apresentou concentrações médias acima do limite mínimo estabelecido pela referida resolução para as águas doces superficiais - Classe 1, que corresponde a 6 $mg.L^{-1}$ em todos os sistemas e bacias hidrográficas do BCSC. Destaca-se que ocorreram concentrações inferiores a 6 $mg.L^{-1}$ nas estações de monitoramento situadas nas bacias do rio Munim, Itapecuru, Mearim, Tocantins e Parnaíba (Figura 73). A análise gráfica também demonstrou que os valores de desvio padrão e variância apresentam concentrações de oxigênio dissolvido acima de 2, 3$mg.L^{-1}$ para todas as bacias hidrográficas, considerando toda a série histórica da RHN. Tais variações podem estar relacionadas aos fatores ambientais, como maior disponibilização de matéria orgânica, produtividade primária ou sazonalidade.

Figura 68 – Variação da temperatura nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão



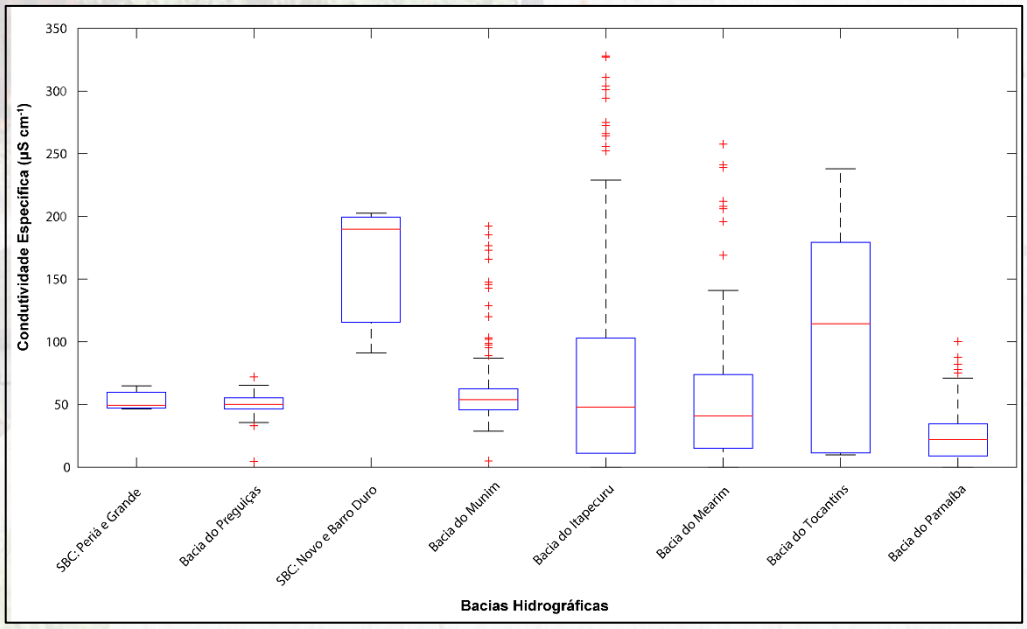
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 69 – Variação de condutividade elétrica nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão



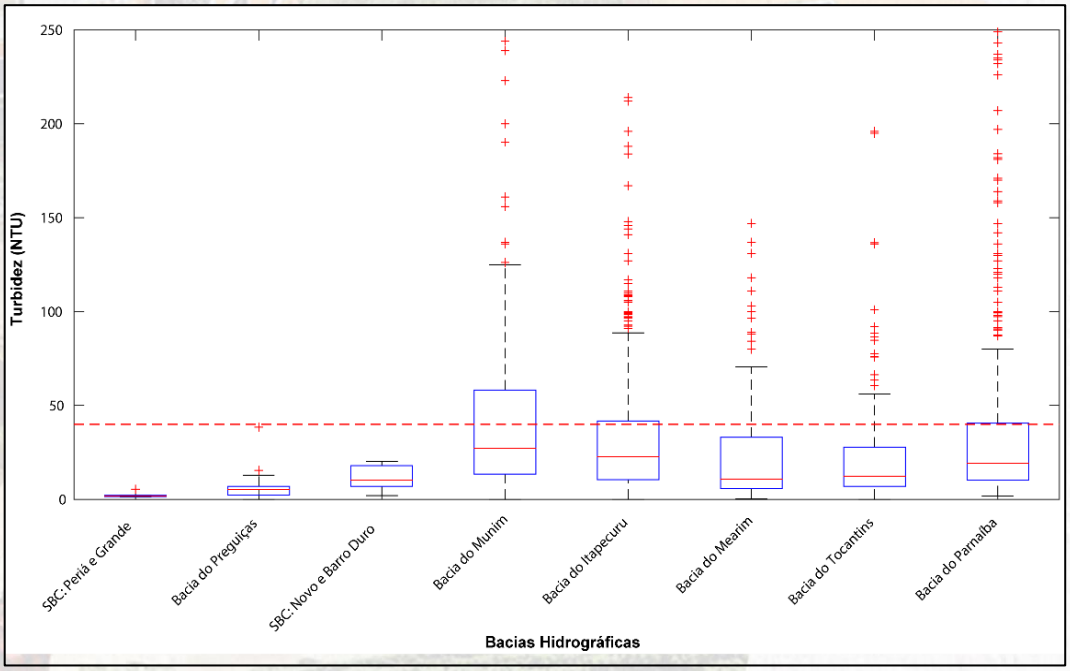
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 70 – Variação de condutividade específica nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão



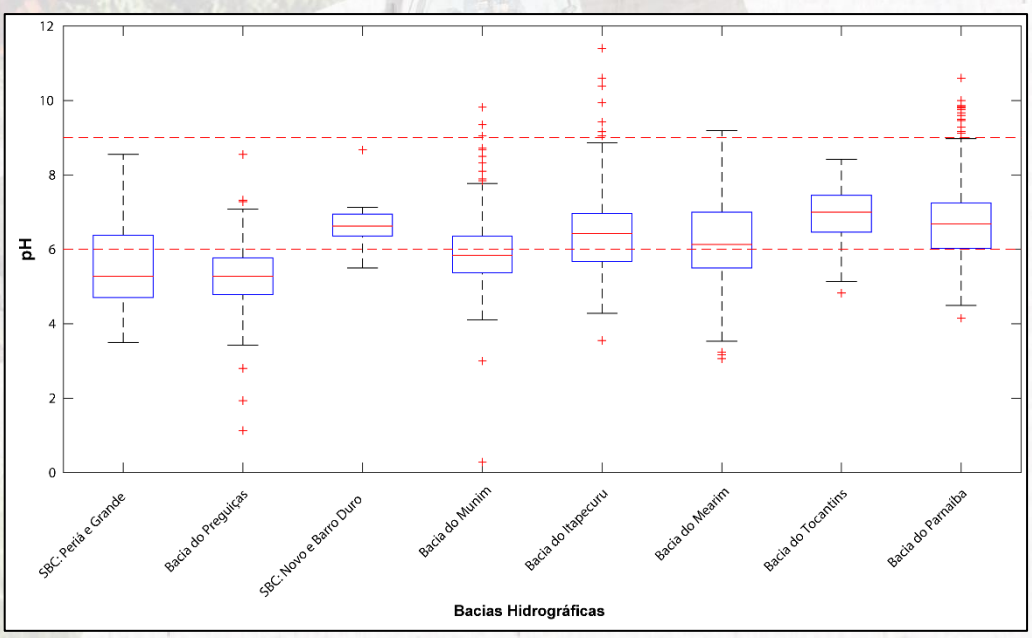
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 71 – Variação de turbidez nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1



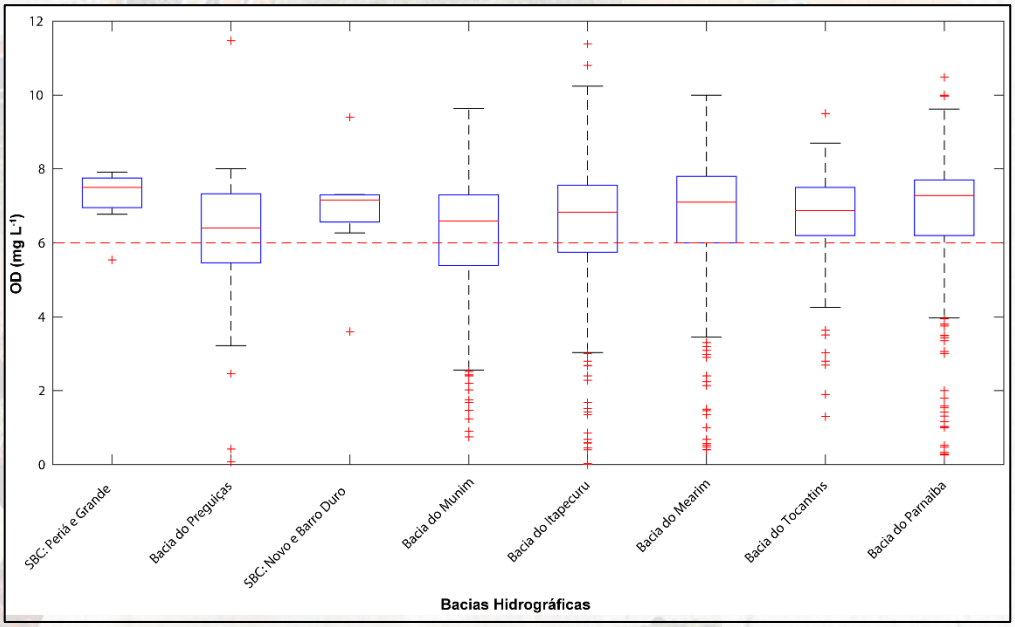
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 72 – Variação de pH nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 73 – Variação de Oxigênio Dissolvido (mg.L-1) nas águas superficiais dos sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado do estado do Maranhão. Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais - Classe 1



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

De forma a compreender a dinâmica das variáveis monitoradas por meio da coleta de amostras de águas superficiais nos meses de abril, maio e junho de 2021, entre os sistemas e bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro do Estado do Maranhão, realizou-se a análise integrada para os parâmetros físicos e químicos da água.

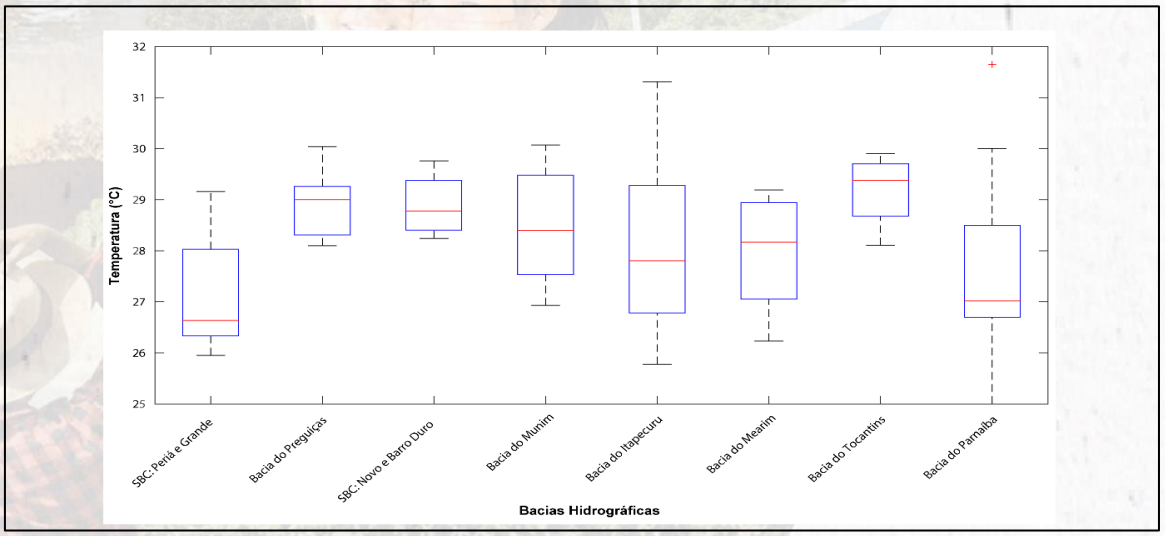
Para efeito de uma visualização global de como variou os *ranges* dos parâmetros físicos e químicos estudados nas oito bacias hidrográficas que compõem o BCSC, aplicou-se a representação gráfica tipo Box Plots, usando MATLAB R2020a (licença UFMA), para salientar a distribuição diferenciada e/ou similar entre as bacias, em resposta às caraterísticas climáticas e às intervenções antrópicas no ambiente.

As maiores variações entre mínimo e máximo nos valores de temperatura nas bacias hidrográficas, considerando o período deste estudo, ocorreram nas bacias do rio Itapecuru e rio Parnaíba (Figura 74). Estas duas bacias abrangem uma maior área de cobertura e, por isso, possuem mais pontos de coleta, que ocorreram em horários variados do dia, dando essa maior faixa de variação de valor, que está diretamente relacionada ao horário de cada coleta e a maior/menor áreas de sombreamento próximos ao ponto de coleta. Entretanto, os valores de temperatura estiveram dentro dos valores históricos da região, indicando normalidade ao período de coleta.

A salinidade mostrou características típicas de água doce, sendo que a maioria das bacias registraram valor de salinidade 0,00 g kg^{-1} (Figura 75). Baixos valores de salinidade são esperados em

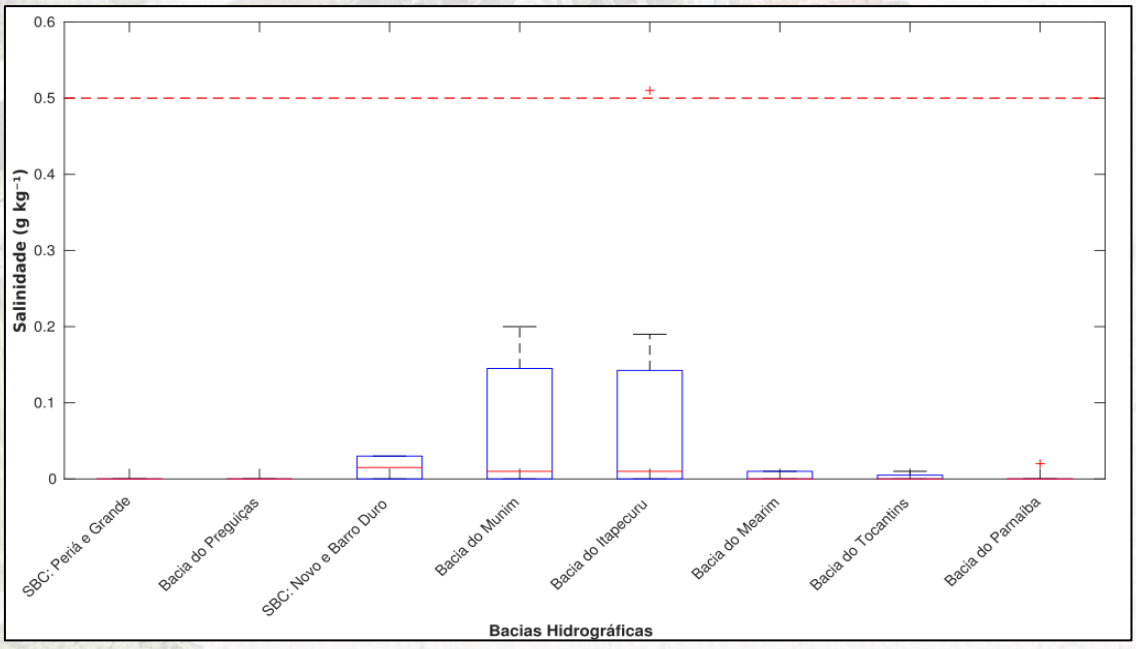
ambientes fluviais, sobretudo considerando o período deste estudo, que compreendeu a estação chuvosa da região do BCSC, e mesmo as bacias mais costeiras, nesse período de estudo, não sinalizaram contribuições de água salgada relevantes. Todos os valores de salinidade obtidos ficaram dentro do que preconiza a legislação vigente.

Figura 74 – Faixa de variação da temperatura nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

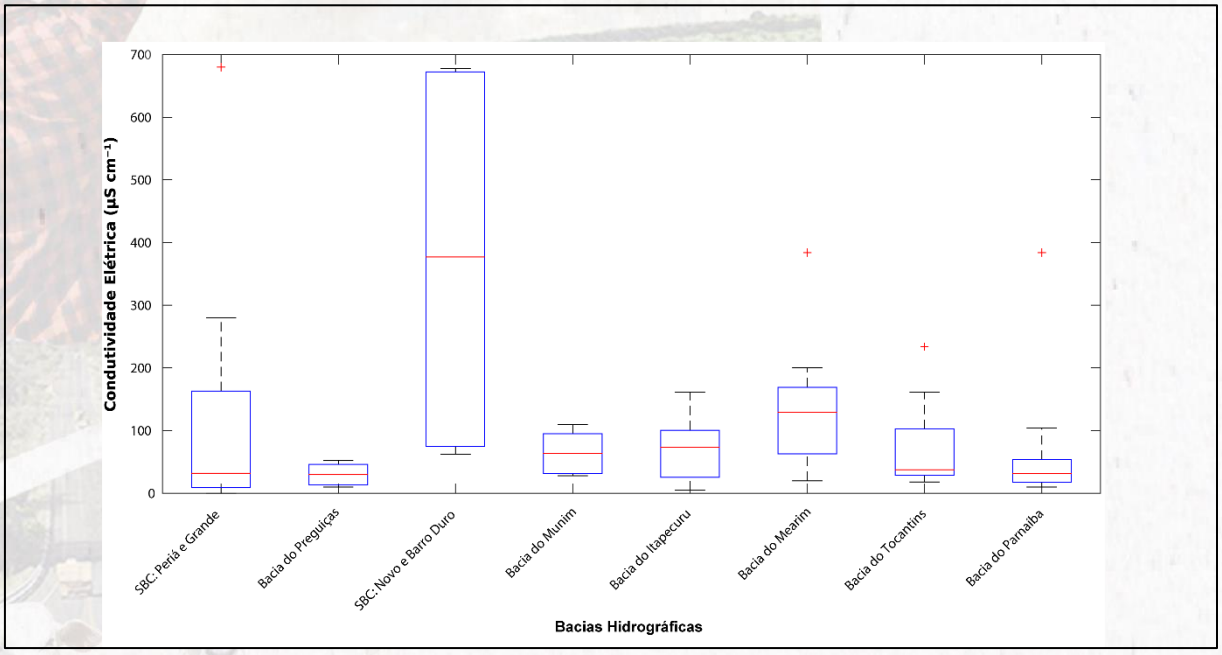
Figura 75 – Faixa de variação da salinidade nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces super superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers.*



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Com relação à condutividade elétrica (CE) nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, esta mostrou uma ampla faixa de variação entre os valores mínimo e máximo medidos no Sistema de Bacia Costeira dos Rios Novo e Barro Duro (Figura 76). Outras bacias também sinalizaram valores um pouco elevados para a CE, tais como no Sistema de Bacia Costeira dos Rios Periá e Grande, e as bacias do Rio Mearim e do Rio Tocantins. A resolução CONAMA não determina um valor limite para a CE, mas suas altas concentrações estão relacionadas com a quantidade de íons dissolvidos na água, que podem ser de origem natural, vinculados com o intemperismo e lixiviação das formações rochosas do entorno das margens e calha do rio, mas também podem estar associados com lançamento de esgotos domésticos e industriais, que introduzem grandes quantidades de substâncias dissolvidas, indicando um impacto ambiental provocado por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água (MOURA, 2007).

Figura 76 – Faixa de variação da condutividade elétrica nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*

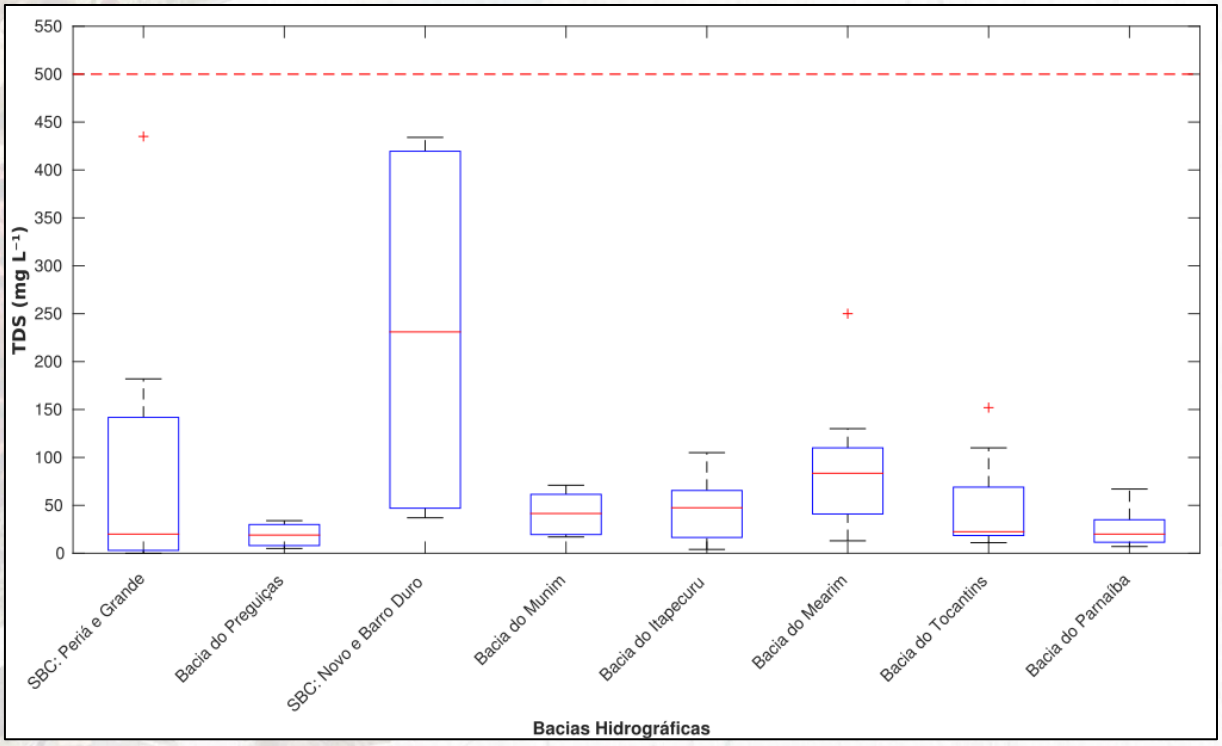


Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os sólidos totais dissolvidos (TDS) mostraram distribuição bastante semelhante à observada para a CE nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, sendo que este também mostrou sua maior variação entre os valores mínimo e máximo medidos no Sistema de Bacia Costeira dos Rios Novo e Barro Duro (Figura 77), seguidos das mesmas bacias que sinalizaram valores um pouco elevados para a CE, tais como no Sistema de Bacia Costeira dos Rios Periá e Grande, e as bacias do Rio Mearim e do Rio Tocantins. A resolução CONAMA 357/2005 determina um valor limite máximo de 500 mg L^{-1}

para TDS, e embora o TDS tenha sinalizado valores um pouco elevados, todos ficaram dentro do que preconiza a lei brasileira vigente. As altas concentrações de TDS, assim como de CE, estão relacionadas com a quantidade de íons dissolvidos na água, que na sua maioria são sais inorgânicos dissolvidos, que podem ser de origem natural, vinculados com o intemperismo e lixiviação das formações rochosas do entorno das margens e calha do rio, mas também podem estar associados com lançamento de esgotos domésticos e industriais, corroborando com os resultados de CE.

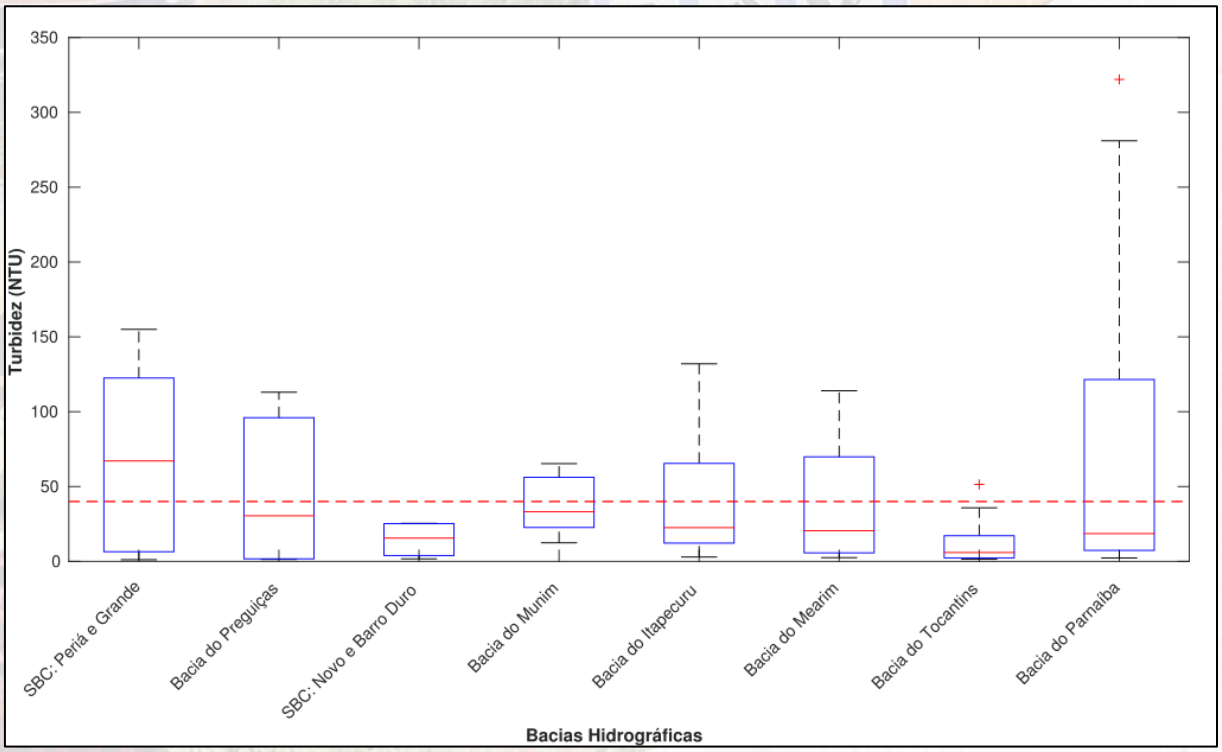
Figura 77 – Faixa de variação dos sólidos totais dissolvidos (TDS) nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os valores de turbidez nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, no geral, estiveram acima do valor limite máximo determinado pela resolução CONAMA 357/2005, de 40 NTU, exceto para o Sistema de Bacia Costeira dos Rios Novo e Barro Duro e para a bacias do Rio Tocantins, que ficaram dentro do limite aceitável pelas normas brasileiras (Figura 78). A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume durante a estação chuvosa, considerando o período deste estudo. Também podem estar relacionadas com o desmatamento ao longo das margens dos rios, seja por pressão imobiliária ou agronegócio, com plantações de soja, que são ocorrentes nas áreas de cobertura do BCSC.

Figura 78 – Faixa de variação da turbidez nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superfi superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*

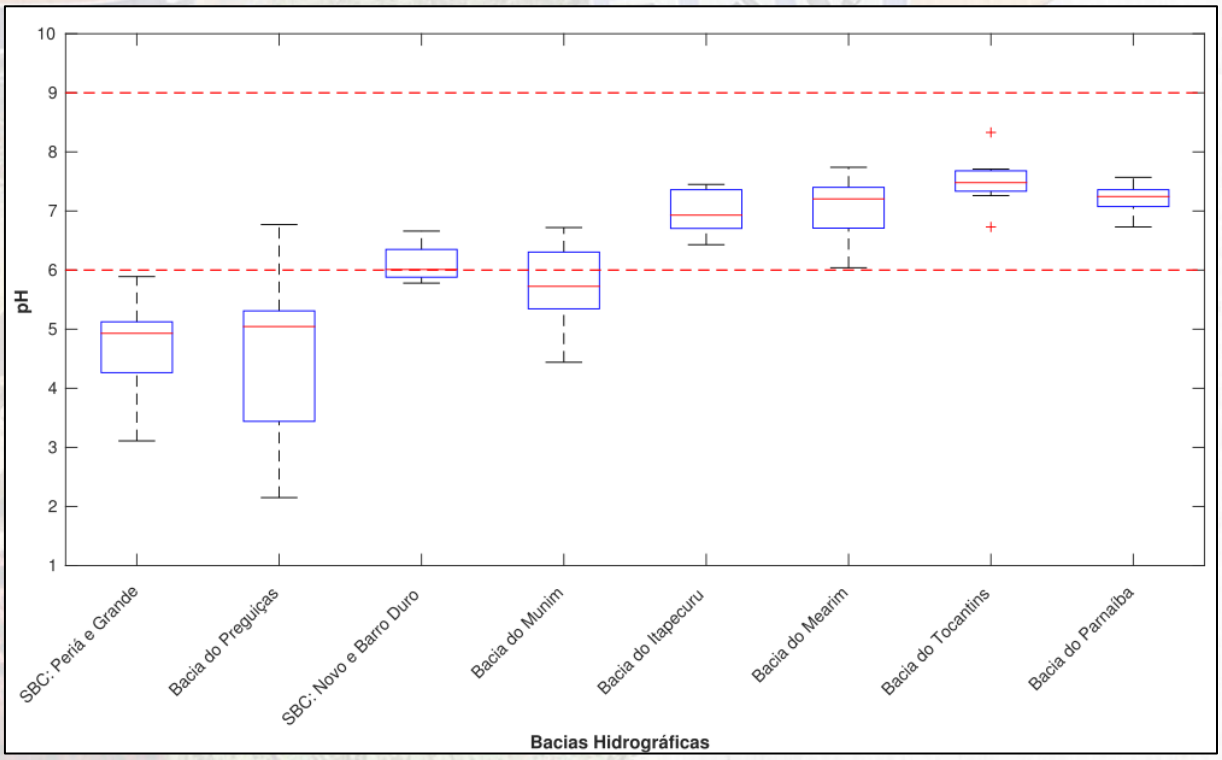


Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os valores de pH, no geral, mostraram águas variando de levemente ácidas a levemente básicas para as águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC (Figura 79), ficando dentro da faixa recomendada pela resolução vigente, exceto para o Sistema de Bacia Costeira dos Rios Periá e Grande, e para alguns dos pontos de coleta das bacias do Rio Preguiças, Rio Munim e do Sistema de Bacia Costeira dos Rios Barro Duro e Novo.

Embora estas bacias tenham apresentado valores de pH um pouco abaixo da faixa recomendada, os valores de pH obtidos estiveram dentro dos valores históricos da região, indicando normalidade ao período de coleta, que compreende a estação chuvosa, quando a carga de materiais orgânicos no corpo hídrico é maior. Segundo Esteves (1998), águas mais estagnadas, ricas em matéria orgânica, em que ocorre grande variação de ácidos orgânicos e inorgânicos (ácidos carbônicos, sulfídrico, nítrico, e seus sais ácidos) são frequentemente mais ácidas, e podem variar também em resposta à atividade fotossintética/respiração de organismos.

Figura 79 – Faixa de variação do pH nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: faixa limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*

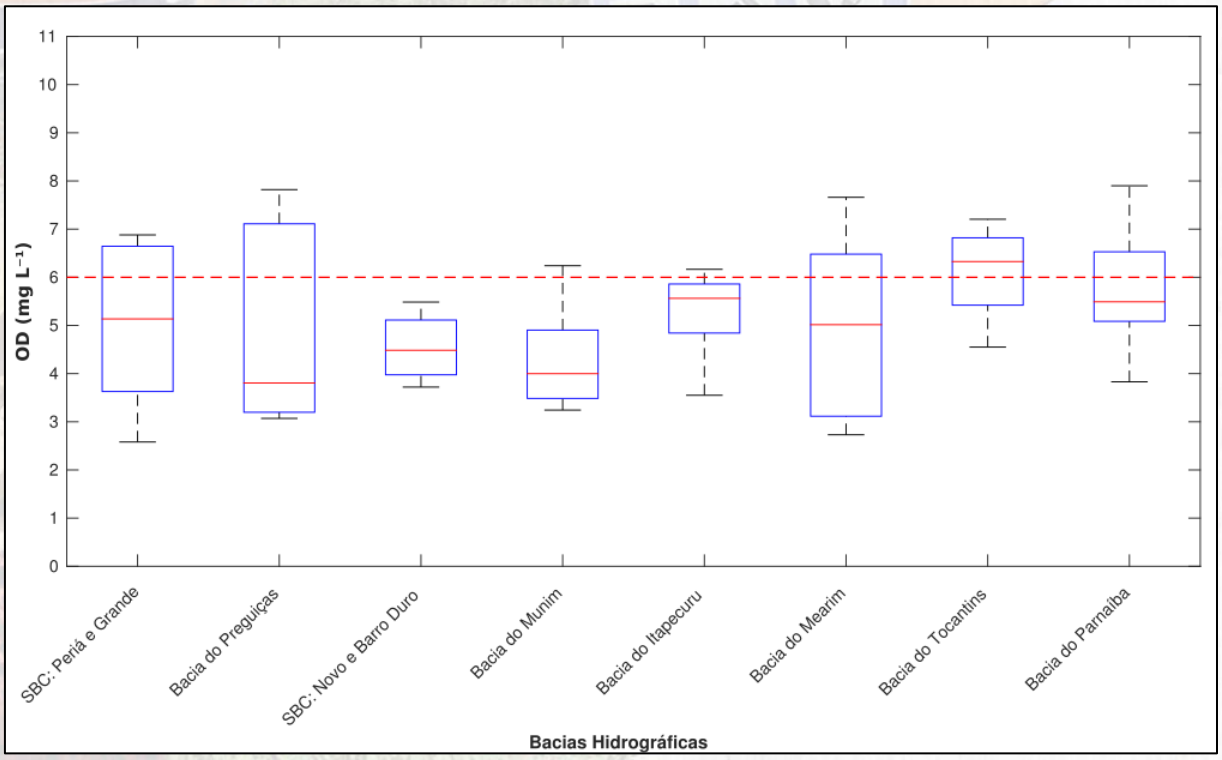


Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou concentração nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC que variou na faixa entre 4,0 e 6,0 mg L^{-1} (Figura 80), predominantemente, indicando valores menores do que abaixo do que determina a resolução brasileira (≥ 6,0 mg L^{-1}), mas acima dos valores de hipoxia, assegurando a oxigenação das águas das bacias. Porém, alguns pontos de coleta nas bacias estiveram dentro do limite estabelecido pela resolução brasileira, exceto o Sistema de Bacia Costeira dos Rios Barro Duro e Novo, em que todos os pontos de coleta deste estudo estiveram abaixo de 6,0 mg L^{-1}, o que deve estar associado a uma maior utilização deste gás na bacia, levando em conta que as coletas ocorreram no período de chuvas, no qual se espera maior carga de material orgânico no sistema, e menores valores de OD. A boa oxigenação observada em alguns pontos nesse período se deve às trocas gasosas na superfície, contribuindo para a aeração do sistema fluvial.

O nível de oxigênio dissolvido em águas naturais é, com frequência, uma indicação direta de qualidade, uma vez que este gás é essencial para a subsistência de peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (Esteves, 1998).

Figura 80 – Faixa de variação do oxigênio dissolvido nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*

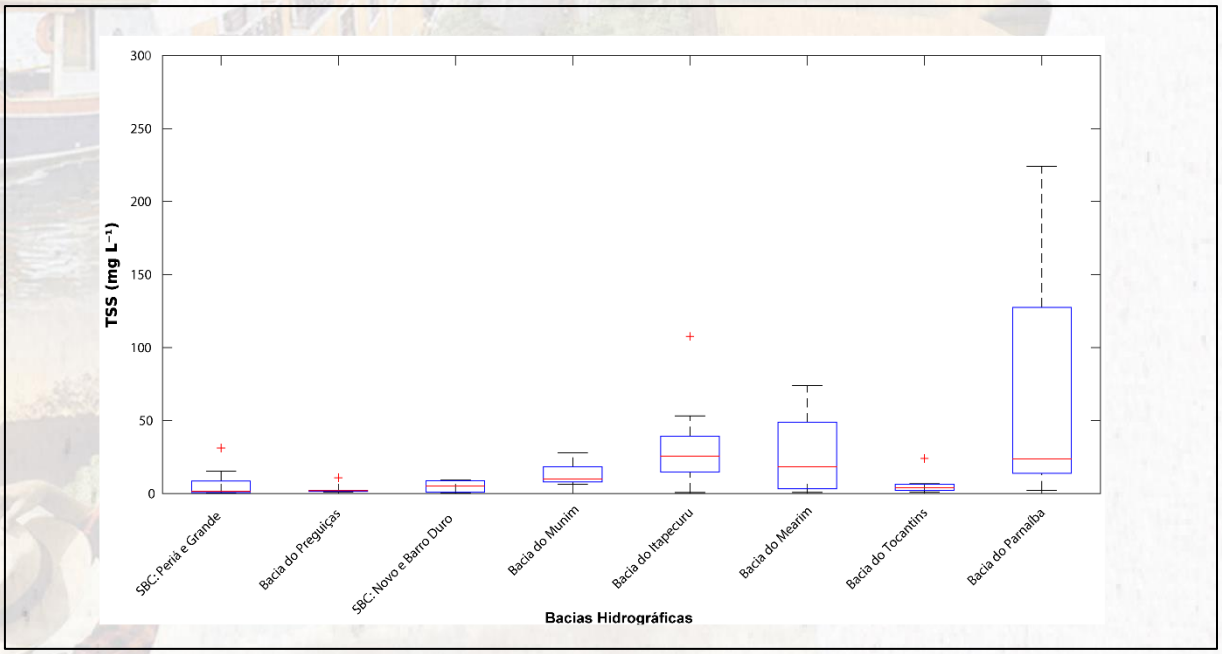


Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A carga dos totais de sólidos suspensos nas águas superficiais nas bacias hidrográficas do BCSC chegou a ser até uma ordem de grandeza maior na bacia do Rio Parnaíba durante a estação de chuva deste estudo (Figura 81). Outras bacias hidrográficas, como as do Rio Itapecuru e Rio Mearim, também apresentaram valores elevados de TSS. Altos valores de TSS na camada de superfície, em ambos os períodos de coleta deste estudo, podem estar associados com os processos de ressuspensão das partículas de fundo, além da contribuição de aportes terrestres, lixiviados do entorno das bacias, que ocorre de forma mais acentuada durante a campanha de chuva.

De maneira geral, a distribuição de TSS foi um pouco abaixo do que esperado para o período de coleta. Embora a contribuição de aportes terrígenos fosse maior nesse período, os menores valores de TSS indicam que a qualidade do material recebido pelos rios das bacias hidrográficas do BCSC se encontra na sua maioria na fração dissolvida (na forma de coloides), do que na fração particulada (na forma de séston), pois mesmo com a cor de água marrom achocolatada que percebemos em algumas bacias, a concentração do TSS quantificado em suas águas foi aquém do esperado. No entanto, os valores de turbidez foram elevados, o que corrobora com a hipótese apontada.

Figura 81 – Faixa de variação dos totais de sólidos suspensos (TSS) nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*



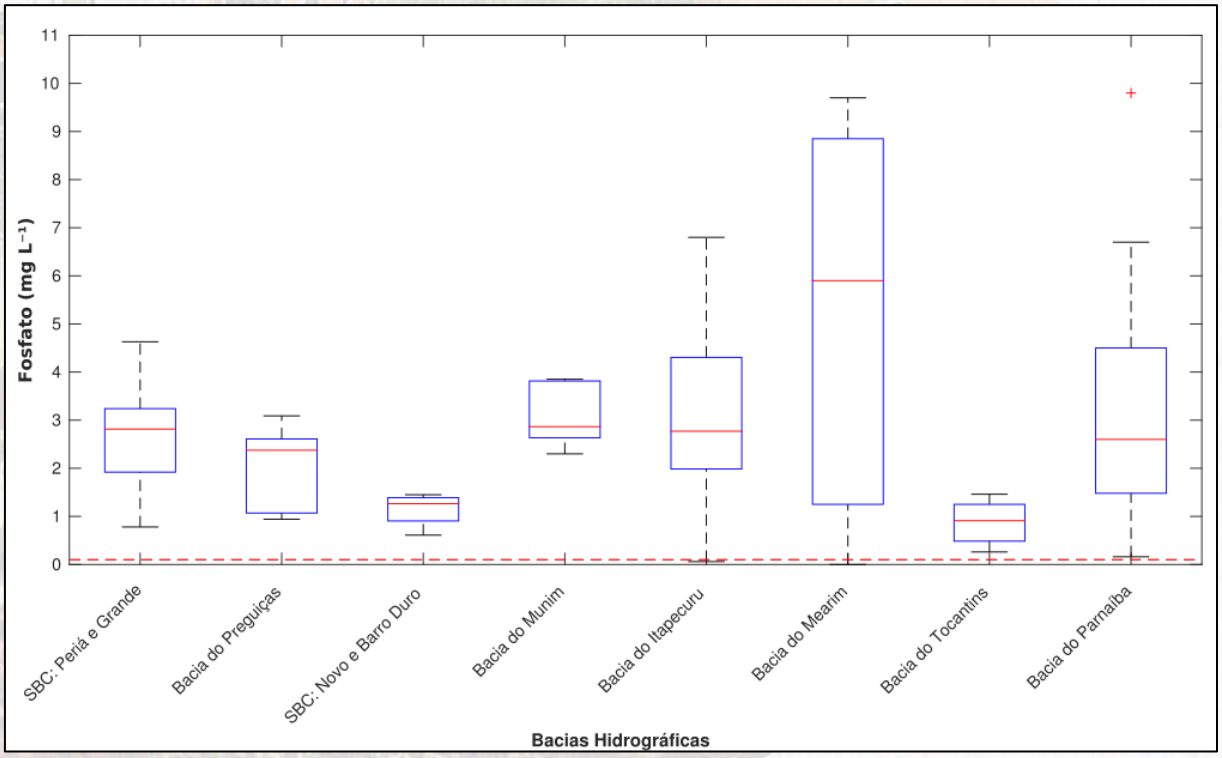
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

No geral, as maiores variações entre mínimo e máximo nas concentrações de fosfato nas águas da bacia hidrográfica do BCSC, considerando o período deste estudo, ocorreram nas bacias dos Rio Itapecuru, Mearim e Parnaíba (Figura 82). Entretanto, todas as bacias mostraram concentrações de fosfato muito acima do que preconiza as normas brasileiras vigentes (máximo de 0,1 mg L^{-1}).

Altas concentrações de fosfato podem estar associadas com a lixiviação de solos e aos maiores aportes fluviais, comuns no período de chuvas, mas também podem estar associadas às contribuições antrópicas, tais como entradas de esgoto domésticos e industriais, além dos aportes de áreas de agricultura, que utilizam o fósforo como fertilizantes de solo.

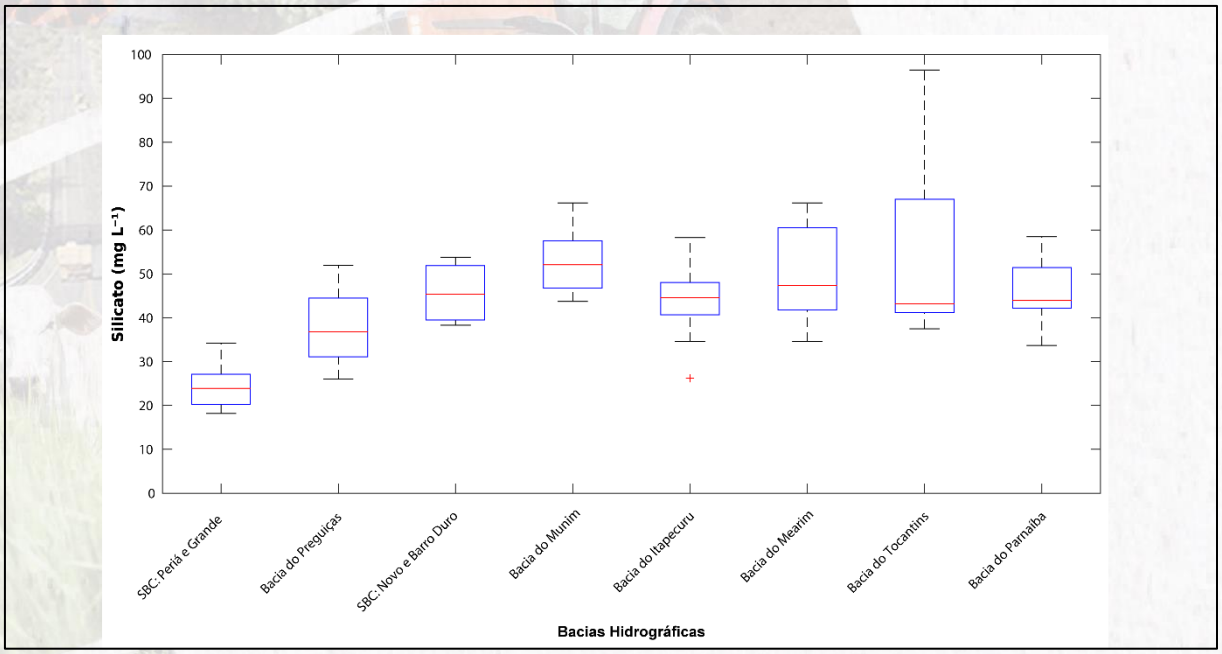
As concentrações de silicato também foram elevadas em todas as bacias hidrográficas do BCSC durante este período de estudo, sendo maior nas bacias do Rio Munim, Mearim e Tocantins (Figura 83). Estes altos valores de silicato neste estudo indicam a forte contribuição de aportes terrestres no BCSC, que devem estar relacionadas com os processos erosivos e de ressuspensão de sedimento de fundo ao longo das bacias de drenagem, como também já foi confirmado pelos valores de fosfato e turbidez.

Figura 82 – Faixa de variação do fosfato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 83 – Faixa de variação do silicato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Cruz vermelha: *outliers*



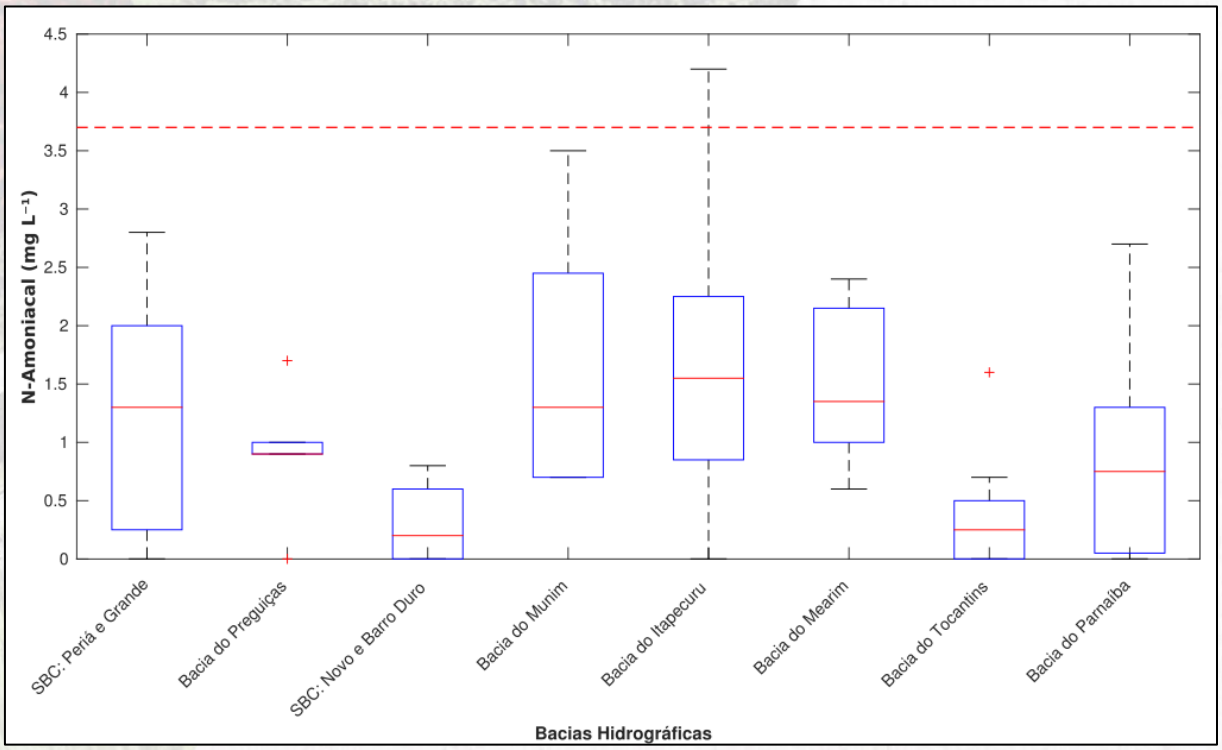
Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Analisando a distribuição das frações de nitrogênio inorgânico dissolvido nas águas do BCSC, percebe-se que as contribuições de N-amoniacal sobre as outras formas de NID foram dominantes nas campanhas de coleta realizadas neste estudo (Figura 84).

As concentrações mais altas de N-amoniacal foram no Sistema de Bacia Costeira do Rio Periá e Grande, bacia do Rio Munim e do Rio Itapecuru, mas as demais bacias também sinalizaram boa disponibilidade deste nutriente em suas águas, embora em menor concentração, indicando haver uma contribuição importante de nitrogenados nestas bacias, provavelmente relacionada aos aportes de esgoto e de agricultura. Altas concentrações de N-amoniacal são resultantes da degradação do material orgânico e do aumento da atividade metabólica dos organismos que excretam amônia.

Na maioria dos dados, as concentrações obtidas de N-amoniacal nas bacias do BCSC estiveram dentro do limite máximo estabelecido pelo CONAMA 357/2005.

Figura 84 – Faixa de variação do N-amoniacal nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1. Cruz vermelha: *outliers*

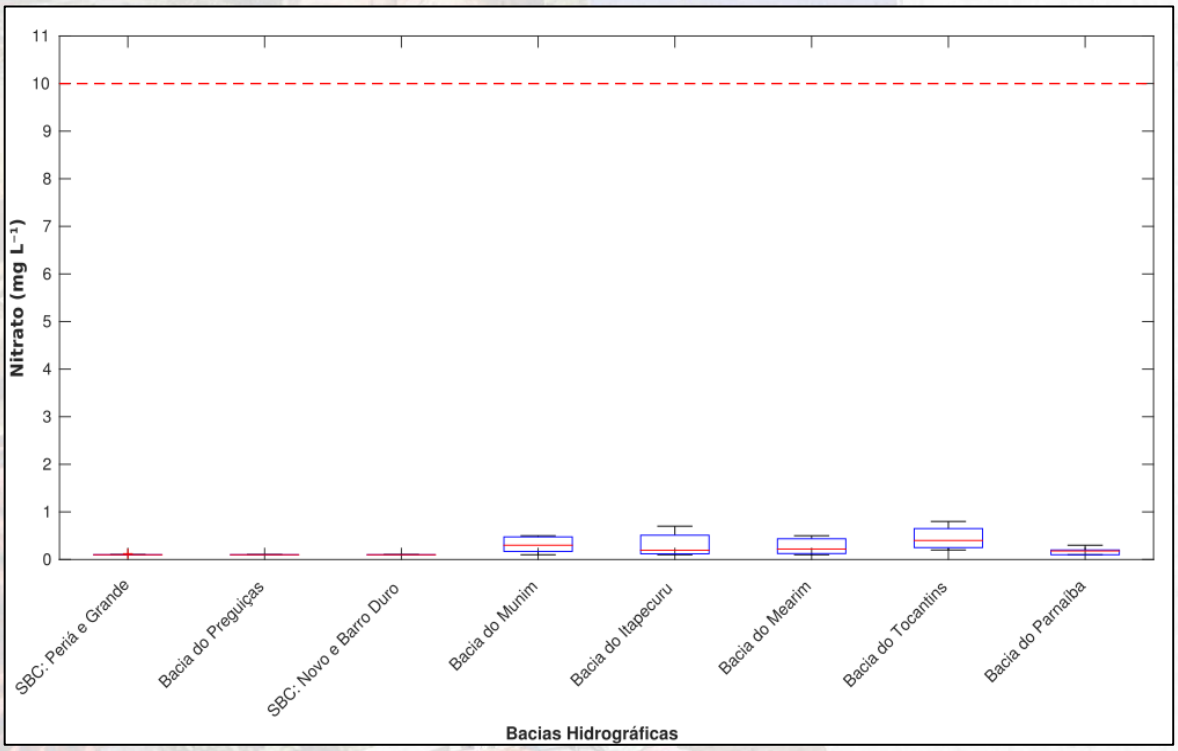


Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A distribuição das concentrações de nitrato (Figura 85) e nitrito (Figura 86) no BCSC mostraram baixas concentrações, porém, estas sinalizaram boa disponibilidade para a manutenção da biota

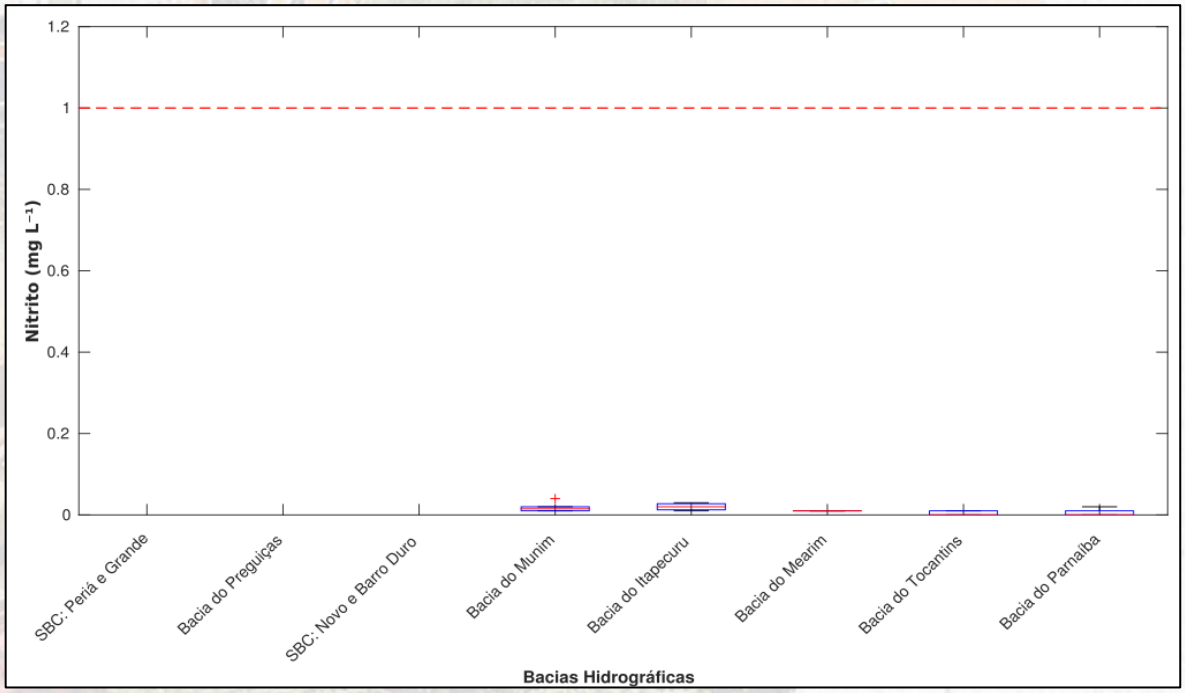
aquática fluvial, com valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução brasileira vigente para estes nutrientes nos períodos estudados.

Figura 85 – Faixa de variação do nitrato nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Figura 86 – Faixa de variação do nitrito nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, nos períodos de coleta (18 de abril a 08 de junho/2021). Linha pontilhada vermelha: limite estabelecido pela Resolução CONAMA N°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

As maiores concentrações de nitrato no BCSC possivelmente estão associadas com aportes antrópicos, pois ao longo da bacia de drenagem há grandes áreas de práticas da agricultura, que utilizam fertilizantes para o seu cultivo, sendo que o nitrato é a forma nitrogenada mais abundante presente nestes, além das contribuições antrópicas também por esgoto, causando desequilíbrios entre as frações nitrogenadas, mostrado pelo excesso de N-amoniacal ao invés do nitrato.

Baixas concentrações de nitrito mostram que as bacias hidrográficas do BCSC estiveram ativas quanto a não acumulação desta forma nitrogenada intermediária, que pode ter efeitos tóxicos ao ambiente aquático quando em altas concentrações.

Esta distribuição dos nutrientes mostra o grande potencial de eutrofização nas águas das bacias, mostrando boa disponibilidade de nutrientes para a produtividade aquática, indicando a ocorrência de importantes entradas antrópicas no BCSC.

As concentrações de clorofila-α nas águas do BCSC foram sempre abaixo de 10 μg L^{-1}, dentro do que preconiza a legislação brasileira. Os baixos valores de Cl-α podem estar sendo limitados pela alta turbidez das águas das bacias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista da rede hidrográfica, concluiu-se que a escala de 1:250.00 contribuiu para o melhor detalhamento e precisão dos cursos d'água e massas d'água das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. Porém, este estudo sugere que sejam previstos em projetos futuros o contínuo detalhamento da rede de drenagem bem como análises de avaliação do regime hídrico dos rios (perenes ou intermitentes) quanto à presença de água superficial.

Com base na análise dos dados históricos (1963-2021) de vazões (médias mensais) provenientes das 44 estações fluviométricas da ANA localizadas no BCSC, este estudo concluiu que as vazões dos rios do BCSC são maiores de janeiro a maio e menores de junho a dezembro. Esse padrão semianual de distribuição das vazões segue o regime de chuvas na região, caracterizado por período chuvoso e seco. Entre os rios que compõem cada bacia, as maiores vazões foram encontradas no médio e baixo curso, especialmente próximo à foz dos rios principais. As maiores vazões do BCSC são encontradas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, enquanto as menores vazões ocorreram na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças.

No norte do estado do Maranhão há maior volume anual de chuvas e redução gradual no sentido meridional para sul (CODEVASF, 2019). Isso pode explicar, em parte, os maiores valores de vazão encontrados no setor norte de cada bacia. De acordo com Chow e outros (1994), a precipitação, dependendo das condições de infiltração do solo, contribui consideravelmente para a vazão observada em um ponto de monitoramento fluviométrico. Além disso, o regime de rios depende das características morfológicas da bacia, tais como o tipo de solo, o relevo da região, características físicas e da cobertura vegetal da bacia, da influência da maré em rios situados em ambiente transicional flúvio-marinho (ALCÂNTARA, 2004; BARREIRINHAS, 2014). Os Rios Itapecuru e Parnaíba, em especial, por serem dois rios extensos, atravessam diferentes gradientes topográficos e diferentes regiões climáticas, podendo ter suas vazões alteradas nos seus trajetos até a foz (SILVIA; CONCEIÇÃO, 2011).

Este estudo também mostrou que eventos de ENOS exercem influência significativa sobre as vazões dos rios nas bacias do BCSC, indicando aumento (diminuição) das vazões durante anos de La Niña (El Niño), respectivamente, uma vez que as correlações foram negativas. Exceto para a Bacia Hidrográfica do Parnaíba, as correlações foram significativas para todas as regiões do Nino (1+2, 3, 3.4 e 4), com a Nino 1+2 e Nino 4 apresentando as maiores relações.

Com base nas séries históricas tratadas neste estudo (1963-2021), concluímos que há uma tendência de diminuição mensal das vazões em todas as bacias do BCSC, com exceção da Bacia do

Rio Preguiças, onde em 2014 houve a reversão para uma tendência positiva. Quando são analisadas as vazões na escala anual, entretanto, a tendência geral ainda se mostra negativa.

Os principais rios das bacias do BCSC têm seus usos principais voltados para o abastecimento urbano, agropecuária e setor industrial. Essa grande demanda hídrica ocasiona o assoreamento do leito dos rios, degradação das nascentes, destruição de matas ciliares, desmatamento, queimadas e erosão dos solos (GONÇALVES *et al*., 2008; CODEVASF, 2019). Essas atividades antrópicas, associadas à variabilidade climática natural, reduzem significativamente a recarga hídrica e consequentemente as vazões dos rios.

Observamos que é de grande importância a implementação e a manutenção da rede de monitoramento das estações fluviométricas no BCSC, uma vez que fornecem a base para qualquer estudo de alerta sobre a escassez hídrica, uma realidade cada vez mais frequente no Brasil, especialmente na Região Nordeste. O monitoramento das vazões dos rios também é fundamental no controle de enchentes e inundações. Destaca-se ainda a importância de se incluir estações nas bacias ainda pouco monitoradas. Em especial, destaca-se a escassez de dados fluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, o que inclusive impossibilitou a espacialização dos dados para essa bacia.

Quanto aos resultados dos parâmetros físicos e químicos coletados nas águas superficiais das bacias hidrográficas do BCSC, no geral, ficaram dentro do que preconiza a resolução CONAMA 357/2005, para a Água Doce, Classe 1. No entanto, alguns parâmetros sinalizaram inconformidade nos corpos hídricos, com altas concentrações e valores.

Um dos parâmetros que chamou a atenção na maioria das bacias estudadas foi a condutividade elétrica (CE) e os totais de sólidos dissolvidos (TDS), pelos altos valores observados. Ambos, na grande maioria, são influenciados diretamente pela concentração de elementos maiores dissolvidos (sais inorgânicos), que para a qualidade da água, sobretudo se esta for para abastecimento, altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas. Assim, altas concentrações de CE e TDS devem ser monitoradas e podem indicar impactos ambientais provocados por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água.

Também mereceram destaque, na maioria das bacias estudadas, pelas altas concentrações, os dados quanto à turbidez, e, em algumas bacias, os dados de totais de sólidos suspensos (TSS). Estes parâmetros estão associados à presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. A origem desses materiais pode estar relacionada ao solo (quando não há mata ciliar); à mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); às indústrias; ou ao esgoto doméstico que é lançado no

ambiente aquático sem tratamento adequado. Diante desse contexto, a alta turbidez, reduz a penetração de luz solar na coluna d'água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas. O TSS pode carrear nutrientes e pesticidas, obstruindo as guelras dos peixes, e até interferir na habilidade do peixe em se alimentar e se defender dos seus predadores, além de poder absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água (COUTO, 2015).

Já o pH e o oxigênio dissolvido (OD) apresentaram valores abaixo do que determina a legislação vigente. O nível de oxigênio dissolvido em águas naturais é, com frequência, uma indicação direta de qualidade, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000). O excesso de demanda química por OD, para decomposição da matéria orgânica, também diminui o pH da água, e podem ser esperados para as bacias que recebem esgotos procedentes de várias fontes (doméstica, comercial, agricultura e industrial), que potencialmente contribuem tanto com compostos biodegradáveis quanto com uma parcela de compostos orgânicos de difícil biodegradação. De acordo com Scavia e Bricker (2006), concentrações de OD entre 2,0 a 5,0 mg L^{-1} favorecem as condições de stress biológico, dados estes, que foi constatado neste estudo, em que vários pontos de coleta nas bacias apresentaram concentração nesse intervalo.

Com relação aos nutrientes dissolvidos, o fosfato e o silicato foram elevados em todas as bacias estudadas do BCSC. A principal fonte desses nutrientes é a dissolução de rochas do entorno das bacias de drenagem. O silicato é um dos nutrientes mais abundantes na crosta terrestre e normalmente é conservativo nas águas costeiras, podendo ser transportado através dos rios até os oceanos (Braga *et al.*., 2009). O fosfato normalmente apresenta baixas concentrações nos ambientes aquáticos não poluídos, estando em torno de 0,001 mg L^{-1} (Baumgarten *et al.*., 1996). Os esgotos urbanos, sem tratamento, contêm ortofosfato e polifosfatos, presentes em produtos de limpeza, oriundos de dejetos humanos e efluentes domésticos (STRICKLAND; PARSONS, 1968), e, também, aqueles provenientes da drenagem agrícola. Estas altas concentrações dos nutrientes mostram o grande potencial de eutrofização nas águas fluviais do BCSC, indicando a ocorrência de importantes contribuições antrópicas nestas bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H. de. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 5, n. 11, p. 97- 113, 2004.

APHA. American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater. 20th ed. Washington, **Port City Press**, p. 34-38. 2001.

BARREIRINHAS. Prefeitura Municipal de Barreirinhas. Secretaria Municipal de Saúde. **Prognóstico e alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas para o município de Barreirinhas – MA**. Barreirinhas: Secretaria Municipal de Saúde; Prefeitura Municipal de Barreirinhas, 2014.

BAUMGARTEN, M. G. Z; NIENCHESKI, L. F. H.; MARTINS, B. A. D. Saco do Justino (RS-Brasil): amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada. **Atlântica**, Rio Grande, n. 27, v. 2, p. 113-129. 2005.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BRAGA, E. S.; ESCHRIQUE, S. A.; BASTOS, A. T. C. C.; COELHO, L. H. Silicato dissolvido e seu papel traçador de aportes terrestres/sedimentares em sistemas estuarinos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 12., 2009, Ouro Preto. **Anais** [...]. Ouro Preto: SBGQ, 2009.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. [*S. l.*]:ANA, [2018?]. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 20 jan. 2018.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2015.

BRASIL. ANA. **Sistema Nacional sobre informações de Recursos Hídricos** (SNIRH). [*S. l.*]: ANA, [2009]. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/. Acesso em: 10 fev. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos:** síntese executiva. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Geo Catálogo de imagens de satélite *Rapideye***. [Brasília, DF]: MMA, [2014]. Disponível em:http://geocatalogo.mma.gov.br/. Acesso em: 01 fev. 2018.

CALAZANS, D. **Estudos Oceanográficos**: do instrumental ao prático. Pelotas: Editora Textos, 2011.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília, DF: Codevasf, 2019.

CONAMA. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: CONAMA, 2005.

CPRM. **Geodiversidade do estado do Maranhão**: programa geologia do Brasil: levantamento da geodiversidade. Teresina: CPRM, 2013. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MA.pdf: Acesso em: 19 jan. 2021.

COUTO, J. L. V. **Limologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm. Acesso em: 19 jan. 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher.1980.

GASTÃO, F. G. C. **Caracterização dos Lençóis Maranhenses e dunas inativas (fosséis)**: implicações geoambientais. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2010.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de base e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Virgínia, v. 56, n. 3, p. 275-370,1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base espacial do Brasil em escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, [2018?]. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/ home/geociencias. Acesso em: 20 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual de Normas, especificações e procedimentos técnicos para a carta do mundo ao milionésimo – CIM. 1:1.000.000**. Rio de Janeiro:IBGE, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, [2011]. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/. Acesso em :12 fev. 2018.

JAKOB, M. **Morphometric and Geotechnical Controls on Debris Flow Frequency and Magnitude in Southwestern British Columbia**.1996. Tese (Doutorado em Geografia), University of British Columbia, Vancouver, 1996.

KANE, R. P. Prediction of droughts in Northeast Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology**, v.17, n. 6, p.655-665, 1997.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARANHÃO. SECRETARIA DE ESTADO DAS CIDADES E DESENVOLVIMENTO URBANO. Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Mearim. São Luís: SECID, 2014. Disponível em: https://secid.ma.gov.br/files/2014/10/RESUMO-DIAGNOSTICO-MEARIM-AP-v1.pdf. Acesso em: 23 ago. 2021.

MOURA, E. M. **Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na Baía do Guajará no trecho compreendido entre o bairro de val-de-cães e o distrito de Icoaraci.** 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M. S. E.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmos. Sci. Lett.**, v. 15, p. 172-177, 2014. Disponível em: https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/asl2.484. Acesso em: 19 jan. 2021.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F. H; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa florestas, 2014. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf. Acesso em: 19 jan. 2021.

RADAM. **FOLHA SB.23 Teresina e Parte da Folha SB.24 Jaguaribe; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1973. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24019.pdf. Acesso em: 21 abr. 2015.

RODRIGUES, R. R.; HAARSMA, R. J.; CAMPOS, E. J. D.; AMBRIZZI, T. The impacts of inter El Niño variability on the tropical atlantic and northeast Brazil climate. **Journal of Climate**, v. 24, p. 3402-3422, 2011.

SANTOS, M. L. S. **Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

SCAVIA, D.; BRICKER, S. B. Coastal eutrophication assessment in the United Sates. **Biogeochemistry**, n. 79, p. 187-208, 2006

SHEPARD D. 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: ACM NATIONAL CONFERENCE, 23., 1968. New York. **Anais** [...]. New York:ACM, 1968.

SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: NPE, 2007. p. 3141-3146

SILVIA, D. J.; Conceição, G. M. Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, v. 7, n. 1, 2011.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A pratical handbook of seawater analysis**. Otawwa: Bull. Fish. Res. Bd Can, 1968. p. 1-311.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. 2. ed. Otawwa: Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 1972.

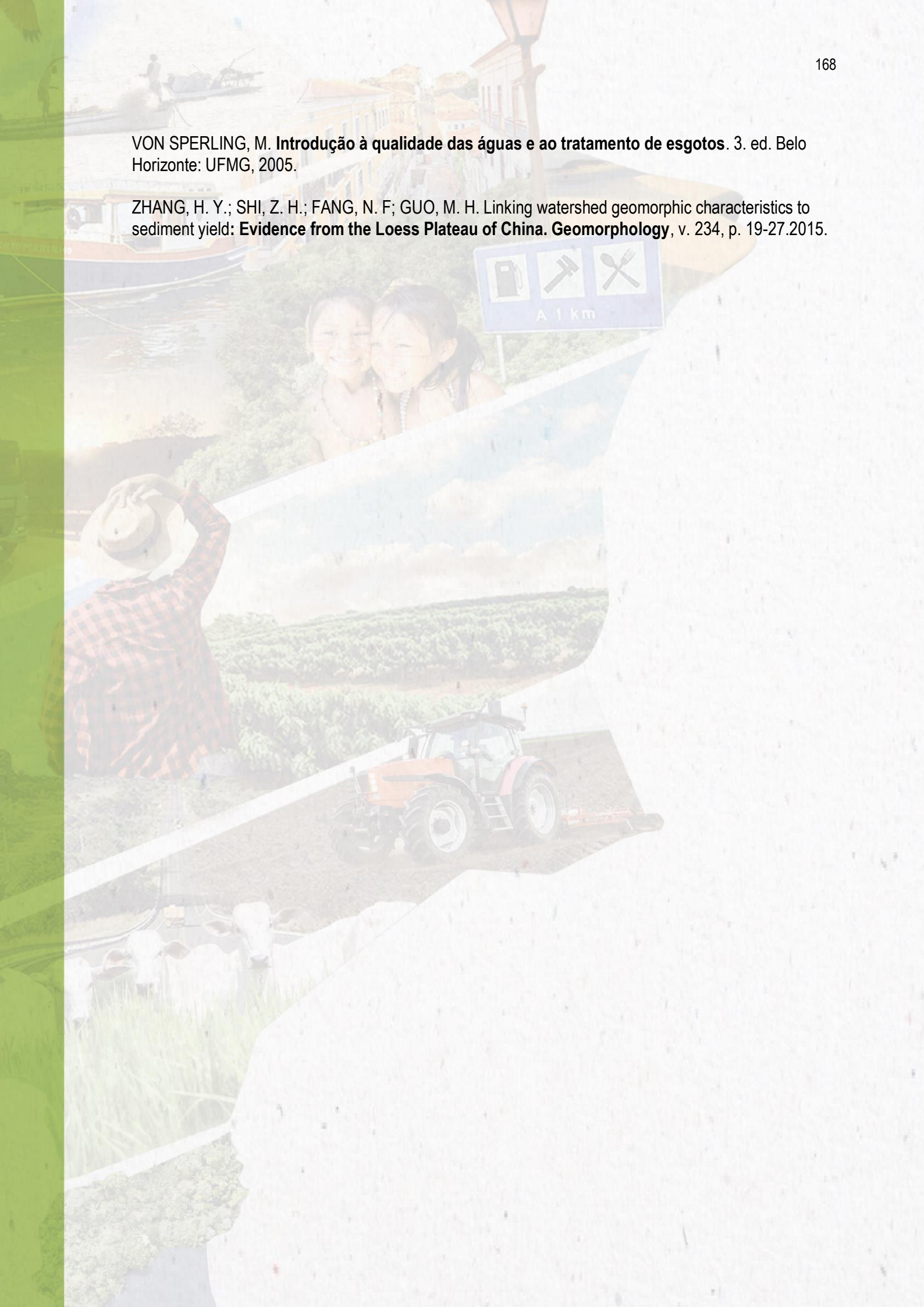
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís: UEMA; Núcleo Geoambiental, 2016.

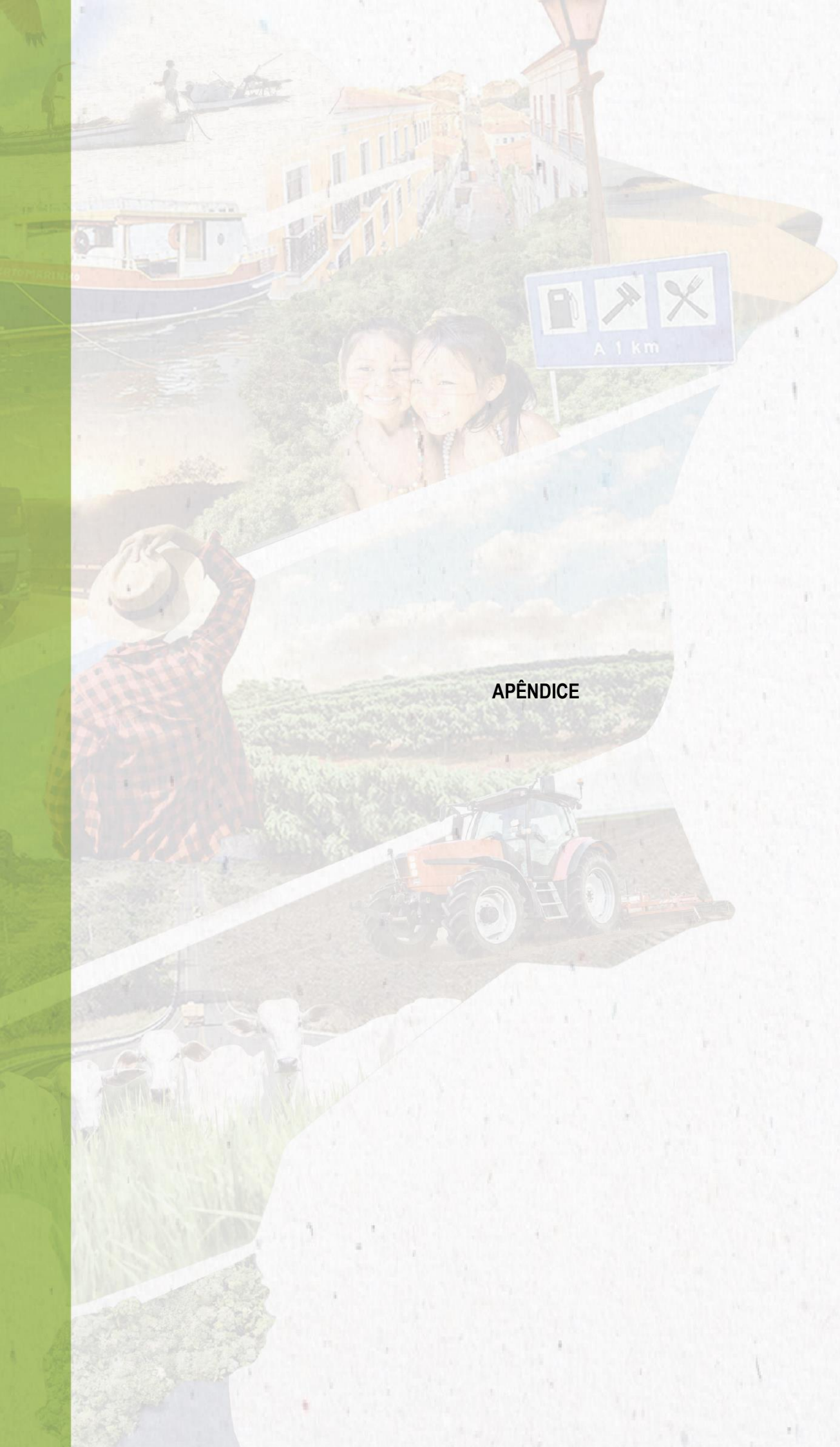
UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, p. 551-562, 1998.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography,** SevenoakS, v. 32, p.300-309, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

ZHANG, H. Y.; SHI, Z. H.; FANG, N. F; GUO, M. H. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield**: Evidence from the Loess Plateau of China. Geomorphology**, v. 234, p. 19-27.2015.

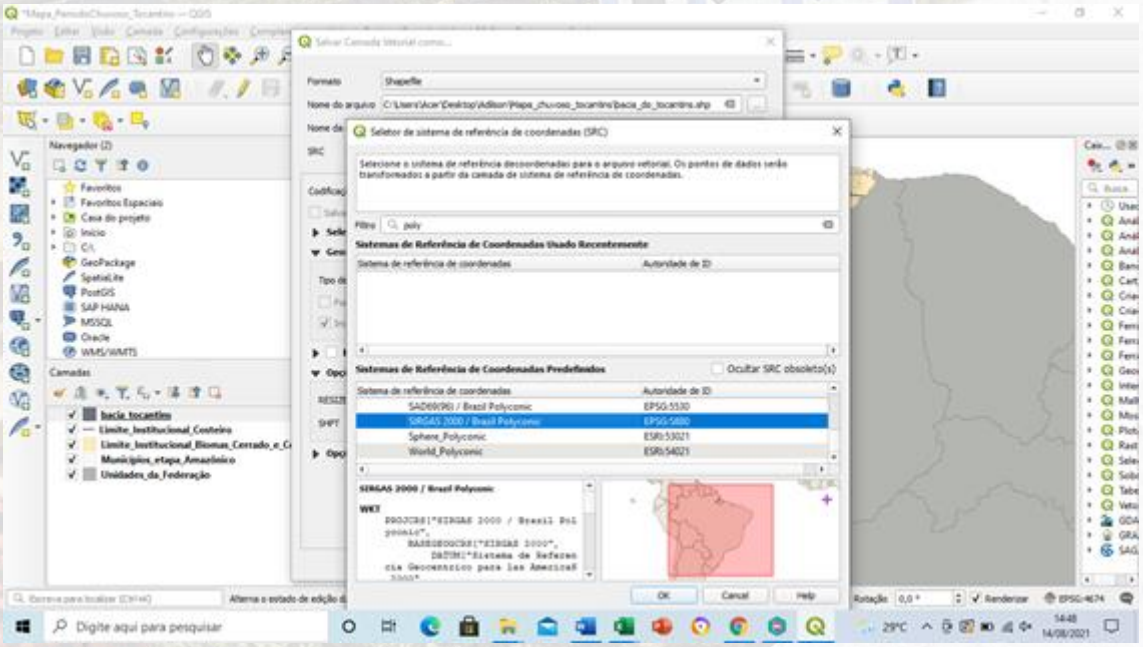




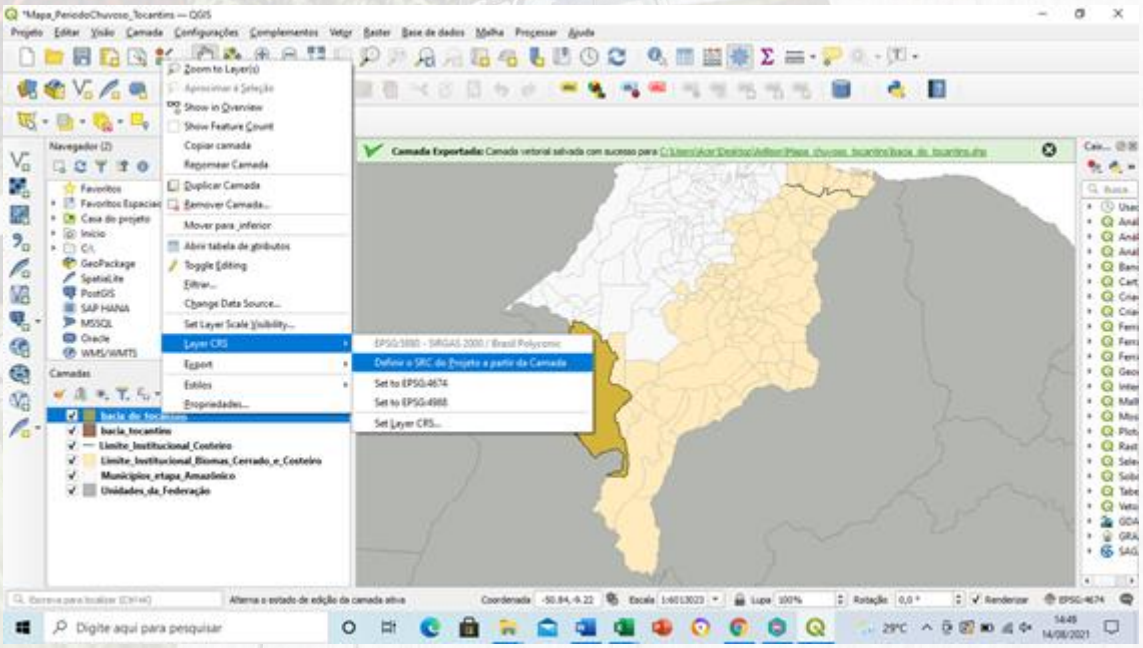
APÊNDICE

APÊNDICE A – Passo-a-passo dos procedimentos para a espacialização dos dados de vazão no domínio do BCSC

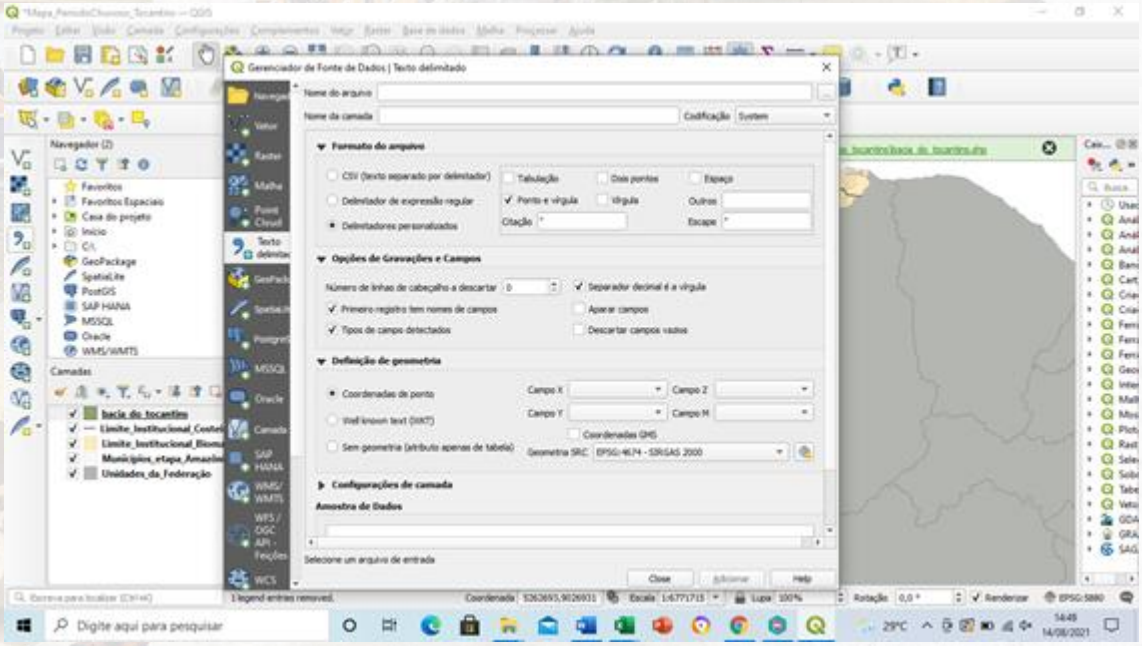
1) Adicionar a camada da bacia, salvar como uma nova feição e definir o SRC com o Sirgas 2000/Brazil Polyconic.

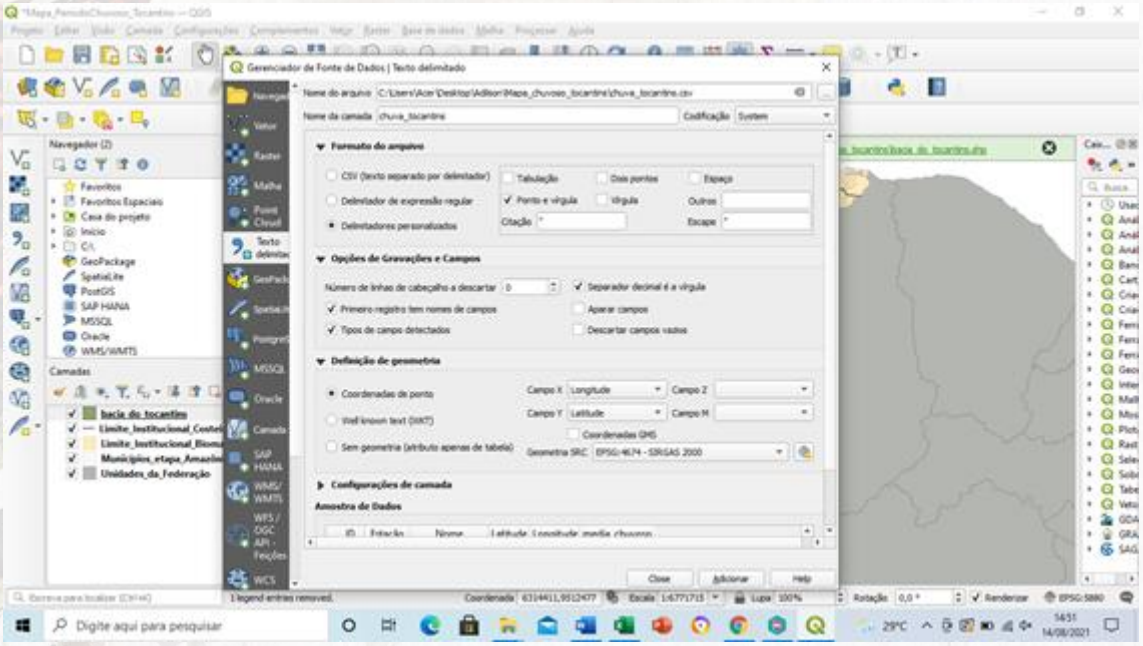


2) Após essa camada ser gerada, definir o SRC do Projeto a partir da Camada.

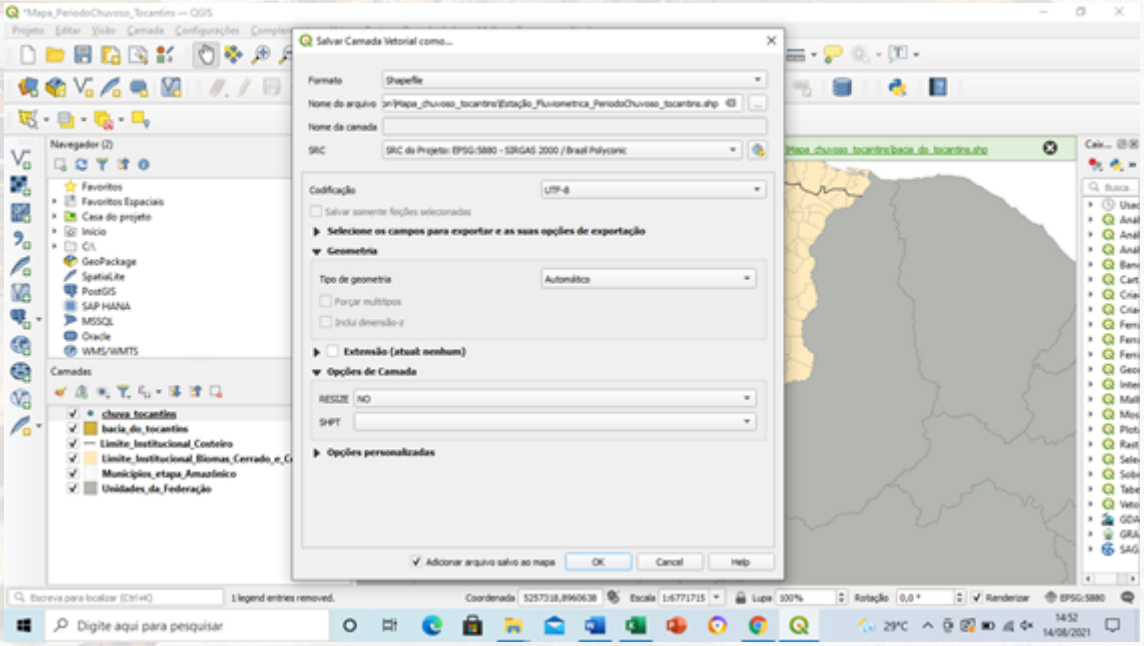


3) Clicar em “Adicionar uma camada de texto delimitado” e adicionar o arquivo de vazão da bacia salvo no formato ‘.csv’.

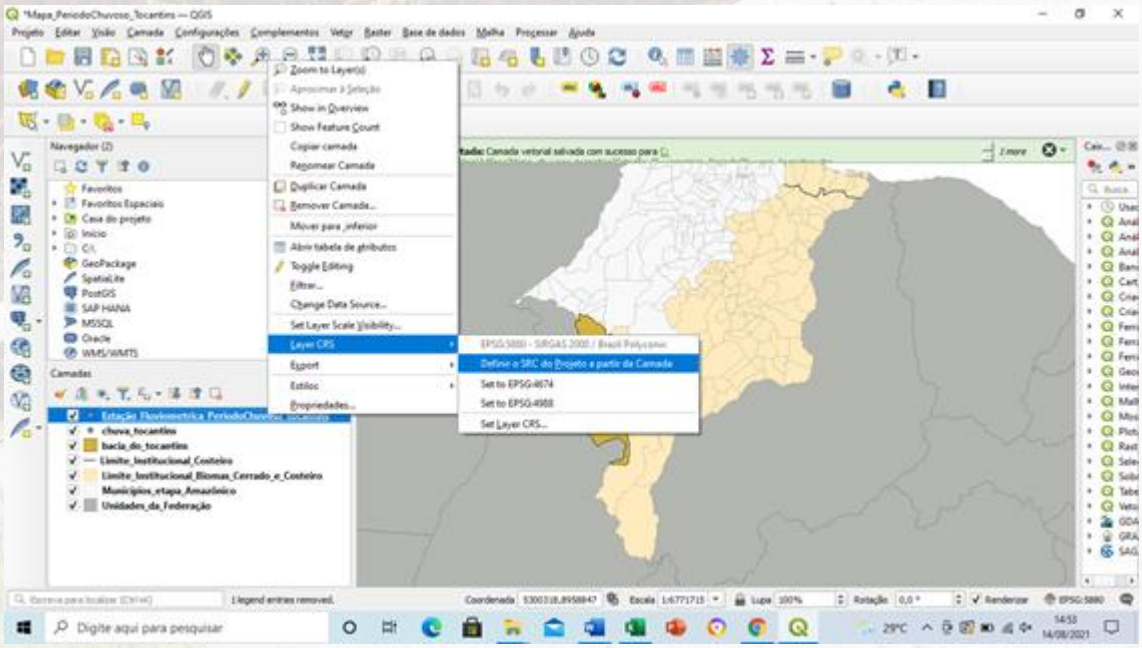




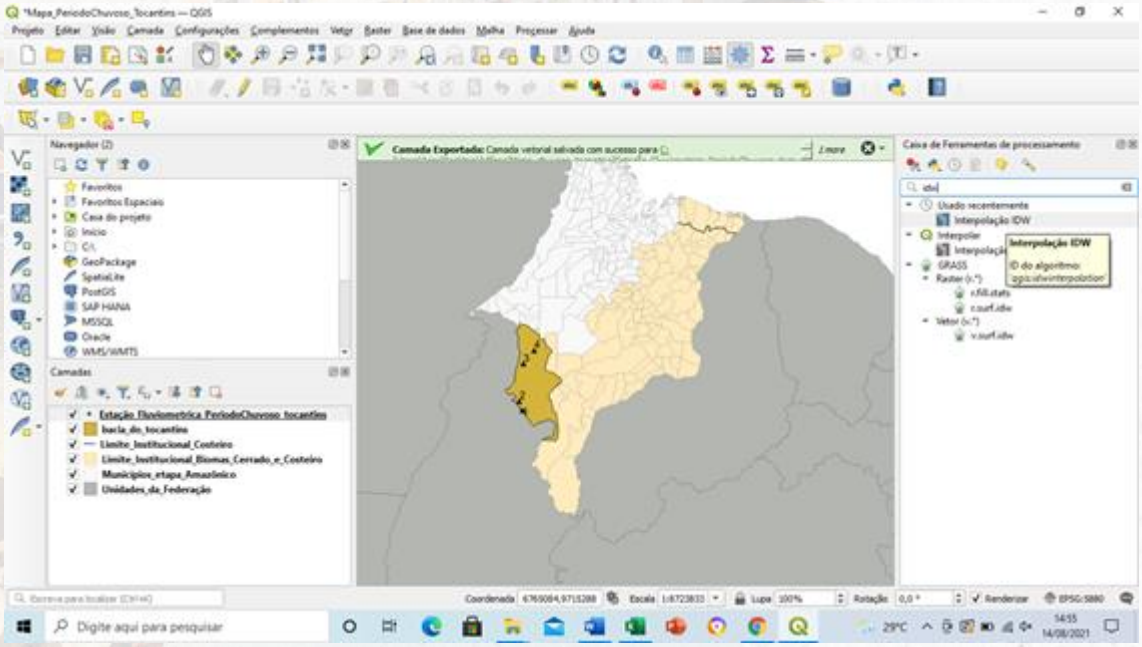
4) Após isso, salvar esse dado como uma nova camada e definir o SRC como Sirgas 2000/Brazil Polyconic.



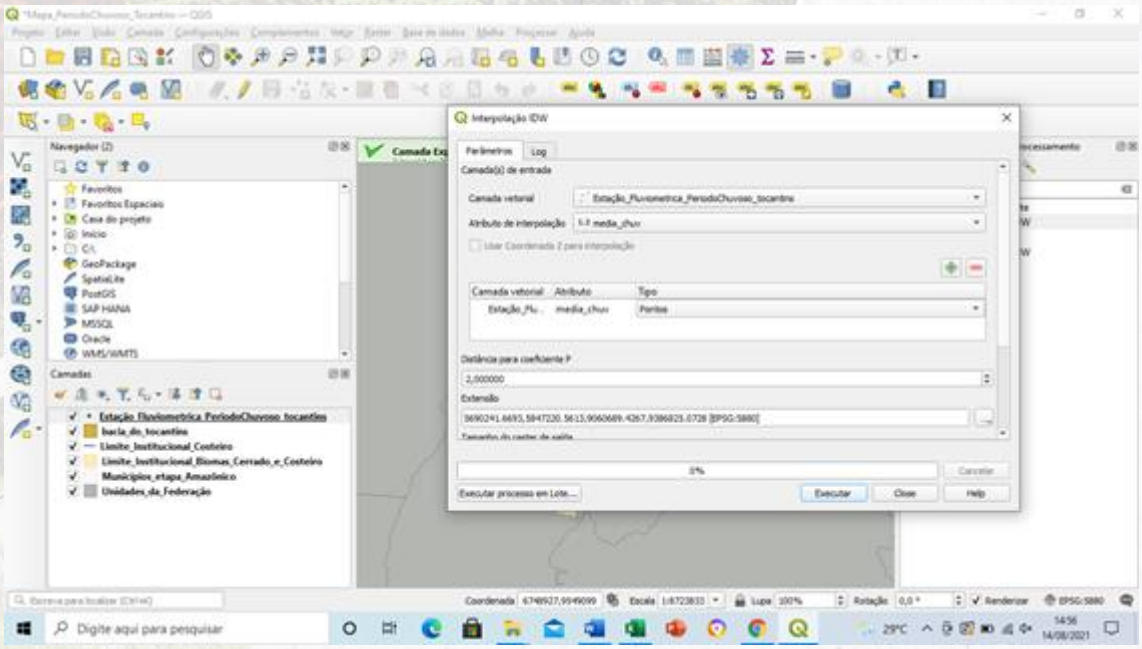
5) Após criar a nova feição contendo os dados de vazões médias, clicar em ”Definir SRC do projeto a partir da Camada”.



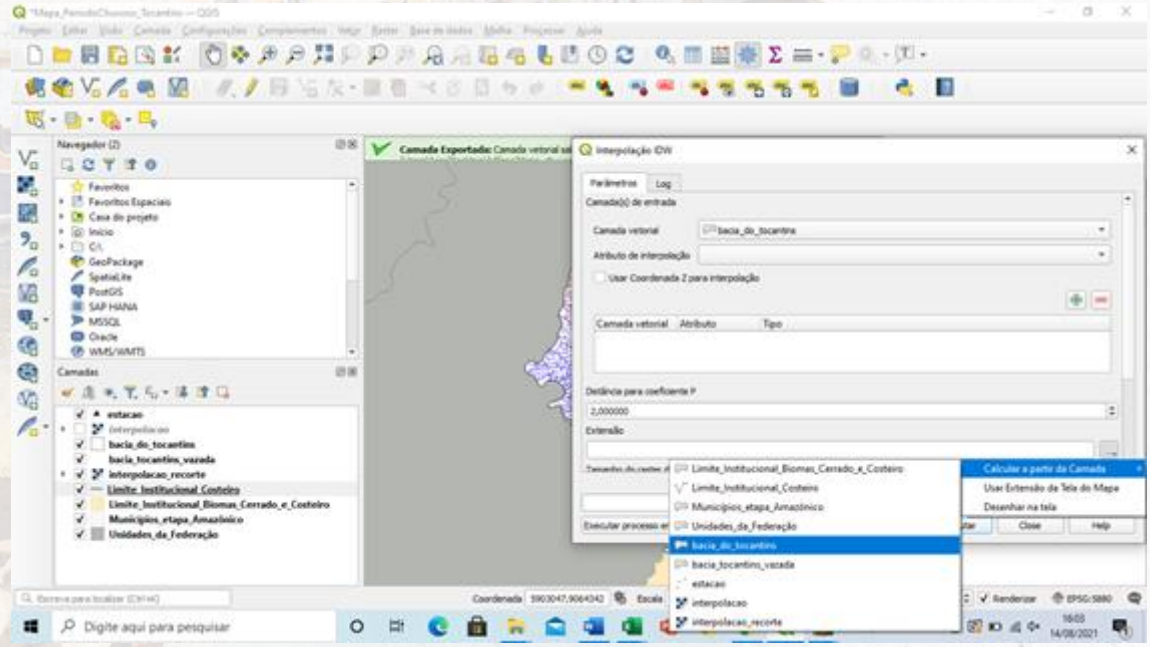
6) Agora, vamos para a interpolação. Em caixa de ferramentas, digitar interpolação IDW

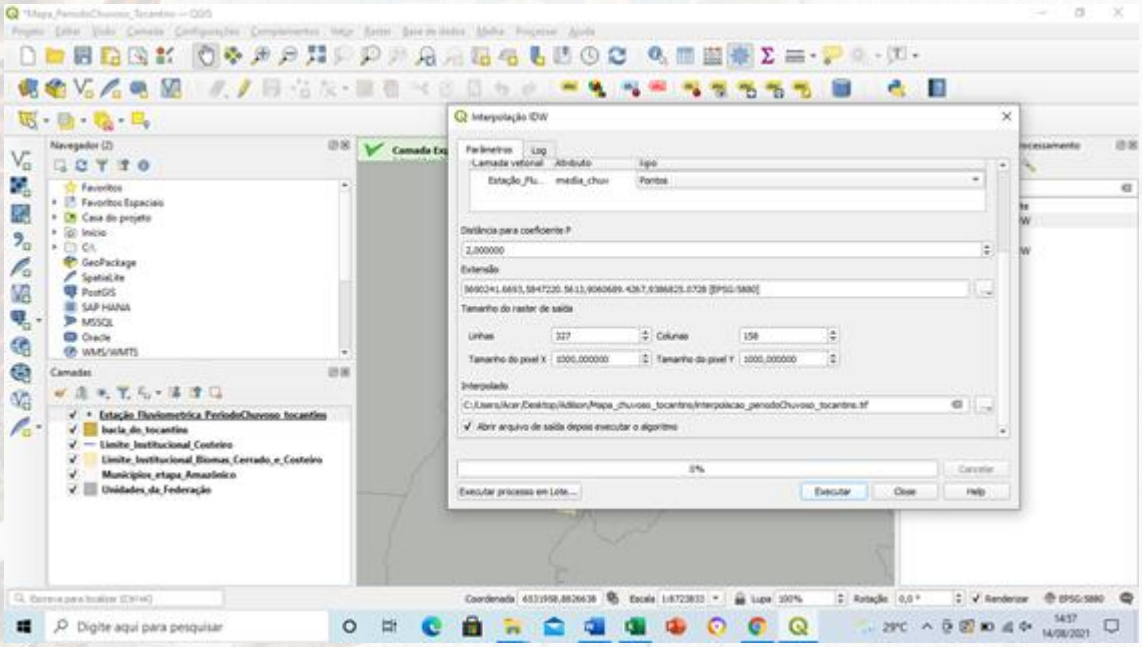


7) Adicionar a camada vetorial (que são os dados de vazões médias). O atributo de interpolação são os dados de vazões médias.

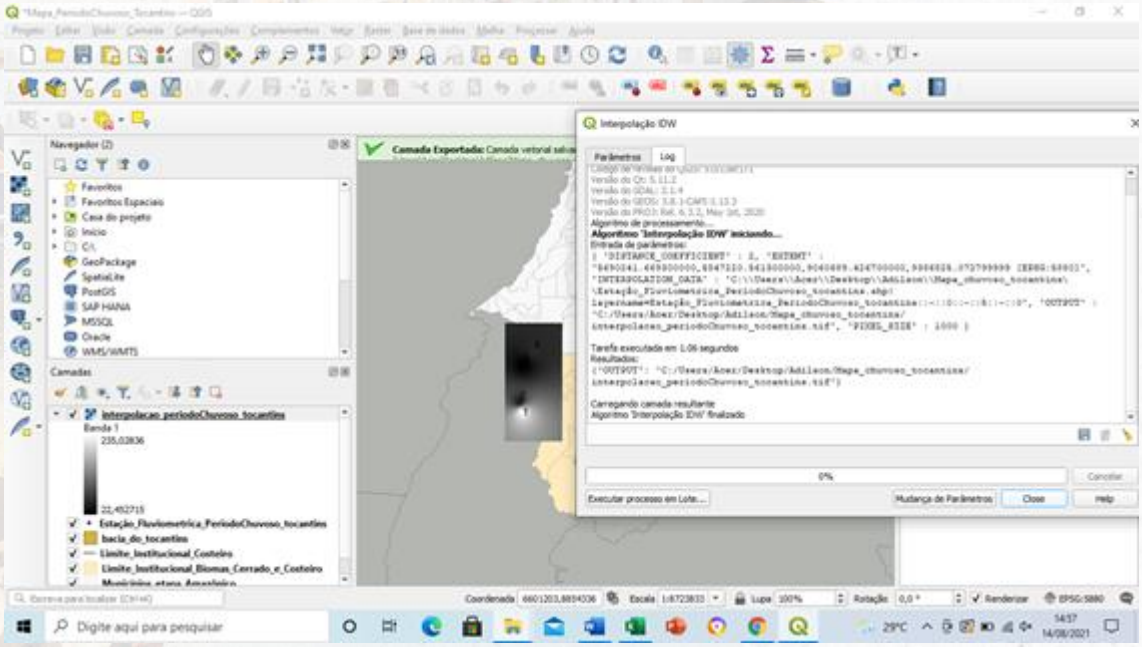


8) A extensão utilizada foi a da bacia a ser interpolada. Estabelecer os pixies em 1000, salvar e executar.

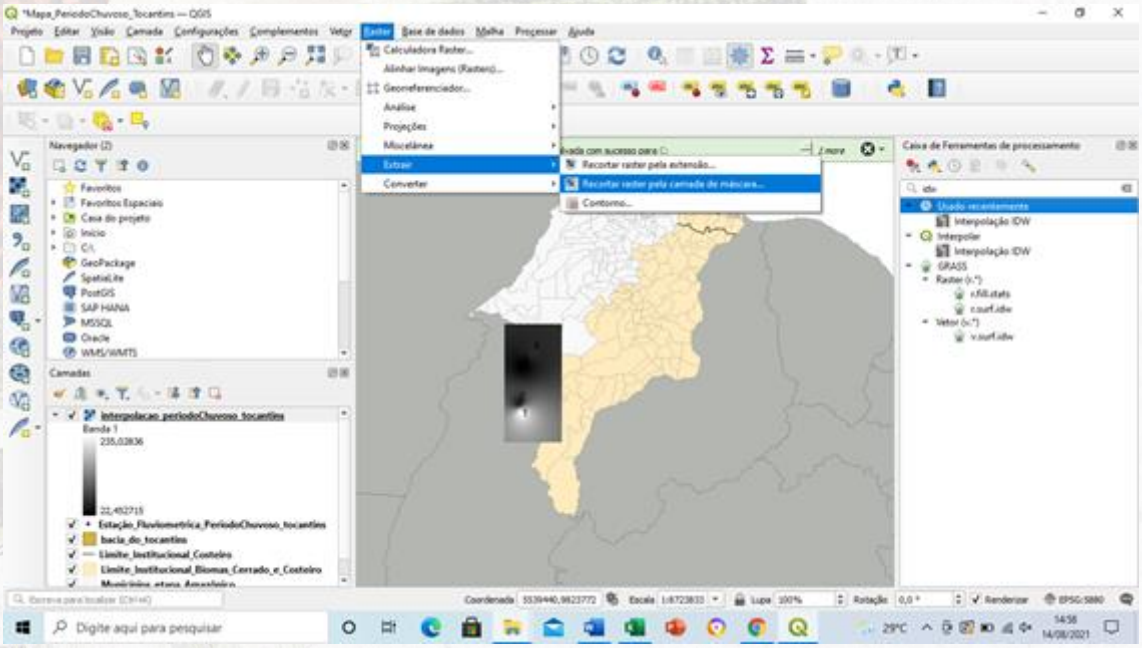




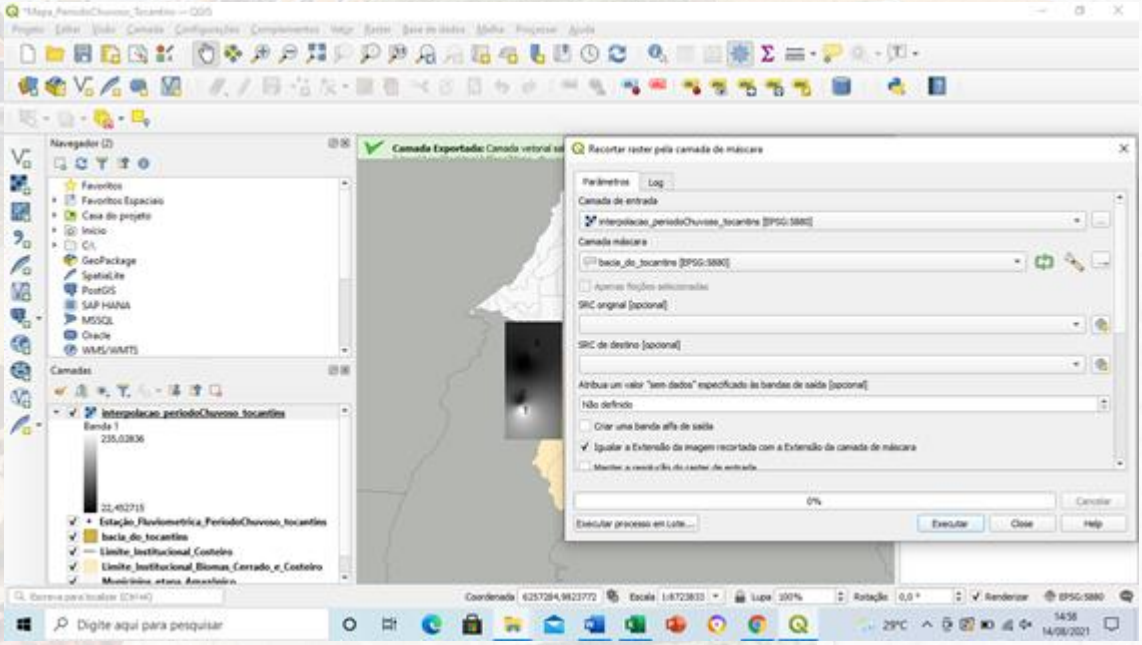
9) Aqui temos o resultado da interpolação:

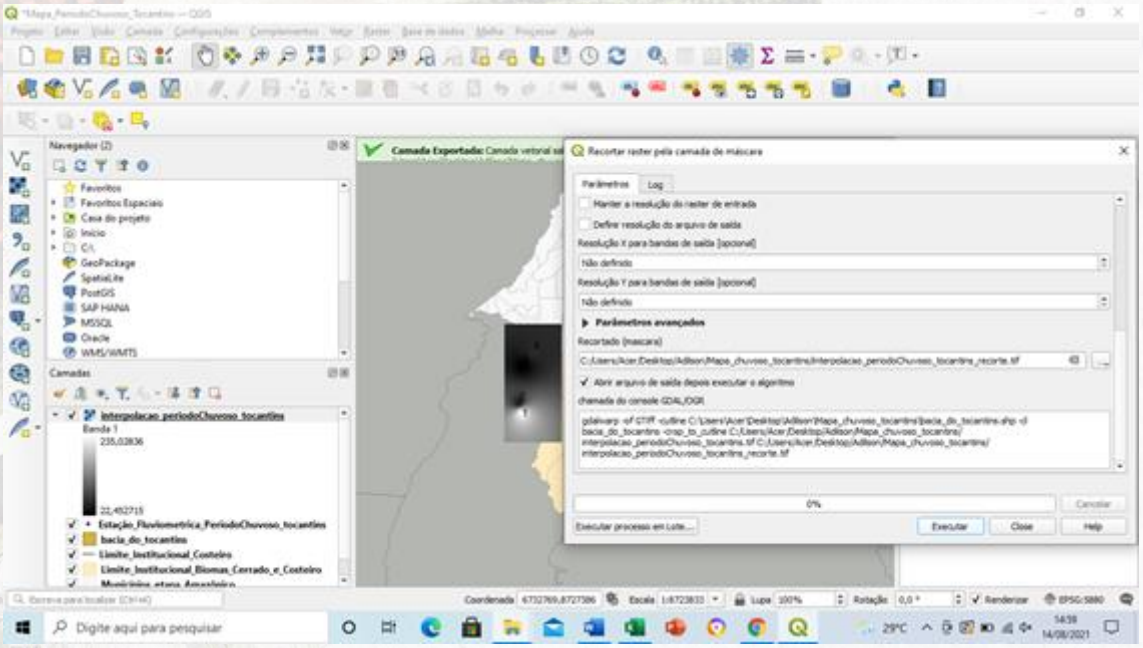


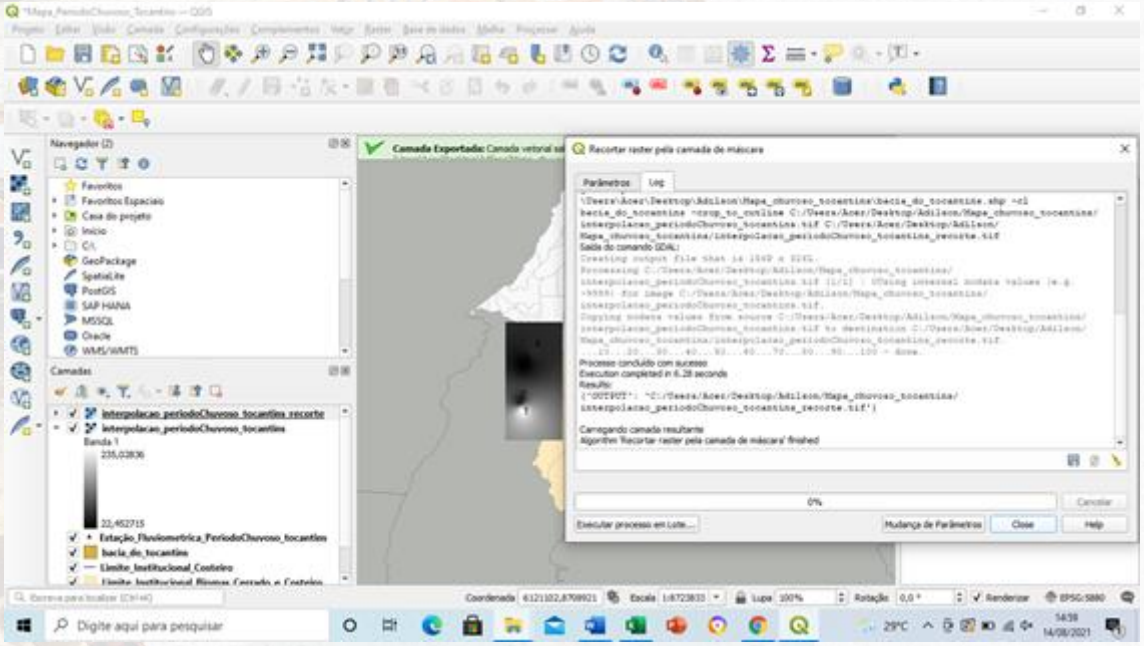
10) Agora, ir em Raster > extrair > recortar raster pela camada de máscara.



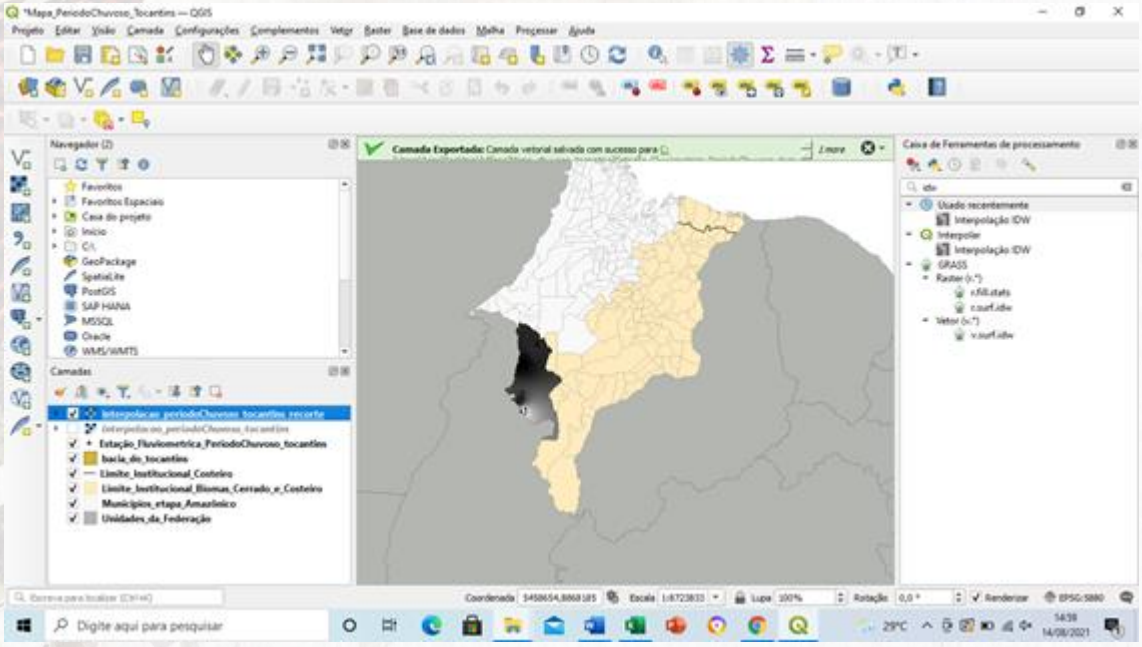
11) A camada de entrada será a interpolação recém feita, e a camada de máscara será a camada da bacia a ser utilizada. As duas camadas devem estar salvas como ‘Sirgas 2000/Brazil Polyconic’. Após isso, salvar a nova camada a ser gerada e executar.



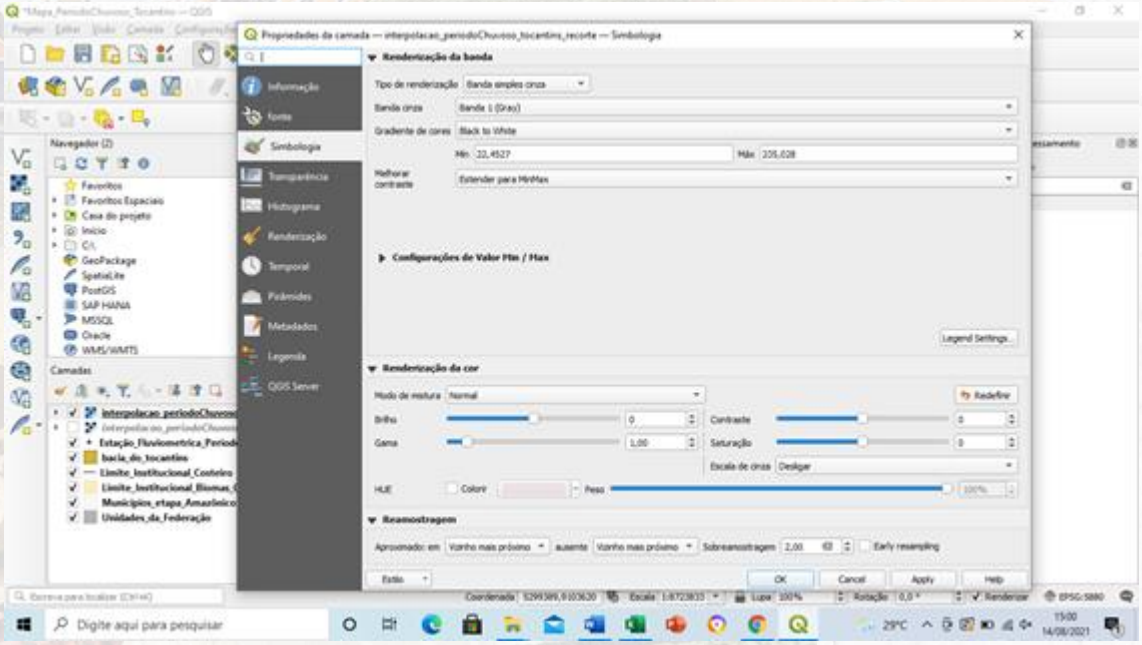


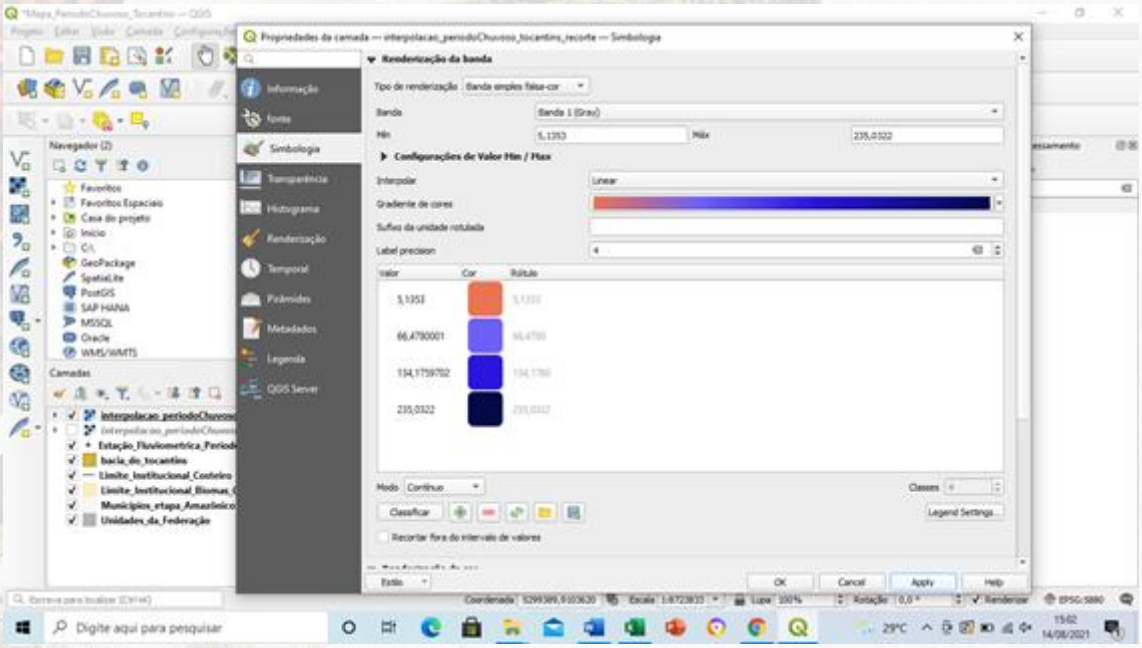


12) Esse será o resultado:

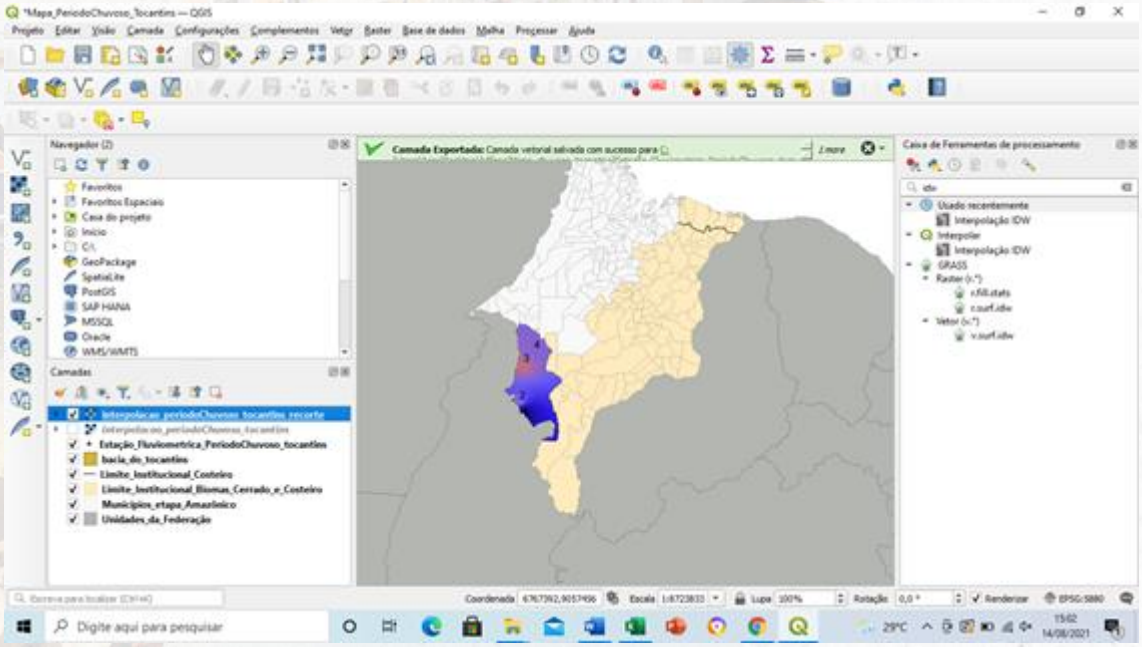


13) Agora, clicar com o botão direito na camada da interpolação que foi gerada, e clicar em propriedades para estabelecer a barra de cores e os valores mínimo e máximo de acordo com os dados de vazão de cada bacia.

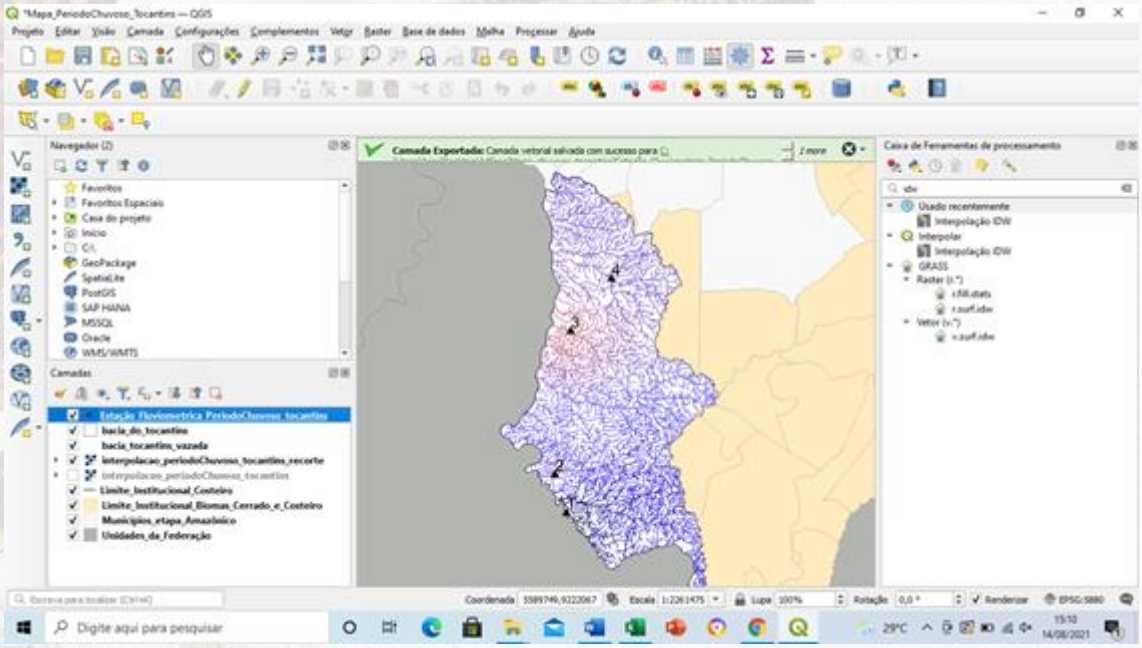




14) Esse é o resultado:



15) Por fim, adicionar a camada vazada da bacia a ser utilizada.



RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) - ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPLAN GOVERNO DO MARANHÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

FAPEAD
FUNDAÇÃO DE APOIO AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa

UFMA
Universidade Federal do Maranhão

Acesse:
zee.ma.gov.br