



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

KAREN MONTEIRO CARMONA

**HIDROGEOQUÍMICA E NEOTECTÔNICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO TAUÁ, NORDESTE DO PARÁ**

BELÉM – PARÁ

2013

KAREN MONTEIRO CARMONA

HIDROGEOQUÍMICA E NEOTECTÔNICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TAUÁ, NORDESTE DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu.

BELÉM – PARÁ

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

C287h Carmona, Karen Monteiro.

Hidrogeoquímica e Neotectônica da bacia hidrográfica do rio Tauá, Nordeste do Pará / Karen Monteiro Carmona; Orientador: Francisco de Assis Matos; Coorientador: Paulo Pontes Araújo - 2013.

110 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Neotectônica. 4. Qualidade da água 5. Mapa de vulnerabilidade. 6. Bacia do rio Tauá (PA). 7. Nordeste do Pará. I. Abreu, Francisco de Assis Matos, *orient.* II. Araújo, Paulo Pontes, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22^a ed.: 553.79098115

KAREN MONTEIRO CARMONA

HIDROGEOQUÍMICA E NEOTECTÔNICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TAUÁ, NORDESTE DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

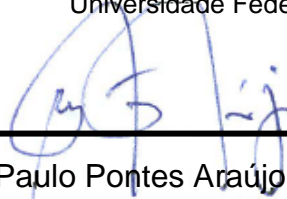
Data de aprovação: 10/ 04/ 2013

Conceito: BOM

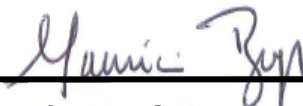
Banca examinadora:



Prof. Francisco de Assis Matos de Abreu - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Paulo Pontes Araújo - Coorientador
Doutor em Hidrogeologia
Serviço Geológico do Brasil - CPRM



Prof. Maurício da Silva Borges - Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Antônio Carlos F. N. S. Tancredi - Membro
Doutor em Hidrogeologia

Ao meu querido pai que sempre foi minha fonte de inspiração e orgulho.

A minha mãe, minha fortaleza, que sempre me apoiou em todas as minhas decisões e em minhas longas e distantes caminhadas em busca de minhas realizações.

A vocês, meus pais, dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha fortaleza nos meus momentos de dúvidas e fraquezas. A Ele que não me deixa desistir diante das dificuldades.

Aos meus pais, Carlos que sempre pôs minha educação em primeiro lugar e a minha mãe Laura que deu o melhor de si para me guiar dentro dos caminhos da ética e moral. A eles que me ensinaram a sonhar, e mais que isso, a dar o primeiro passo e a lutar pela realização dos meus sonhos.

Ao meu tio João Nilson Camanho por sempre me apoiar e por ser o responsável pela escolha da minha profissão.

Aos professores do Instituto de Geociências que contribuíram de forma direta ou indireta à minha formação profissional, em especial, ao professor Milton Antônio da Silva Matta pela orientação, amizade e por torcer pelo meu sucesso.

Ao meu orientador Professor Francisco de Assis Matos de Abreu e ao meu co-orientador Paulo Pontes Araújo, pela ajuda na elaboração deste trabalho e instrução no campo da pesquisa científica.

Ao Geólogo Xafi da Silva Jorge João pelas longas discussões produtivas e prazerosas a cerca do universo geológico.

Ao técnico em mineração Almir Pacheco pela ajuda na realização da etapa de campo.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM pela oportunidade de concretizar mais um importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

Ao Instituto Evandro Chagas, pela realização das análises laboratoriais.

Ao meu noivo, David Prill, pela paciência e, principalmente, incentivo. Por sempre me dar força quando estava prestes a querer desistir.

As amigadas feitas no decorrer do curso de Geologia, em especial, aos meus amigos Luís Carlos Ferreira de Cristo, Cláudia Danielle, Antônio Pantoja (Az), Renan da Silva Feitosa e Larissa Silva.

“Todo direito corresponde a um dever. Se
você não cumpre seu dever, não pode exigir
direitos”

Carlos Augusto Reis Carmona
Meu Pai (*in memoriam*).

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Tauá ocupa uma área de 404,57 km² e está localizada no nordeste do estado do Pará. A área da bacia abrange parte dos municípios de Santo Antônio do Tauá, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal. Este trabalho tem por objetivo a caracterização hidrogeológica da bacia hidrográfica do rio Tauá com base na avaliação da qualidade das águas subterrâneas rasas e compartimentação da área em blocos tectônicos a fim de se identificar as zonas de recarga dos aquíferos. Foram coletadas amostras de água subterrânea de 25 poços no período seco (novembro/2012) e chuvoso (fevereiro/2013). Para a análise da qualidade da água foram realizados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, cloreto, sulfato, sódio, potássio, magnésio, cálcio, dureza, condutividade elétrica e os compostos nitrogenados (amônio, nitrito e nitrato). No período seco, a concentração dos íons analisados estava dentro do permitido pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. No entanto, foi possível observar um aumento expressivo nas concentrações da maioria dos íons, principalmente, os compostos nitrogenados, sendo que o consumo de água com em concentrações de nitrato maiores que 10 mg/L apresentam risco à saúde humana. O aumento na concentração de nitrato está relacionado, em parte, à reações de nitrificação, em que o amônio é oxidado e forma nitrato. Atividades antrópicas como o uso de fertilizantes na agricultura, criação de animais e liberação de esgoto e construção de fossas sanitárias precárias são as principais causas da contaminação do aquífero livre. Sedimentos inconsolidados e litologia arenosa facilitam a infiltração desses contaminantes no solo até atingirem os aquíferos. Foram identificados três áreas de recarga direta e quatro áreas de descarga do aquífero livre. A área da bacia do rio Tauá foi compartimentada por falhas de direções NE-SW e NW-SE em 11 blocos morfotectônicos. Os limites desses blocos consistem em zonas de circulação de água subterrânea uma vez que os deslocamentos verticais ocasionados por falhamentos podem promover a comunicação entre os aquíferos rasos e os demais aquíferos.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Hidrogeologia. Neotectônica. Qualidade de água. Mapa de vulnerabilidade. Bacia do rio Tauá (PA). Nordeste do Pará.

ABSTRACT

The Taua river drainage basin occupies an area of 404.57 km² and it is located in the northeastern of Para state. The basin area covers part of the municipalities of Santo Antonio do Taua, Santa Barbara do Para, Santa Isabel do Para and Castanhal. This work aims the hydrogeological characterization of the Taua river basin based on the groundwater quality analysis and on the division of the area into tectonic blocks in order to identify the aquifers recharge areas. It was collected groundwater samples from 25 wells during the drought (November/2012) and rainy seasons (February/2013). For the water quality analysis were performed the following physic-chemical parameters: pH, chloride, sulfate, sodium, potassium, magnesium, calcium, hardness, conductivity and nitrogen compounds (ammonium, nitrite and nitrate). In the drought period, the concentration of ions analyzed was within the permitted by ordinance 2914/11 of the Health Ministry. However, it was observed a significant increase in the concentrations of most ions, especially the nitrogen compounds. The consumption of waters with nitrate concentrations above 10 mg/L presents a risk to human health. The increase in nitrate concentration is related in part to the nitrification reactions in which the ammonia is oxidized and form nitrate. Human activities such as the use of fertilizers in agriculture, animal breeding and release of sewage and the poor construction of cesspits are the main causes of contamination of the unconfined aquifer. Unconsolidated sediments and sandy lithology facilitate the infiltration of these contaminants in the soil until they reach the aquifers. It was identified three areas of direct recharge and four discharge areas of the unconfined aquifer. The area of the Taua river basin was compartmentalized by faults of NE-SW and NW-SE in 11 morphotectonic blocks. The boundaries of these blocks consist of groundwater circulation zones, since the vertical displacements caused by faults can promote communication between the shallow aquifer and other aquifers.

Key words: Groundwater. Hidrogeology. Neotectonic. Vulnerability map. Taua river drainage basin (PA). Northeast of Para.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio Tauá (delimitada em vermelho), nordeste do estado do Pará.....	22
Figura 2 - Gráfico de representação da área de abrangência da Bacia do Rio Tauá (404,57 km ²) situada em partes dos municípios de Santo Antônio do Tauá (182,06 km ²), Santa Bárbara do Pará (97,1 km ²), Santa Isabel (121,37 km ²) e Castanhal (4,05 km ²).....	23
Figura 3 - Mapa da Bacia do Rio Tauá e suas vias de acesso principais (BR-316, PA-140 e PA-408).....	23
Figura 4 – Blocos crustais da região Amazônica.....	25
Figura 5 - Unidades Litológicas e feições principais do Proterozóico Médio/ Superior. As setas indicam as orientações dos eixos de distensão nos dois compartimentos, separados pela Zona de Transferência Boa vista Caracaraí.	26
Figura 6 – Quadro tectônico da região Amazônica durante o Paleozóico.	27
Figura 7 - Quadro tectônico da região Amazônica durante o Mesozóico.....	28
Figura 8 - Quadro estrutural do Terciário Superior (Mioceno / Plioceno).....	30
Figura 9 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica.....	31
Figura 10 - Quadro Estrutural do quaternário (Pleistoceno Médio - Plioceno).....	31
Figura 11 - Litoestratigrafia proposta por Oliveira e Silva (2011).....	32
Figura 12 - Esquema das etapas do processo de deposição do Grupo Barreiras no intervalo Aquitaniano-Zancleano e posterior deposição da Unidade cobertura detrítico-laterítica e Unidade Sedimentos Pós-Barreiras	33
Figura 13 - Mapa das unidades litoestratigráficas aflorantes na Bacia do Rio Tauá.....	37
Figura 14 - Gráfico das normas climatológicas de Belém, referente ao período entre os anos de 1961 a 1990.....	38
Figura 15 - Balanço hídrico climatológico de Belém no período de 1961 a 1990	39
Figura 16 - Mapa das unidades hidrogeológicas aflorantes na Bacia do Rio Tauá, baseado na Litoestratigrafia proposta por Oliveira e Silva (2011). A Unidade Morfoestratigráfica Holocênica corresponde ao Sistema Hidrogeológico Aluviões; E as Formações Superficiais Quaternárias correspondem ao Sistema Hidrogeológico Pós-Barreiras.....	41

Figura 17 - Localização dos poços amostrados.....	42
Figura 18 – Diagrama de valores de pH das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013) em azul.....	46
Figura 19 - Distribuição dos valores de pH na Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	47
Figura 20 - Distribuição dos valores de pH na Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	47
Figura 21 - Diagrama de valores de cloreto das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013) em azul.....	48
Figura 22 - Distribuição dos teores de cloreto na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	49
Figura 23 - Distribuição dos teores de cloreto na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2012).....	49
Figura 24 - Diagrama de valores de sulfato das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	50
Figura 25 - Distribuição dos teores de sulfato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	51
Figura 26 - Distribuição dos teores de sulfato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro 2013).....	51
Figura 27 - Diagrama de valores de sódio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012), em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013), em azul.....	52
Figura 28 - Distribuição dos teores de sódio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	53
Figura 29 - Distribuição dos teores de sódio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	53
Figura 30 - Diagrama de valores de potássio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), azul.....	54
Figura 31 - Distribuição dos teores de potássio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	55
Figura 32 - Distribuição dos teores de potássio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	55

Figura 33 - Diagrama de valores de magnésio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	56
Figura 34 - Distribuição dos teores de magnésio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	57
Figura 35 - Distribuição dos teores de magnésio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	57
Figura 36 - Diagrama de valores de cálcio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	58
Figura 37 - Distribuição dos teores de cálcio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	59
Figura 38 - Distribuição dos teores de cálcio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	59
Figura 39 - Diagrama de valores de dureza das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	60
Figura 40 - Distribuição dos teores de dureza na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	61
Figura 41 - Distribuição dos teores de dureza na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	61
Figura 42 - Diagrama de valores de condutividade elétrica das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	62
Figura 43 - Distribuição dos teores de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	63
Figura 44 - Distribuição dos teores de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	63
Figura 45 - Diagrama de valores de amônio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	64
Figura 46 - Distribuição dos teores de amônio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	65
Figura 47 - Distribuição dos teores de amônio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de chuvoso (fevereiro/ 2013).....	65
Figura 48 - Distribuição dos teores de nitrito na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	67

Figura 49 - Distribuição dos teores de nitrito na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).....	67
Figura 50 - Diagrama de valores de nitrato das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.....	69
Figura 51 - Distribuição dos teores de nitrato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).....	70
Figura 52 - Distribuição dos teores de nitrato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2012).....	70
Figura 53 - Variação das concentrações de amônio e nitrato nos períodos seco e chuvoso.....	71
Figura 54 - Uso da terra na bacia do rio Tauá.....	72
Figura 55 - (A) Poço13 (tubular) localizado próximo à plantação de verduras e banana. (B) Poço 6 l(tubular) localizado na granja Nossa Senhora de Fátima de criação de galinhas, (C) Poço 17 (escavado) perfurado em terreno arenoso.....	74
Figura 56 - Pluma de contaminação de nitrato.....	75
Figura 57 - Medição do nível estático nos poços 15 (A) e 14 (B).....	76
Figura 58 - Mapa de fluxo hídrico subterrâneo da bacia hidrográfica do Rio Tauá, com ênfase nas zonas de recarga (amarelo) e descarga (vermelho).....	77
Figura 59 - Diagrama de Piper para a classificação da água da subterrânea da bacia do rio Tauá.....	79
Figura 60 - Classificação da bacia do rio Tauá em 4º ordem.....	84
Figura 61 - Tipos de padrões texturais de drenagem.	85
Figura 62 - Propriedades da drenagem.....	86
Figura 63 - Zonas homólogas de drenagem da bacia hidrográfica do rio Tauá.....	87
Figura 64 - Formas anômalas de drenagem da bacia hidrográfica do rio Tauá e definição de altos e baixos topográficos com base na assimetria.....	89
Figura 65 - Alinhamento de drenagem da bacia do rio Tauá.....	90
Figura 66 - Rosáceas dos alinhamentos de drenagem da bacia do rio Tauá referente às zonas homólogas A, B e C.....	92
Figura 67 - Unidades morfológicas de relevo definidas a partir de imagem SRTM da bacia do rio Tauá.....	93
Figura 68 - Alinhamentos de relevo da bacia do rio Tauá.....	95
Figura 69 - Direções principais de lineações de relevo da bacia do rio Tauá.....	96

Figura 70 - Compartimentação morfotectônica da bacia do rio Tauá.....	97
Figura 71 - Esquema comparativo das direções preferenciais das falhas que compartimentam às áreas de bacia do rio Tauá, a ilha de Mosqueiro	98
Figura 72 - Seções transversais às direções de falha evidenciando horsts e grábens.....	99
Figura 73 - Modelo proposto por Palheta (2008) para a o mecanismo de recarga e fluxo subterrâneos dos aquíferos rasos (infiltração direta) e intermediários (infiltração controlada por falhas trativas.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos Sistemas Hidrogeológicos de Belém e adjacências	40
Tabela 2 - Poços amostrados na Bacia Hidrográfica do Rio Tauá. N.E. (m) ₁ – Nível Estático referente ao período seco e N.E. (m) ₂ – Nível Estático referente ao período chuvoso.	43
Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas referentes ao período seco (Novembro/2012).	44
Tabela 4 - Resultados das análises físico-químicas referentes ao período chuvoso (Fevereiro/2012).....	45
Tabela 5 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período de estiagem (novembro/2012)	80
Tabela 6 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/2013)	81
Tabela 7 – Matriz de correlação dos parâmetros químicos da bacia do rio Tauá referente ao período seco (novembro/2012).	82
Tabela 8 – Matriz de correlação dos parâmetros químicos da bacia do rio Tauá referente ao período chuvoso (fevereiro/2013).....	82
Tabela 9 - Principais propriedades da drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá,	88
Tabela 10 - Principais direções de alinhamentos de drenagem da Bacia do Rio Tauá.	91
Tabela 11 - Principais direções de alinhamentos de relevo da Bacia do Rio Tauá. ...	95

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEF	Deficiência
EXC	Excedente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SIG	Sistema de Informação Geográfica
VMP	Valores Máximos Permitidos
pH	Potencial Hidrogeniônico
CE	Condutividade elétrica
Cl ⁻	Cloreto
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
SO ₄ ⁻	Sulfato
Na ⁺	Sódio
K ⁺	Potássio
Mg ⁺²	Magnésio
Ca ⁺	Cálcio
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
2 GENERALIDADES E GEOLOGIA DA ÁREA	22
2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	22
2.2 ASPECTOS GEOTECTÔNICOS.....	24
2.2.1 Paleotectonismo.....	24
2.2.2 Neotectonismo.....	29
2.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS.....	32
2.3.1 Grupo Barreiras	32
2.3.2 Unidade Cobertura Detrítico-Laterítica	35
2.3.3 Unidade Sedimentos Pós-Barreiras	35
2.3.4 Depósitos Argilosos Flúvio-Marinhos	36
2.3.5 Depósitos Atuais	36
2.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	37
2.4.1 Clima.....	37
3 SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS	39
4 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	42
4.1 pH.....	46
4.2 CLORETO.....	48
4.3 SULFATO.....	50
4.4 SÓDIO.....	52
4.5 POTÁSSIO.....	54
4.6 MAGNÉSIO.....	56
4.7 CÁLCIO.....	58
4.8 DUREZA.....	60
4.9 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE).....	62
4.10 COMPOSTOS NITROGENADOS.....	64
4.10.1 Amônio.....	64
4.10.2 Nitrito.....	66
4.10.3 Nitrato.....	68

4.10.4 Evolução temporal dos compostos nitrogenados.....	71
5 OSCILAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO.....	75
6 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	78
7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	80
8 GEOMORFOLOGIA.....	83
8.1 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA REDE DE DRENAGEM.....	83
8.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DA REDE DE DRENAGEM.....	90
8.3 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DO RELEVO.....	92
8.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DO RELEVO.....	94
8.5 DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS.....	96
9 ZONAS DE CIRCULAÇÃO DE AGUA SUBTERRÂNEA.....	100
10 DISCUSSÃO.....	102
11 CONCLUSÕES.....	105
REFERÊNCIAS.....	107

1. INTRODUÇÃO

Este estudo foi desenvolvido na área da bacia hidrográfica do rio Tauá, localizada no nordeste do estado do Pará. A bacia ocupa uma área de 404,57 km² e abrange parte dos municípios de Santo Antônio do Tauá, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal. A região apresenta um quadro ambiental composto por precipitações pluviométricas elevadas, solos com expressivas taxas de infiltração, fossas em centros populacionais e atividades agrícolas na zona rural. Os aquíferos livres constituem-se na principal fonte de abastecimento de água da população de baixa renda e de irrigação de pequenos sítios agrícolas (ARAÚJO, 2001).

No que concerne à área rural, a região foi marcada pelos ciclos econômicos da cana-de-açúcar, da pimenta-do-reino e do dendê. Além de apresentar pequenas culturas como mandioca, feijão, milho, avicultura, verduras, dentre outras. Nos centros populacionais é comum observar dejetos domésticos lançados diretamente sobre o solo ou em sistemas de fossas do tipo seca. Tanto os efluentes domésticos e fossas quanto os fertilizantes utilizados por hortifrutigranjeiros constituem um risco constante de contaminação das águas subterrâneas principalmente por nitrato.

De acordo com a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é instituída como unidade territorial para a implementação de uma gestão descentralizada e participativa. O quadro acima descrito configura a inexistência de uma política de desenvolvimento sustentável, nas regiões em desenvolvimento no norte do país, como ação preventiva de saúde da população humana, principalmente de baixa renda.

1.1. JUSTIFICATIVA

O aumento populacional e atividades agropecuárias são fatores que contribuem para o agravamento poluição das águas superficiais e subterrâneas. Santo Antônio do Tauá e os demais municípios abrangentes da bacia hidrográfica do rio Tauá fazem uso indiscriminado dos recursos hídricos subterrâneos por meio de

poços, em sua maioria, rasos (6-25m), perfurados sem qualquer estudo prévio quanto à determinação de sua localização e sem atender as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 12212 e NBR 12244).

Esses poços são muitas das vezes perfurados próximos a fossas sépticas e a áreas de atividades agrícolas, as quais podem ser possíveis fontes de contaminação dos aquíferos livres.

Como a área de estudo é essencialmente abastecida por água subterrânea fazem-se necessários estudos voltados para a identificação de zonas de recarga, para que se possam desenvolver mecanismos de preservação dessas áreas. Além disso, é importante que haja a identificação de possíveis fontes poluidoras como forma de prevenir sua propagação.

Devido ao uso de fertilizantes, a atividade agrícola pode ser uma potencial fonte de contaminação de aquíferos rasos. A área de estudo, além de ser abastecida, principalmente, por água subterrânea do aquífero Barreiras livre, é caracterizada por intensa atividade agrícola, logo é necessário que haja um estudo relacionado ao comportamento do fluxo hídrico subterrânea nessa região e avaliação da qualidade dessa água.

A neotectônica aplicada à Hidrogeologia é uma importante ferramenta para o entendimento da permeabilidade em subsuperfície induzida por descontinuidades. E serve para compreender o mecanismo de percolação das águas subterrâneas e possíveis contaminações de aquíferos, além da identificação de áreas de recarga e da geometria dos aquíferos. Como o nordeste do estado do Pará é bastante influenciado pela estruturação neotectônica, este trabalho, também, tenta entender a relação de feições estruturais com os sistemas hidrológicos e hidrogeológicos da Bacia hidrográfica do rio Tauá.

Portanto, a relevância científica deste estudo consiste em analisar a qualidade físico-química e a classificação das águas subterrâneas rasas, assim como quais os aspectos da neotectônica que contribuem com a recarga dos aquíferos confinados.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização hidrogeológica da bacia hidrográfica do rio Tauá com base na avaliação da qualidade das águas subterrâneas rasas e compartimentação da área em blocos morfoestruturais a fim de se identificar as zonas de recarga dos aquíferos confinados. A partir dos dados obtidos procura-se mostrar em mapas as possíveis áreas de recargas dos aquíferos confinados e as áreas onde as águas do aquífero livre encontram-se impróprias para o consumo humano.

Objetivos específicos:

- Identificar zonas de recarga dos aquíferos;
- Definir o comportamento geral do fluxo hídrico subterrâneo;
- Classificar e analisar a qualidade da água do aquífero livre correlacionando-a com fontes potenciais de contaminação;
- Analisar a qualidade da água do aquífero superior correlacionando-a com fontes potenciais de contaminação;
- Analisar os padrões de drenagem e relevo;
- Caracterizar o quadro estrutural da bacia hidrográfica do rio Tauá para melhor entendimento da influência neotectônica no mecanismo de recargas dos aquíferos rasos, intermediários e profundos.

1.3. MATERIAIS E MÉTODOS

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

- Pesquisa e análise bibliográfica de trabalhos anteriormente realizados no nordeste do estado do Pará, principalmente os que contemplassem aspectos socioeconômicos, físicos, geológicos e hidrogeológicos a fim de se obter uma síntese da atual situação da área.

- Pesquisa sobre as portarias do Ministério da Saúde referente aos padrões de potabilidade para águas subterrâneas – Portaria 2914/11 e 518/04.
- Pesquisa bibliográfica sobre compartimentação neotectônica da Amazônia e do nordeste do Pará.

GEOPROCESSAMENTO – SIG

- Para geração do SIG e elaboração dos mapas existentes neste trabalho foram utilizados: os shapes do Projeto Geologia e Recursos Minerais da Folha Belém SA.22-X-D-III (OLIVEIRA; SILVA, 2011), Imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) utilizadas para extração das curvas altimétricas, e seções do relevo.

TRABALHO DE CAMPO

- Campanha de campo realizada no período de 21 a 23 de setembro de 2012 para identificação e cadastramento de poços de água na área de abrangência da bacia hidrográfica do rio Tauá;
- Campanhas de campo no período de estiagem (21 a 23 de novembro/ 2012) e no período chuvoso (22 a 24 de fevereiro/ 2013) para a medição do nível estático da água no aquífero superior e, também, para realizar a coleta de amostras de água para análise físico-química. Foram coletados 3 frascos de amostras em cada um dos 25 poços identificados e selecionados ao longo da bacia do rio Tauá, totalizando 75 amostras em cada período de coleta.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

- As análises físico-químicas foram realizadas pelo Instituto Evandro Chagas. Foram analisados os seguintes íons e parâmetros: pH, Condutividade Elétrica (CE), fosfato, cloreto (Cl⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), sulfato (SO₄⁻), sódio (Na⁺), amônio, potássio (K⁺), magnésio (Mg⁺⁺), cálcio (Ca⁺⁺), dureza, N-amoniaco e bicarbonato (HCO₃⁻).
- Construção de mapas de isovalores físico-químicos, com o valor médio de cada parâmetro, utilizando o software *Surfer 8*.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

- Confecção de matriz de correlação dos resultados das análises físico-químicas com o auxílio do software *Statistica 7*
- Classificação hidroquímica da água subterrânea por meio do diagrama de Piper.
- Confecção do mapa de fluxo hídrico subterrâneo, baseado na carga hidráulica, no *Surfer 8*.

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

- O estudo morfoestrutural incluiu a caracterização do relevo e da drenagem para identificar se a configuração geomorfológica da bacia do rio Tauá está condicionada por controle estrutural.
- Análise e classificação da rede de drenagem segundo a metodologia proposta por Soares & Fiori (1976),
- Delimitação de zonas homólogas de drenagem através de imagens de satélite SRTM, e por meio da análise do relevo sombreado no *Global Mapper 11* e *arcgis 9.3*.
- Análise do relevo de acordo com aspecto morfológico, em termos de landforms tectônicos, segundo a metodologia proposta por Stewart & Hancock (1994).
- Compartimentação da bacia do rio Tauá em blocos morfoestruturais segundo metodologias utilizadas nos trabalhos de Bandeira (2008) e Palheta (2008).
- Definição dos arranjos geométricos e cinemáticos através da integração dos dados.
- Elaboração de perfis estruturais através da geração do modelo digital de elevação do relevo no *Global Mapper 11* a partir dos dados SRTM da área.
- Estabelecimento de um modelo estrutural para a área a fim de se identificar as principais direções de compressão (σ_1) e distensão (σ_3) que forem relevantes para determinação das áreas de recarga de aquíferos profundos.

2. GENERALIDADES E GEOLOGIA DA ÁREA

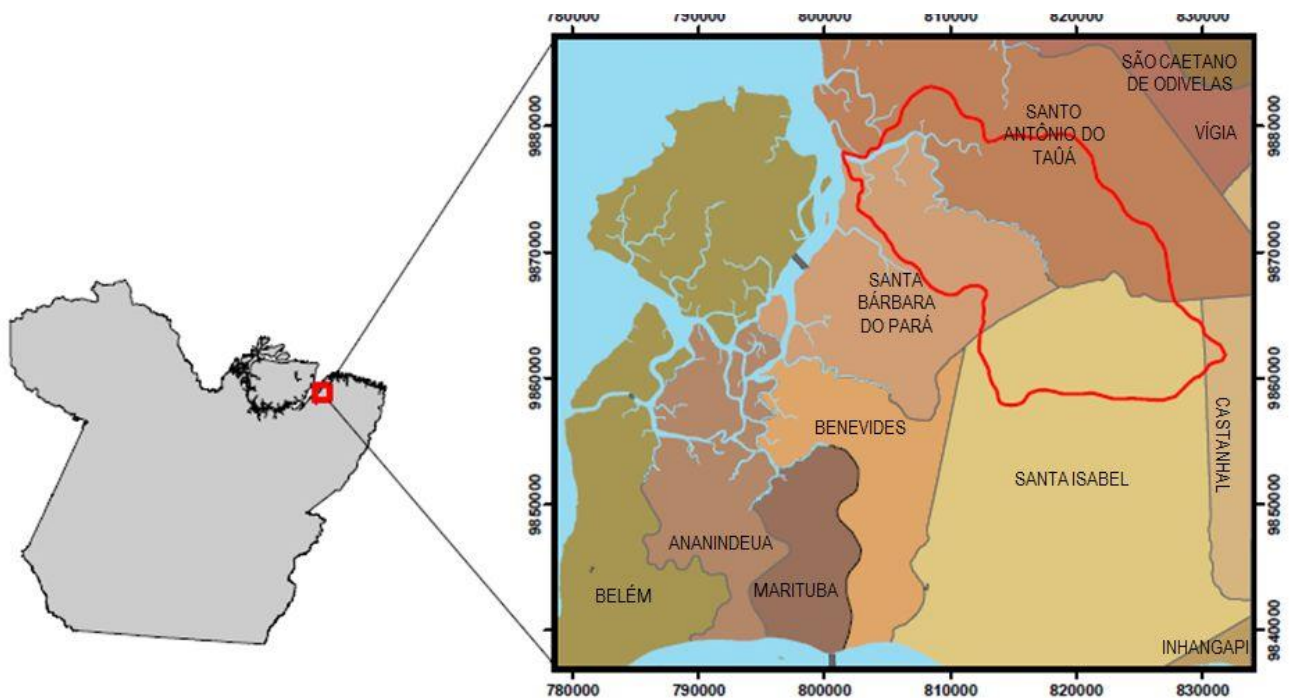
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada é representada pela Bacia do Rio Tauá situada na Folha Belém SA.22-X-D-III, nordeste do estado do Pará (figura 1). Esta bacia hidrográfica abrange parte dos municípios de Santo Antônio do Tauá, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel e Castanhal. E possui uma área em torno de 404,57 km² (figura 2).

O acesso é facilitado devido à presença de uma extensa malha rodoviária que interliga as sedes municipais existentes na região, a qual tem como eixo principal a BR-316, rodovia que corta os municípios de Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Isabel e Castanhal. As principais vias de acesso para a Bacia do Rio Tauá são a BR-316, a PA-140, a PA-408 e a PA-391 (figura 3).

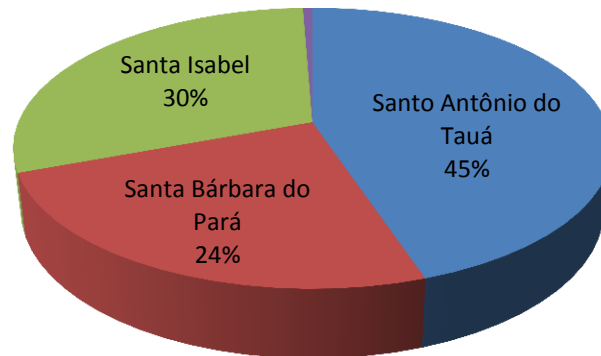
O acesso à parte noroeste da Bacia do Rio Tauá se dá pela BR-316, PA-391 e PA-408, sendo que as duas últimas rodovias cortam Benevides e Santa Bárbara do Pará. Já o acesso à porção nordeste da área é dado pelas rodovias BR-316 e PA-140 sendo que esta última atravessa o município de Santo Antônio do Tauá no sentido N-S.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio Tauá (delimitada em vermelho), nordeste do estado do Pará.



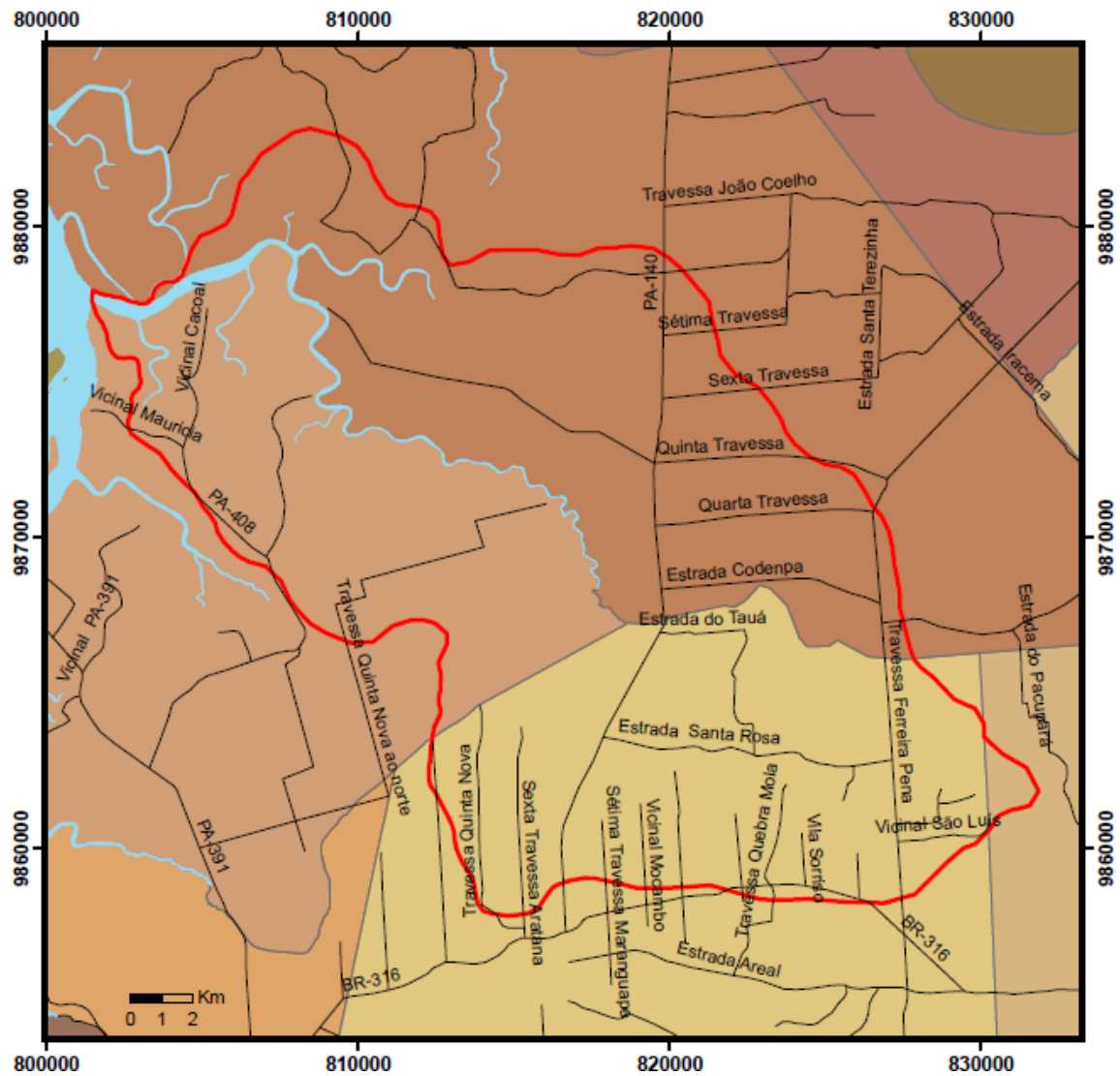
Fonte: Do autor.

Figura 2 - Gráfico de representação da área de abrangência da Bacia do Rio Tauá (404,57 km²) situada em partes dos municípios de Santo Antônio do Tauá (182,06 km²), Santa Bárbara do Pará (97,1 km²), Santa Isabel (121,37 km²) e Castanhal (4,05 km²).



Fonte: Do autor.

Figura 3 - Mapa da Bacia do Rio Tauá e suas vias de acesso principais (BR-316, PA-140 e PA-408).



Fonte: Do autor.

2.2. ASPECTOS GEOTECTÔNICOS

2.2.1. Paleotectonismo

Segundo Bandeira (2008), a Neotectônica da região nordeste do Pará está intimamente ligada às estruturas tectônicas antigas, ou seja, as zonas de fraqueza do cráton Amazonas. Logo, é necessário fazer uma análise geotectônica regional, para se entender o que acontece atualmente na área de estudo.

O cráton amazônico compreende um embasamento composto por rochas granito - gnáissicas de médio a alto grau metamórfico e sequências supracrustais de baixo a médio grau, sobre o qual foram instalados vários tipos de coberturas vulcânicas, sedimentares, bacias sedimentares fanerozóicas, cortadas por corpos graníticos (ALMEIDA, 1978 apud BANDEIRA, 2008). Nessa região são reconhecidas rochas que foram geradas entre o Arqueano e o Holoceno, refletindo uma evolução que abrange intervalo de pelo menos 3,2 Ga (HASUI, 1996).

A evolução da Amazônia proposta por Hasui et al. (1984) e complementada por Hasui (1996) considera que a Amazônia é estruturada fundamentalmente em doze blocos crustais constituídos por complexos gnáissicos, granitóides e greenstone belts, limitados por suturas, associadas as quais ocorrem cinturões de alto grau. Estes blocos teriam se agregado através de colisões diácronas no Arqueano/ Proterozóico Inferior, compondo parte de um megacontinente.

Na região Amazônica ocorreram três eventos tectônicos extensionais no Proterozóico Médio-Superior, Paleozóico e Mesozóico-Paleogeno, marcados por estruturação, embaciamentos e magmatismo, com geometrias fortemente controladas pela estruturação anteriormente formada. No Neogeno-Quaternário o regime tectônico é do tipo transcorrente, relacionado à rotação da Placa Sul-Americana para oeste.

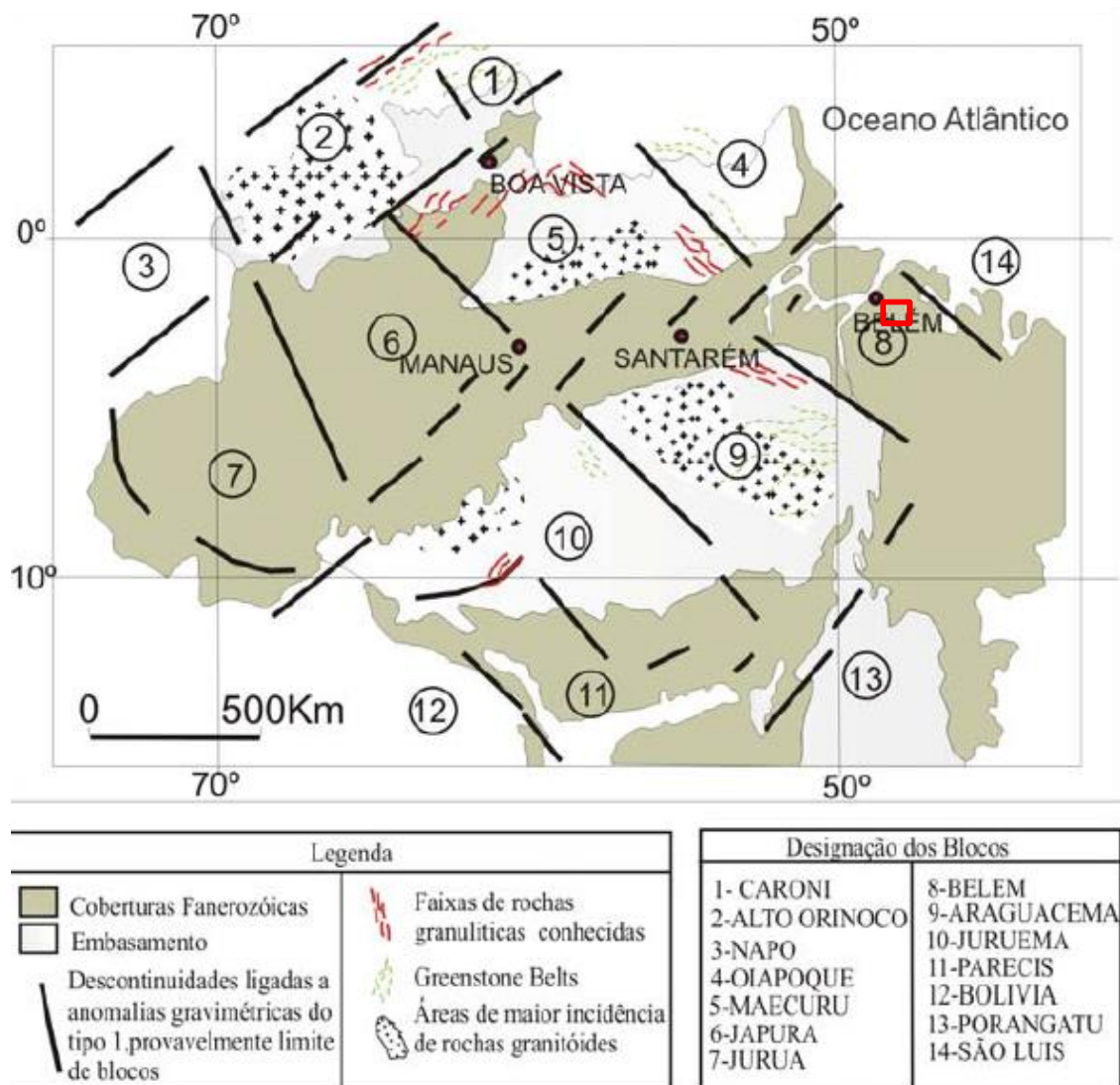
- **Quadro Arqueano/Proterozóico:**

De acordo com Hasui (1996), no intervalo Arqueano/ Proterozóico Inferior ocorreu a compartimentação de primeira ordem em um mosaico de grandes blocos crustais justapostos (páleo-placas) (Figura 4), marcada geologicamente por

cinturões granulíticos, que representam porções da crosta inferior que foram alçadas a superfície por tectonismo, ao longo de descontinuidades crustais.

As bordas dos blocos são marcadas por cinturões de cisalhamento que envolveram cavalgamentos, complicados ou não por transcorrências tardias, condizentes com o modelo de colisão de continentes, e por descontinuidades apontadas pela gravimetria, que marcam as suturas colisionais. Essas bordas representam as zonas de fraqueza crustal fundamentais, com direções preferenciais NE-SW e NW-SE (Costa e Angélica, 1997).

Figura 4 – Blocos crustais da região Amazônica.

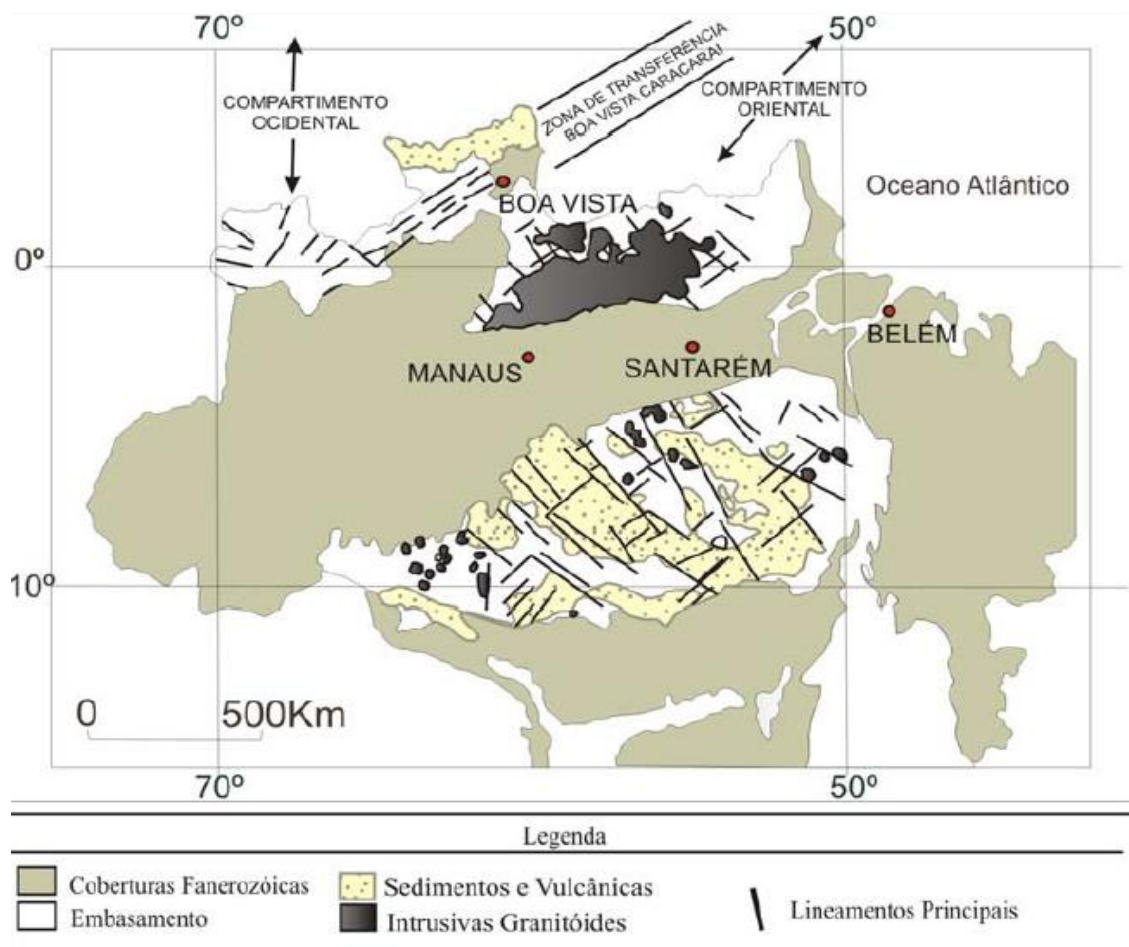


Fonte: Hasui et al., 1984.

Segundo Hasui (1996), a partir do final do Proterozóico Inferior e início do Proterozóico Médio o cenário que era até então de uma grande massa continental consolidada, também conhecida por megacontinente Mesoproterozóico (Almeida, 1978), passa por três grandes eventos tectônicos intraplaca de tipo extensional: no Mesoproterozóico, no Paleozóico e no Mesozóico.

De acordo Costa e Hasui (1992), no Proterozóico Médio o modelo assume um amplo regime tectônico extensional na Amazônia Brasileira. Baseado na geometria, cinemática dos elementos estruturais e na natureza das unidades sedimentares distinguiu-se dois compartimentos extensionais (Figura 5), denominados de ocidental e oriental, separados pela Zona de Transferência Boa Vista Caracarái (COSTA et al., 1991).

Figura 5 - Unidades Litológicas e feições principais do Proterozóico Médio/ Superior. As setas indicam as orientações dos eixos de distensão nos dois compartimentos, separados pela Zona de Transferência Boa vista Caracarái.



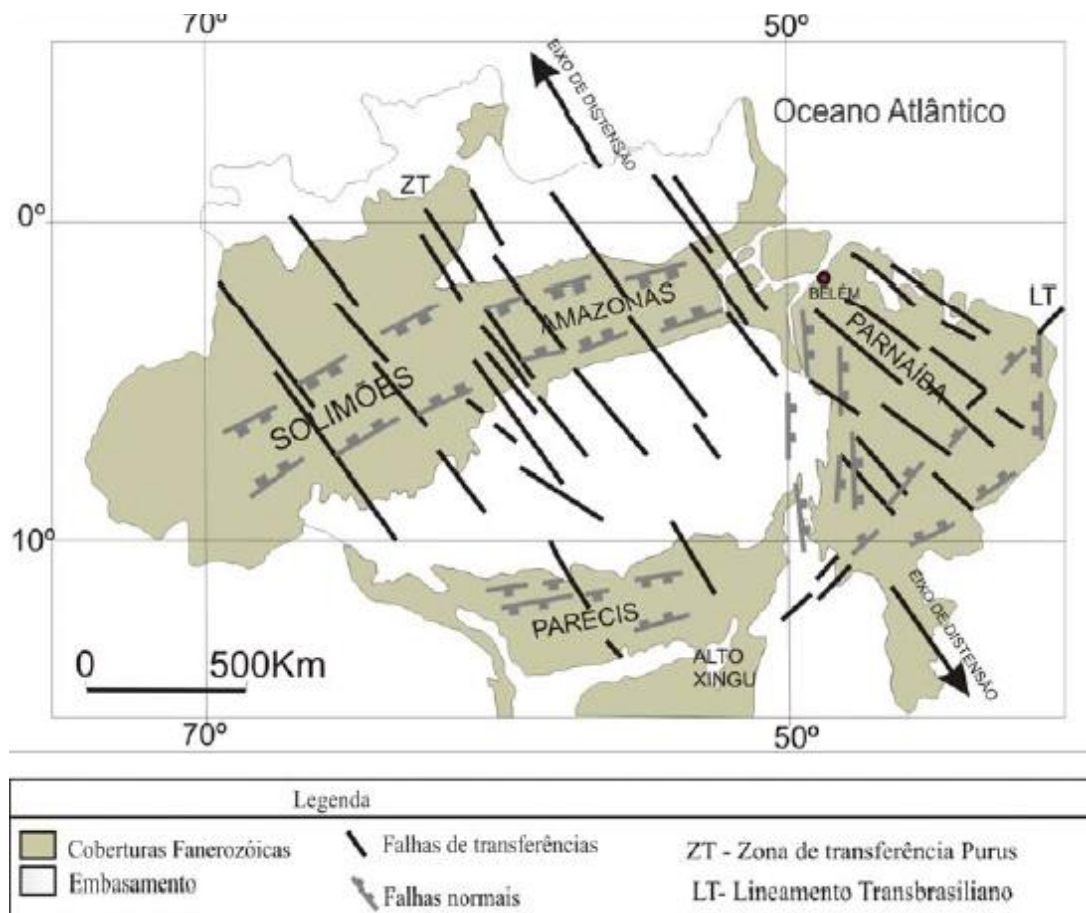
Fonte: Costa et al. (1991).

O Compartimento Ocidental abrange a região de Roraima e o vale do Alto Rio Negro, no Amazonas e compreende, segundo os autores, vários feixes de falhas normais de direção E-W, inclinadas preferencialmente para norte e falhas de transferências na direção N-S. O eixo extensional Mesoproterozóico teria atuado na direção N-S. O Compartimento Oriental corresponde a toda a região posicionada a sudeste desta Zona de Transferência, os feixes de falhas normais teriam direções NW- SE e WNW – ESSE e mergulhos para NE, compondo bacias do tipo hemigrabens. Falhas normais inclinadas para SW definiram, localmente, estruturas simétricas, como Gráben do Cachimbo; as falhas de transferência teriam direção nordeste. O eixo extensional teria atuado na direção NE-SW (COSTA et al., 1991).

- **Quadro Fanerozóico:**

A paleotectônica fanerozóica aborda a evolução que se estende do Paleozóico ao início do Cenozóico. No Paleozóico, a região Amazônica foi afetada por outro evento extensional, resultando no desenvolvimento das bacias do Solimões e Amazonas (Figura 6).

Figura 6 – Quadro tectônico da região Amazônica durante o Paleozóico.



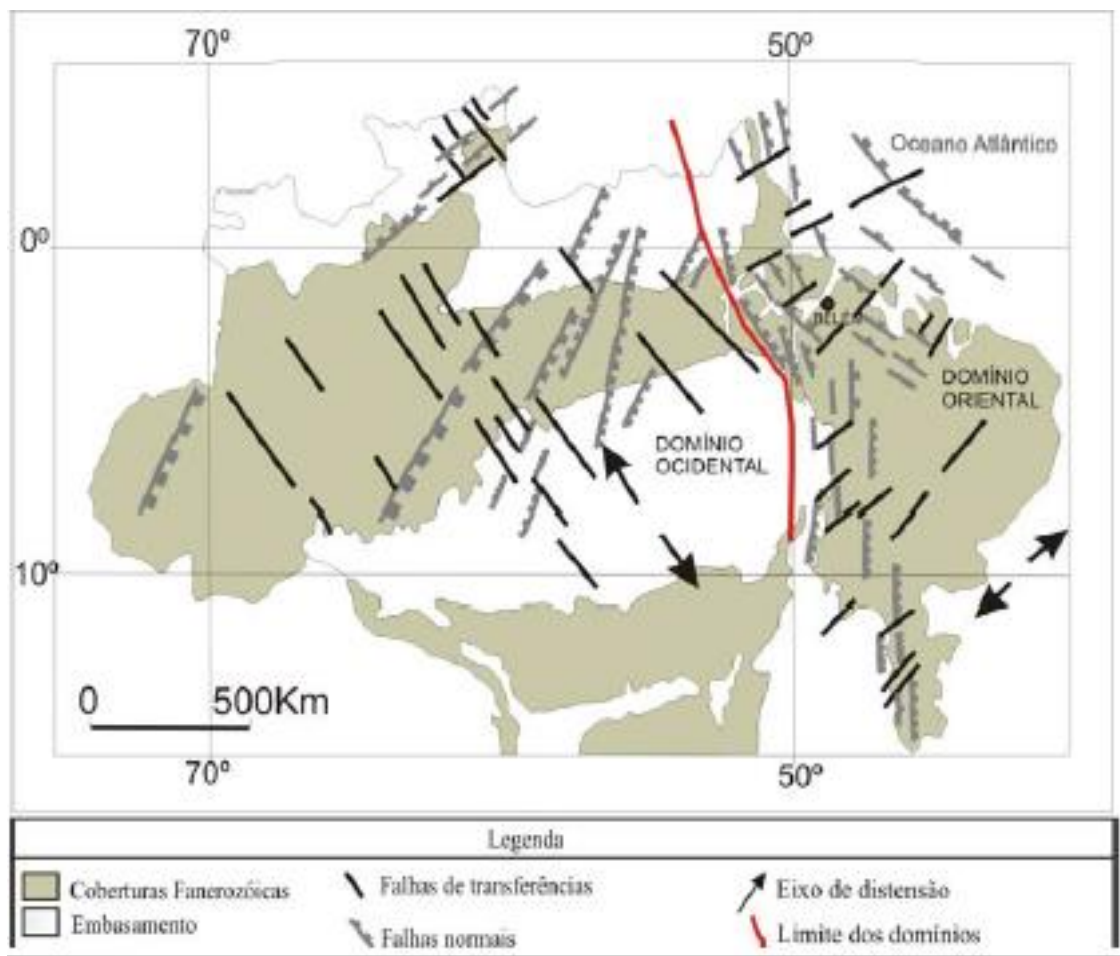
Fonte: Costa e Angélica (1997).

A tectônica extensional que permitiu o desenvolvimento dessas bacias envolveu um eixo de distensão segundo NW-SE, gerando duas primeiras falhas normais NE-SW. As falhas de transferências são exemplificadas pelo arco do Purus, que têm orientação NW-SE (HASUI, 1996). As orientações de estruturas do embasamento se reproduzem bem nas falhas dessas bacias, atestando a influência de zonas de fraqueza no seu desenvolvimento.

No Mesozóico ocorre o terceiro evento, que se relaciona com a abertura do Atlântico e a separação dos continentes sul-americano e africano. Foram reativadas as áreas das bacias do Solimões, Amazonas e Parnaíba e, conseqüentemente, houve o desenvolvimento das Bacias de Tacutu no interior, e as do Marajó, Bragança-Vizeu, São Luís e as outras na zona costeira.

De acordo com Costa e Hasui (1991), durante o Mesozóico, a região Amazônica desenvolveu compartimentos cinemáticos distintos (Figura 7):

Figura 7 - Quadro tectônico da região Amazônica durante o Mesozóico. .



Fonte: Costa e Angélica (1997).

No compartimento ocidental estão instaladas as depressões ao longo das áreas das bacias do Solimões, Amazonas e Parecis-Alto Xingu e a bacia do Tacutu, desenvolvidas a partir de um eixo extensional de direção NW-SE. No compartimento oriental encontram-se as bacias do Marajó, Bragança-Vizeu, São Luís e a Bacia do Parnaíba, controladas por um eixo extensional em torno de NE-SW.

2.2.2. Neotectonismo

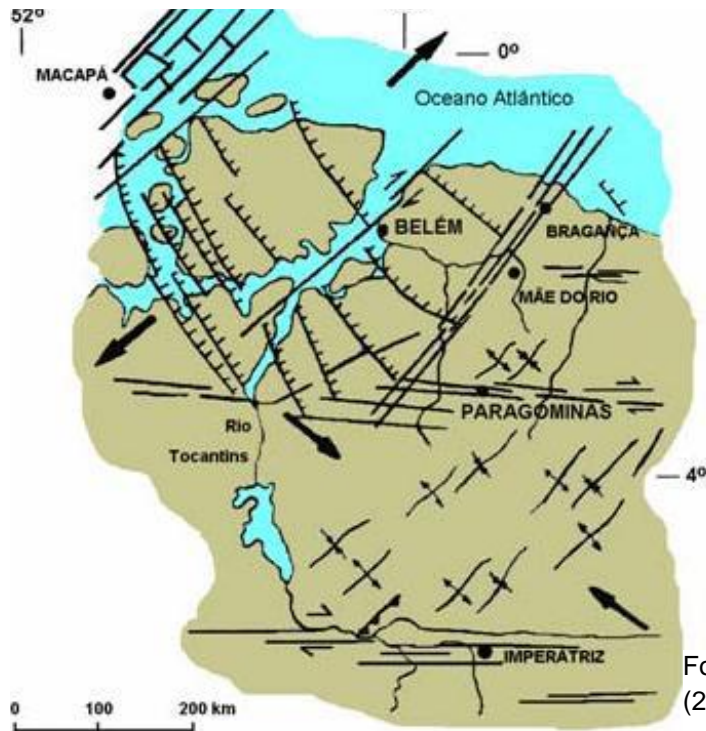
Hasui (1990) apud Bandeira (2008) considera como eventos neotectônicos a inclusão de todos os processos que culminaram com a abertura do Atlântico até a situação atual.

Portanto, segundo Hasui op cit, a neotectônica na placa Sul Americana é caracterizada por uma movimentação de leste para oeste, resultando na implantação de um regime tectônico intraplaca com um binário dextral E-W, imposto pela rotação, com componentes transpressivo NW-SE e transtensivo NE-SW.

A porção leste da placa Sul Americana (litoral brasileiro) está sofrendo rifteamento. Já a porção oeste da placa Sul Americana sofre cavalgamento devido ao limite convergente entre a placa Sul Americana e a placa de Nasca. Em termos intraplaca no Brasil, o stress desviatório dominante gera falhas inversas na direção NE-SW e falhas normais na direção NW-SE (BANDEIRA, 2008).

A neotectônica intraplaca no Brasil está caracterizada por um regime transcorrente que sucede ao regime extensional Mesozóico. Para a região Amazônica, mais especificamente no nordeste do Pará onde se insere a área de estudo, Costa et al. (1996) definem que o quadro neotectônico no Terciário é formado por um compartimento transpressivo e outro transtensivo (Figura 8).

Figura 8 - Quadro estrutural do Terciário Superior (Mioceno / Plioceno).



Fonte: Costa et al. (1996) apud Bandeira (2000).

Segundo Costa et al. op cit, o compartimento transpressivo ocupa a área entre as cidades de Marabá e Paragominas, estendendo-se para a região oeste do Maranhão e tem forma de romboedro. Seus feixes de falhas transcorrentes E-W dextrais afetam as seqüências sedimentares da Formação Ipixuna, atribuídos ao Terciário Inferior. A porção interna deste compartimento é caracterizada por dobras de dimensões métricas a quilométricas e com feixes orientados na direção N40°-70°E, que se manifestam no relevo constituindo serras alinhadas, com altitudes de até 500m.

O compartimento transtensivo é composto pela ilha do Marajó e o extremo nordeste do Pará, entre o município de Ipixuna e o litoral e se refere à bacia que alojou os sedimentos da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras. As falhas mestras normais que controlam a instalação das sequências sedimentares orientam-se principalmente na direção NW-SE e mergulham para NE.

Segundo Costa et al. (1996) apud Bandeira (2008), essa bacia é uma estrutura de afastamento cujo limite sul corresponde ao feixe de falhas transcorrentes NE-SW que passa pela região de Paragominas, e a oeste de Belém e da ilha do Marajó (Figura 9) e que controlam a distribuição das sequências sedimentares na direção NW-SE.

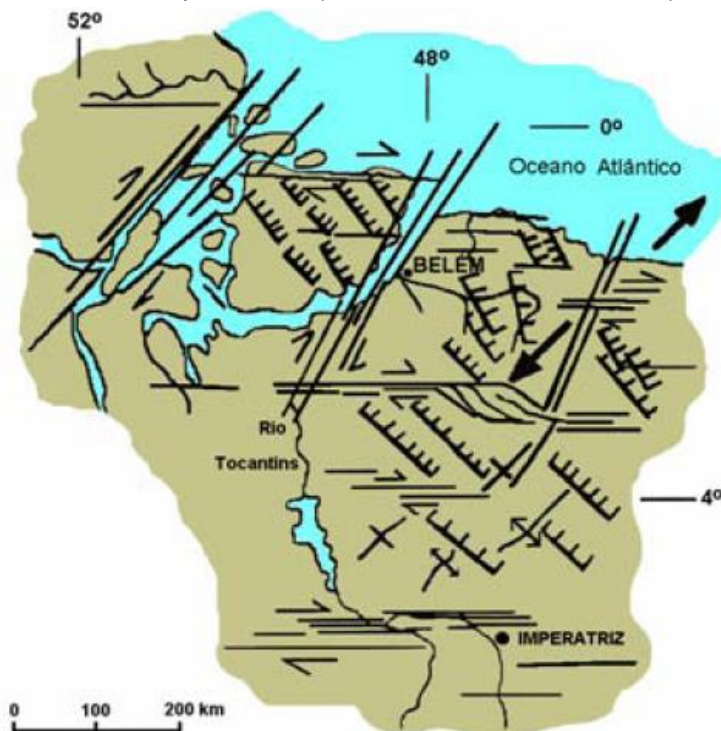
Figura 9 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica.



Fonte: Costa et al. (1996) apud Bandeira (2008).

No Quaternário (Figura 10), o nordeste do Pará é caracterizado por desenvolver falhas normais com direção NW-SE, correspondente a transtensão vinculada à atuação de sistemas transcorrentes dextrais (COSTA et al., 1996 apud BANDEIRA, 2008).

Figura 10 - Quadro Estrutural do quaternário (Pleistoceno Médio - Plioceno).



Fonte: Costa et al. (1996) apud Cavalcante (2000).

2.3. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

As unidades litoestratigráficas aflorantes na área da Bacia do Rio Tauá pertencem ao Cenozóico. Baseado na designação litoeestratigráfica proposta por Oliveira e Silva (2011) são encontradas na área de estudo a Unidade Sedimento Pós-Barreiras, Unidade cobertura detrítico-laterítica e o Grupo Barreiras (figura 11).

Figura 11 - Litoestratigrafia proposta por Oliveira e Silva (2011).



Fonte: Do autor.

2.3.1. Grupo Barreiras

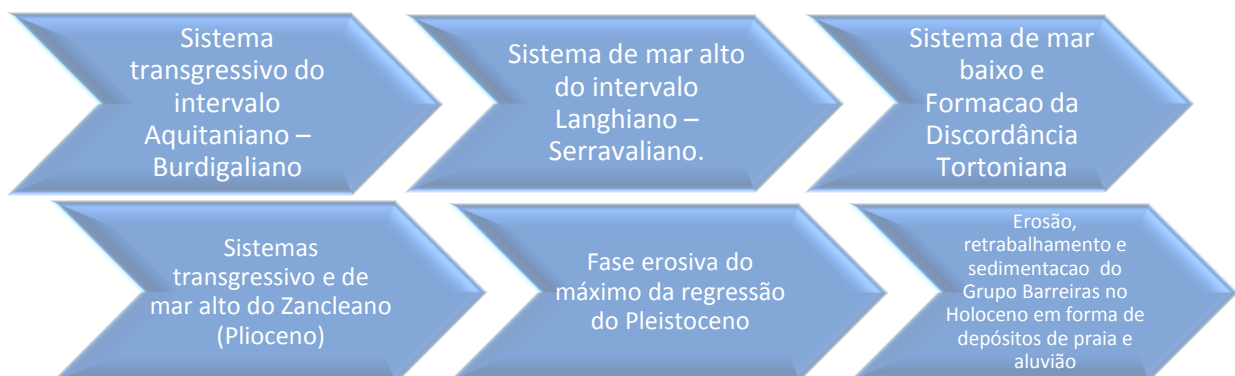
De acordo com Arai (2006), o Grupo Barreiras é uma unidade que ocorre ao longo da faixa costeira do Brasil, desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro, caracterizando-se pela ocorrência quase contínua e pela regularidade geomorfológica. Sua origem tem sido motivo de muitas discussões pelo fato da unidade ter sido, tradicionalmente, considerada como de origem continental. No entanto, trabalhos recentes vêm mostrando evidências de influência marinha, tanto

de natureza paleontológica quanto sedimentológica (presença de fósseis marinhos e restos de vegetação costeira em seus estratos).

A deposição do Grupo Barreiras ocorreu durante o período Neógeno. Um dos horizontes de correlação inter-regional é a discordância Tortoniana (SHIMABUKURO; ARAI, 2000 apud ARAI, 2006), também conhecida como “marco cinza” (VIANA; CASTRO; KOWSMANN, 1990 apud ARAI, 2006), que foi produzida por um evento erosivo ocorrido no Tortoniano (11,6 – 7,2 Ma). O evento foi ocasionado pela maior queda eustática do Neógeno, cuja causa está na formação da calota glacial da Antártida há cerca de 10 milhões de anos.

De acordo com Arai (2006), antes do evento erosivo do Tortoniano, o cenário da margem continental brasileira era dominado pela grande transgressão do intervalo Aquitaniano-Serravaliano (Eomioceno-Mesomioceno) que foi responsável pela acumulação de uma grande quantidade de sedimentos nas áreas hoje emersas do continente. Esses depósitos foram sedimentados em áreas extensas, sobretudo, na faixa costeira que vai da Foz do Amazonas ao estado do Rio de Janeiro, onde a ausência de uma topografia mais elevada teria propiciado o avanço do onlap continente adentro. Devido à erosão sofrida no Tortoniano, sua ocorrência atual é restrita. No Zancleano (Plioceno), teria ocorrido nova transgressão e muitas das áreas erodidas receberam uma nova cobertura – Barreiras Superior (figura 12).

Figura 12 - Esquema das etapas do processo de deposição do Grupo Barreiras no intervalo Aquitaniano-Zancleano (baseado em ARAI, 2006) e posterior deposição da Unidade cobertura detrítico-laterítica e Unidade Sedimentos Pós-Barreiras (Unidades litoestratigráfica propostas por OLIVEIRA; SILVA, 2011).



Fonte: Do autor.

Oliveira e Silva (2011) descrevem oito fácies sedimentares do Grupo Barreiras encontrados na Folha Belém SA. 22-X-D-III, nordeste do estado do Pará:

Fácies pelítica laminada: Definida por pelitos finamente laminados e dispostos em camadas por vezes lateralmente contínuas, ocorrendo na forma de pacotes espessos. As cores variam de cinza escuro a negro quando não intemperizados, cores vermelha, amarelada, cinza claro e branco quando intemperizados. Pode conter fósseis vegetais de folhas e galhos carbonizados, apresentando por vezes troncos e raízes goethizados e ferruginizados e Icnofósseis Thalassinoides.

Fácies pelítica maciça: Composta de pelitos maciços que apresentam originalmente coloração cinza escuro e quando intemperizada mostram cores variando de vermelha, amarelada a branca. Estes pelitos encontram-se intemperizados e semi-endurecido devido a impregnação de óxi-hidróxido de ferro.

Fácies areno-argilosa com estruturas wavy e lenticular/linsen: Constituída por arenitos finos, siltitos e argilitos dispostos em lâminas suavemente onduladas e/ou lentes, definindo estruturas wavy e linsen. Esta fácies denominada de "Fácies intercalação areia-argila com estratificação de maré" por Souza Júnior et al. (1992) foi, inicialmente, observada na localidade Apeú, município de Castanhal. Apresenta evidências de sedimentação marinha costeira tais como ritmitos de maré, conglomerados de canal de maré barras arenosas, icnofácies Skolithos e estruturas do tipo wavy e lenticular.

Fácies arenosa com estratificação plano-paralela: Constituída por arenitos finos a médios, podendo ocorrer pequenos seixos e grânulos de quartzo dispersos, apresentando estratificação plano-paralela de baixo ângulo e sub-horizontal (Pedreira de Itaqui).

Fácies arenosa com estratificação cruzada acanalada: Arenitos ferruginosos de granulação fina a média, coloração cinza escuro, apresentando estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte, encontrada nas pedreiras Boa Jesus e Pupunhateua, localizadas na porção norte e sudeste, respectivamente, da Folha Belém.

Fácies arenosa com estratificação cruzada sigmoidal: Arenitos de granulação fina a média, mal selecionados e com cimentação por óxido de ferro, o que lhe confere uma coloração cinza escuro a violácea. Observa-se nesta fácies a presença de lobos com estratificação sigmoidal, encontrada na Pedreira de Bom Jesus, norte da Folha Belém.

Fácies arenosa grossa a conglomerática: Arenitos ferruginosos de granulação grossa a conglomerática, contendo seixos de quartzo, e apresentando ocasionalmente lentes ou lâminas de pelitos avermelhados e também clastos pelíticos angulosos a subangulosos, de coloração avermelhada ou amarelada.

Fácies conglomerática com clastos de pelito: Matriz arenosa grossa, ferruginosa, que sustenta clastos de pelitos angulosos a semi-arredondados, amarelados, com tamanhos variados, podendo atingir até 5 centímetros.

2.3.2. Unidade Cobertura Detrítico-Laterítica

Lateritos são produtos geológicos resultantes de processos de lateritização, formados pelo intemperismo tropical e paleotropical a partir de qualquer tipo de rocha exposta nas superfícies dos terrenos ou próximos destas, sendo identificáveis através de perfis lateríticos denominados coletivamente de Formações Lateríticas (COSTA, 2008 apud OLIVEIRA; SILVA, 2011).

Baseado na classificação de Costa (1991), os lateritos identificados na Folha Belém são do tipo imaturos posto que formam o relevo jovem da região, apresentando características típicas de baixo grau de evolução, onde a presença do horizonte ferruginoso é clássica.

2.3.3. Unidade Sedimentos Pós-Barreiras

A unidade sedimentos pós-barreiras consiste em sedimentos amarelados inconsolidados, formados predominantemente de grãos de quartzo geralmente arredondados e de granulação muito fina, imediatamente sobrepostos às camadas do Grupo Barreiras e sem evidências de acamamento, sendo, pelo menos em parte, oriundos dos sedimentos Barreiras retrabalhados (SILVA; LOEWENSTEIN, 1968 apud OLIVEIRA; SILVA, 2011),

Segundo Oliveira e Silva (2011), a associação de sedimentos arenosos, amarelados com sedimentos predominantemente quartzosos e esbranquiçados que ocorrem no nordeste do estado do Pará, na forma de depósitos de areias brancas, conhecidos regionalmente como areais, foi feita por Sá (1969). Ele propôs uma relação genética baseada em processos de lixiviação dos sedimentos, ou seja, a remoção de frações siltico-argilosas impregnadas de óxi-hidróxidos de ferro que conferiam a coloração amarelada. Além disso, notou que os depósitos de areias brancas mostram passagem lateral gradativa para os sedimentos amarelados pós-Barreiras, devido à lixiviação incompleta.

Oliveira e Silva (2011) dividem a Unidade Sedimento Pós-Barreiras em Formação Superficial Pleistocênica que corresponde a depósitos fluviais de paleocanais e os depósitos eólicos/praias, que representam registros de ambientes sedimentares pleistocênicos; e em Formação Superficial Holocênica representada por depósitos sedimentares formados por processos desenvolvidos sobre o continente (aluviões, colúvios e elúvios) e/ou próximos à costa (Depósitos Eólicos/Praiais).

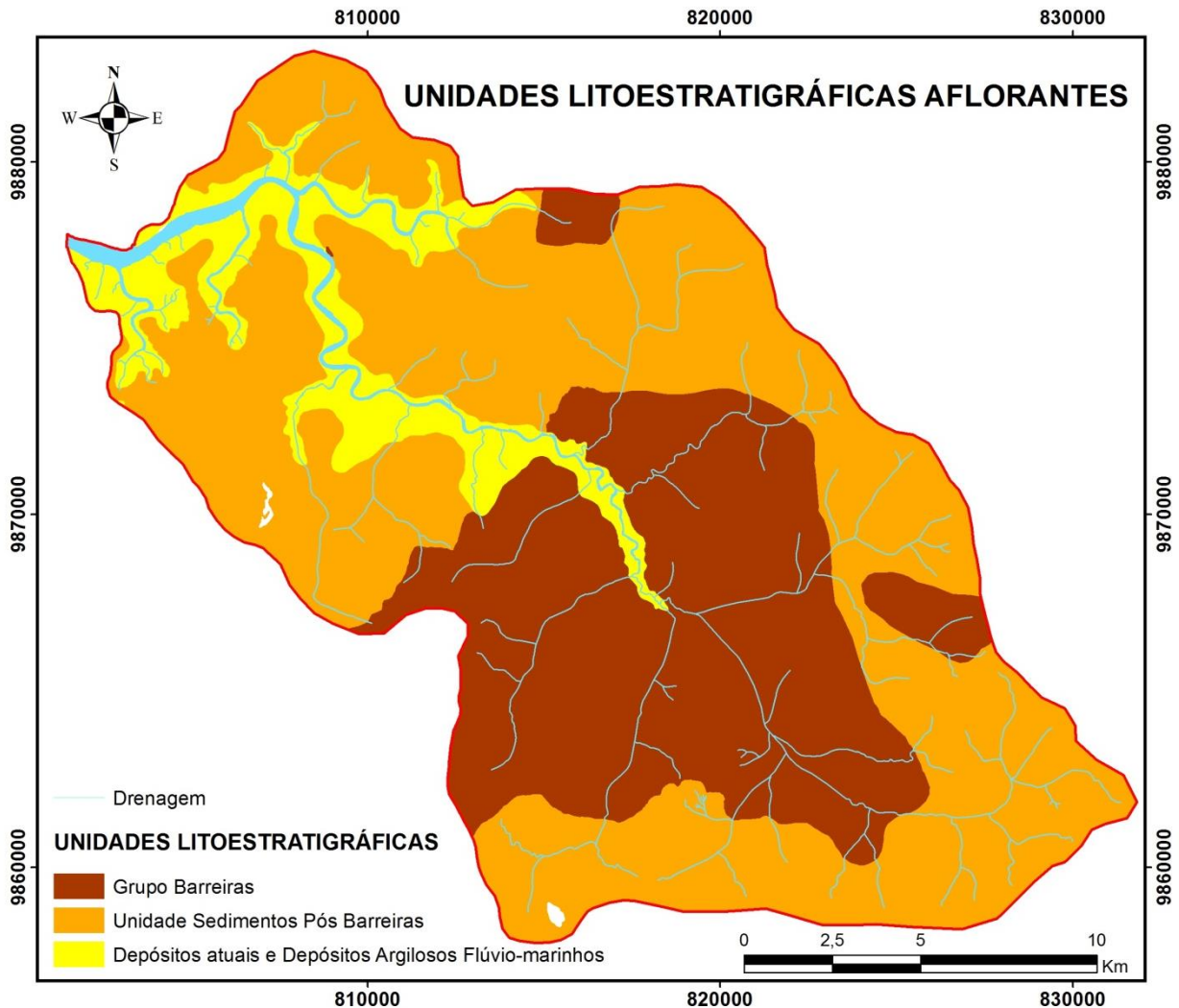
2.3.4. Depósitos Argilosos Flúvio-Marinhos

Esse tipo de depósito corresponde a sedimentos siliciclásticos e lamosos, depositados nas planícies de inundações dos rios e furos (canais) que constituem o sistema estuarino atual, e que sofrem influência de marés (OLIVEIRA; SILVA, 2011).

2.3.5. Depósitos Atuais

Os depósitos atuais estão associados à dinâmica recente de sedimentação e incluem os depósitos continentais do tipo coluvionares, aluvionares e pantanosos, depósitos praias, e depósitos de barras de pontal, laterais e centrais associadas à foz de grandes rios. Os sedimentos não se apresentam fixados por vegetação, sofrendo inclusive modificações pela dinâmica das águas. Grandes barras se formam atualmente na foz do rio Tauá. Estes sedimentos costumam apresentar apenas vegetação rasteira, e sofrem acresção vertical, facilitados pela redução de energia da corrente do rio. O processo deposicional está relacionado à erosão de terrenos arenosos do Grupo Barreiras e dos Sedimentos pós-Barreiras, como observado na Baía do Sol, em Mosqueiro (OLIVEIRA; SILVA, 2011).

Figura 13 - Mapa das unidades litoestratigráficas aflorantes na Bacia do Rio Tauá, baseado na litoestratigrafia proposta por Oliveira e Silva (2011).



Fonte: Do autor.

2.4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

2.4.1. Clima

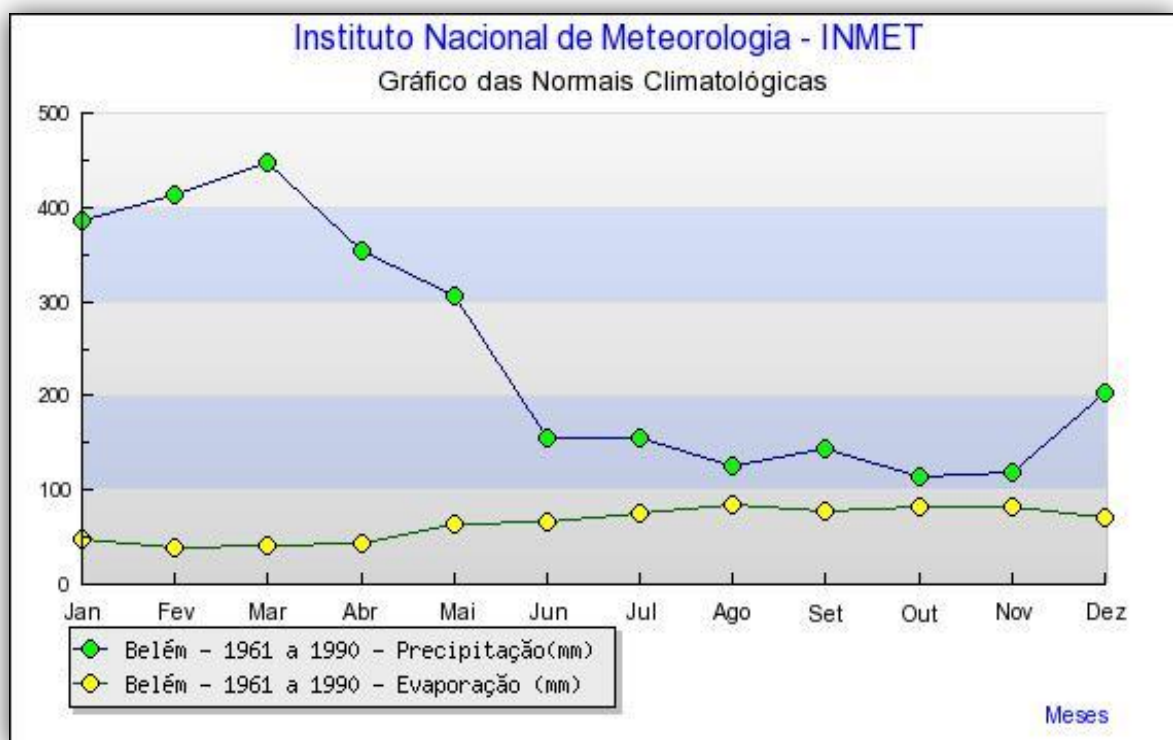
A Bacia Hidrográfica do Rio Tauá está situada na zona equatorial (latitude $1^{\circ} 27'18''S$ e longitude $48^{\circ}27'09''W$), dentro da região Amazônica e apresenta características de clima quente e úmido. Com relação ao balanço hídrico da região nordeste do estado Pará, pode-se considerar e utilizar os dados da cidade de Belém.

De acordo com Figueiroa e Nobre (1990) apud Garcês, Mota e Silva (2010), a cidade de Belém pertence a uma região com um dos maiores índices pluviométricos

da Amazônia. Isso ocorre devido à existência de condições locais de movimentos convectivos; a influência de sistemas de mesoescala (como Linhas de Instabilidade), que provocam chuvas durante a época menos chuvosa na região; e sistemas de grande escala (como a Zona de Convergência Intertropical), principal responsável pela precipitação no período chuvoso na região.

De acordo com dados pluviométricos coletados pelo INMET referentes à cidade de Belém durante período de 1961 a 1990 (figura 14) pode-se observar que durante o período chuvoso (Dezembro a Maio), os valores mais elevados de precipitação ocorreram no mês de Março, com taxa de precipitação de aproximadamente 450 mm. Isso pode ser explicado devido à taxa de evaporação ser muito baixa durante esse mês. As menores precipitações ocorreram nos meses de Outubro e Novembro com valores próximos a 100 mm, uma vez que nesse período a taxa de evaporação é elevada.

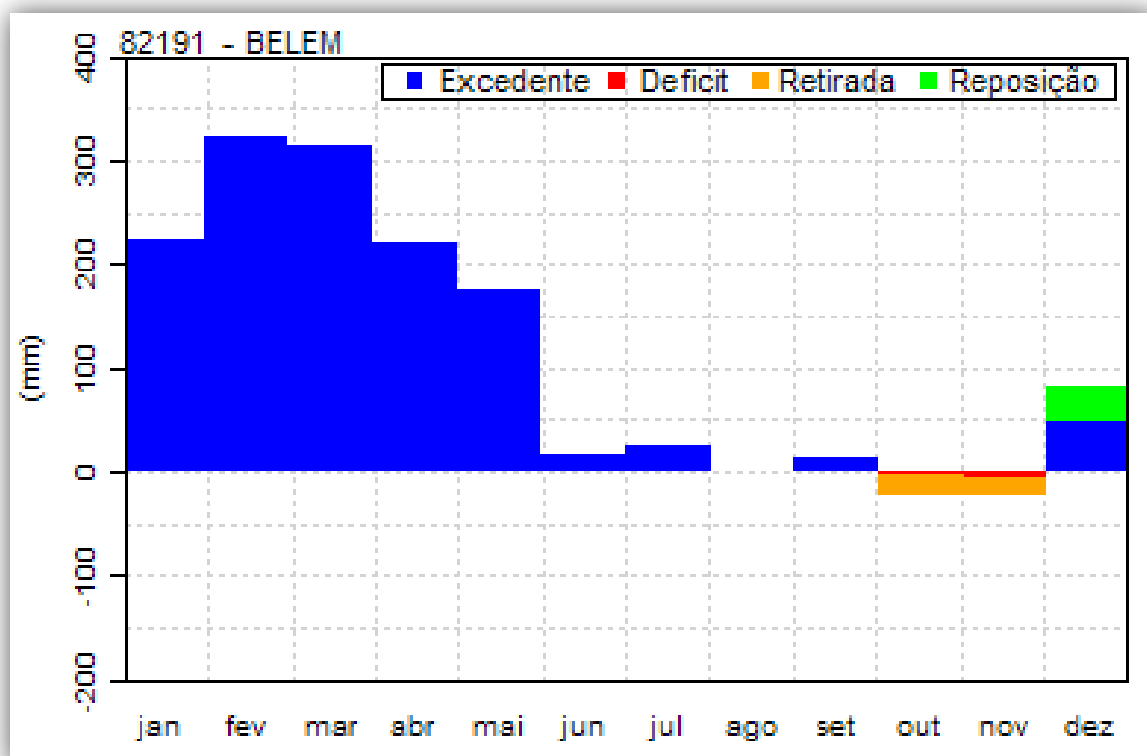
Figura 14 - Gráfico das normas climatológicas de Belém, referente ao período entre os anos de 1961 a 1990.



Fonte: INMET (2013).

Os excedentes hídricos ocorrem nos meses de janeiro a Maio, que correspondem ao período chuvoso. Já as deficiências hídricas ocorrem nos meses de julho a novembro, meses menos chuvosos. O excedente, ao contrário da deficiência, apresenta valores superiores de janeiro a maio, quando ocorrem as maiores precipitações na região, diminuindo até o mês de setembro. Os meses de outubro e novembro apresentam excedência zero e a partir de dezembro volta a aumentar a quantidade de água no solo (figura 15).

Figura 15 - Balanço hídrico climatológico de Belém no período de 1961 a 1990



Fonte: INMET (2013).

3. SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

Os sistemas hidrogeológicos da região nordeste do estado do Pará pertencem às seguintes unidades estratigráficas: Grupo Pirabas, Grupo Barreiras Inferior, Grupo Barreiras Superior e Unidades Quaternárias (Pós-Barreiras).

O sistema hidrogeológico da região de Belém e adjacências é composto por cinco conjuntos de aquíferos principais (tabela 1):

Aluviões: Constituem um domínio permoporoso que, apesar de suas boas capacidades armazenadoras, não possuem expressão significativa na área de Belém, em função de suas espessuras inferiores a 10m. A recarga desses aquíferos ocorre diretamente através de precipitação pluviométrica.

Pós-Barreiras: É constituída por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 metros sendo, por vezes, recoberta por alúvios e colúvios.

Barreiras: Unidade aquífera mais conhecida e explotada no nordeste paraense, incluindo as áreas de Belém, Ananindeua e a Bacia Hidrográfica do rio Tauá. Corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, cujas expressões litológicas são bastante heterogêneas. Estão aí incluídos desde argilitos até arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos;

Pirabas Superior: Unidade composta por sedimentos marinhos, fossilíferos, da Formação Pirabas. Há camadas de argilas carbonáticas de cor cinza-esverdeada e leitões de calcário duro, de coloração cinza esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito carbonático, siltitos e arenitos;

Pirabas Inferior: Unidade composta, predominantemente, de camadas repetitivas de arenitos de cor cinza-esbranquiçada, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos.

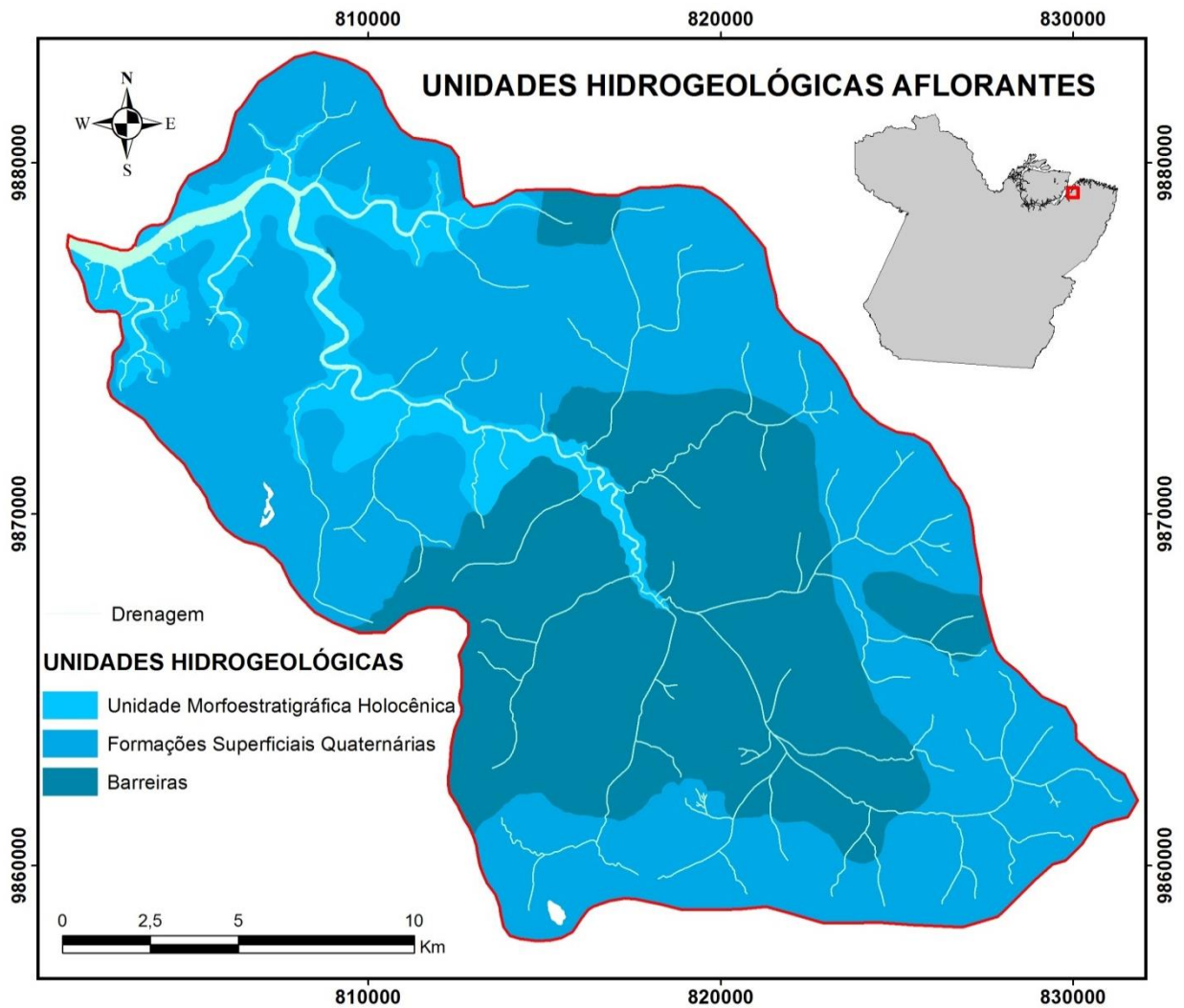
Tabela 1 – Características dos Sistemas Hidrogeológicos de Belém e adjacências.

Sistemas Hidrogeológicos	Aluviões	Pós-Barreiras	Barreiras	Pirabas Superior	Pirabas Inferior
<i>Vazões (m³/h)</i>	10	5	10-70	100-200	Até 300
<i>Profundidade</i>	<10 m	Até 25 m	25-90 m	90-180 m	180-290 m
<i>Vulnerabilidade</i>	Altíssima	Altíssima	Baixa	Baixa	Baixa
<i>Aquífero</i>	Livre	Livre	Semi-livre a confinado	Confinado	Confinado

Fonte: Adaptado Matta (2002).

Em relação à Bacia do Rio Tauá, as unidades hidrogeológicas aflorantes correspondem ao Sistema hidrogeológico Barreiras (Grupo Barreiras), Pós-Barreiras (Formações superficiais Quaternárias) e Aluviões (Unidades Holocênicas).

Figura 16 - Mapa das unidades hidrogeológicas aflorantes na Bacia do Rio Tauá, baseado na litoestratigrafia proposta por Oliveira e Silva (2011). A Unidade Morfoestratigráfica Holocênica corresponde ao Sistema Hidrogeológico Aluviões; E as Formações Superficiais Quaternárias correspondem ao Sistema Hidrogeológico Pós-Barreiras.



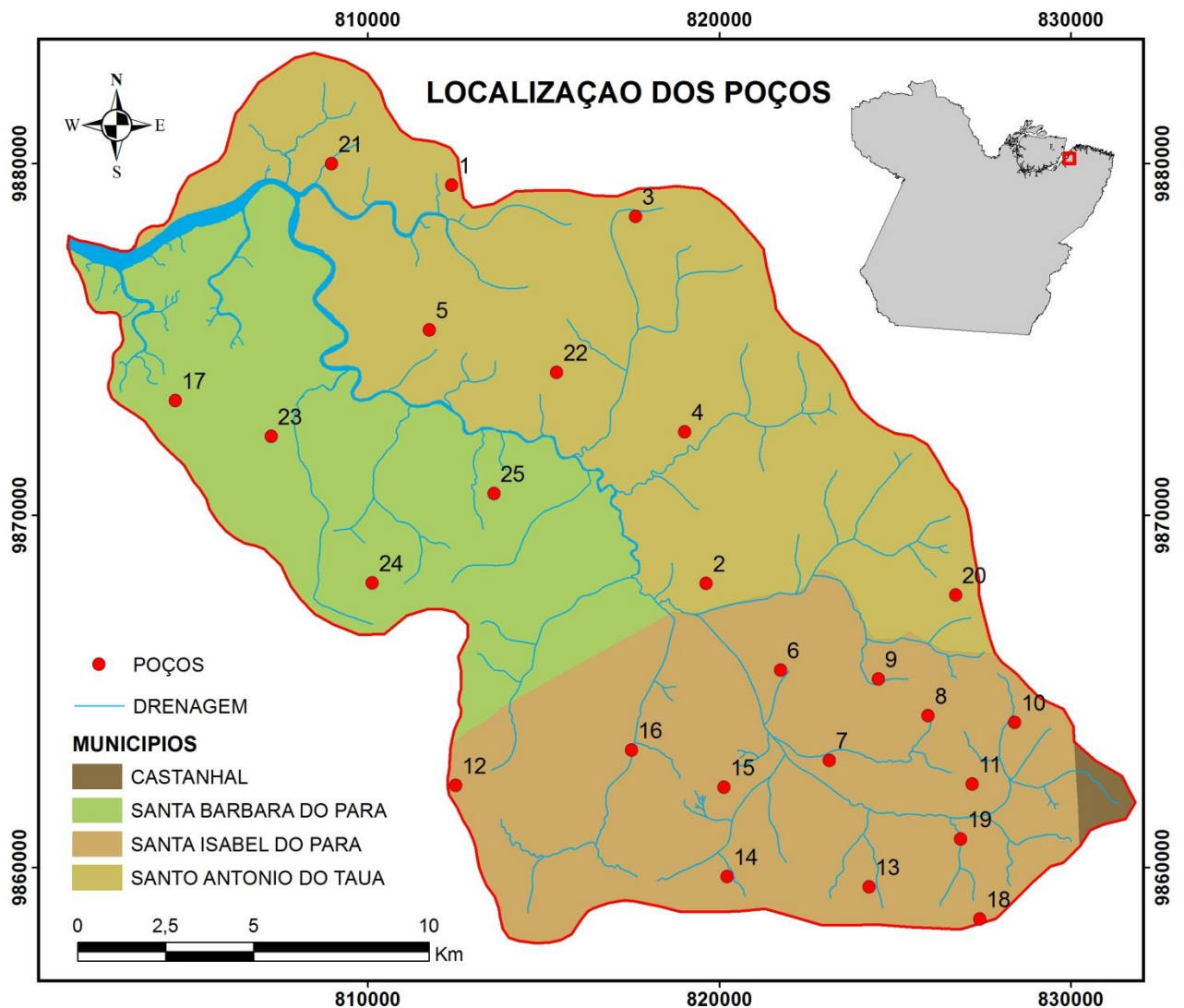
Fonte: Do autor.

4. QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

No Brasil, a qualidade das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento humano obedece aos padrões de potabilidade estabelecidos nos anexos I à XV da Portaria nº. 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

As coletas foram realizadas na área da bacia hidrográfica do Rio Tauá em dois períodos: no período de estiagem (novembro/ 2012) e no período chuvoso (fevereiro/ 2013). Foram selecionados 25 poços, tanto tubulares quanto escavados, com profundidades variando entre 6 a 25 metros (figura 17). Em cada coleta foram realizadas 3 amostragens em cada poço, em um total de 150 amostras divididas em duas campanhas.

Figura 17 - Localização dos poços amostrados.



Fonte: Do autor.

Os pontos de amostragem, bem como a identificação dos poços são apresentados na tabela 2 e os resultados das análises físico-químicas realizadas estão apresentados nas tabelas 3 - 5.

Tabela 2 - Poços amostrados na Bacia Hidrográfica do Rio Tauá. N.E. (m)₁ – Nível Estático referente ao período seco e N.E. (m)₂ – Nível Estático referente ao período chuvoso.

Ponto	Tipo	Latitude	Longitude	Cota (m)	N. E. (m)₁	N. E. (m)₂
1	Tubular	812298,69	9879326,98	11	6,76	5,36
2	Escavado	819587,57	9868076,75	16	9,80	7,69
3	Tubular	817686,12	9878429,07	20	-	6,45
4	Tubular	818953,76	9872302,19	27	12,61	11,98
5	Tubular	811717,69	9875207,18	28	10,37	10,06
6	Tubular	821647,47	9865594,30	37	11,39	11,05
7	Tubular	823126,38	9862900,59	21	6,28	5,54
8	Tubular	825820,09	9864168,22	52	-	-
9	Tubular	824552,46	9865277,40	41	-	2,82
10	Tubular	828355,36	9864009,76	42	-	4,88
11	Tubular	827193,36	9862372,41	41	9,86	9,27
12	Escavado	812457,14	9862425,42	38	7,49	7,18
13	Tubular	824129,92	9859467,42	41	5,72	5,26
14	Tubular	820115,75	9859625,87	35	4,48	4,13
15	Escavado	820062,93	9862161,13	32	9,31	9,17
16	Tubular	817474,85	9863270,31	22	3,40	2,71
17	Escavado	804428,81	9873252,91	25	8,76	6,89
18	Escavado	827351,82	9858675,15	55	11,00	9,58
19	Escavado	826876,45	9860735,05	33	5,48	4,27
20	Tubular	826612,36	9867601,39	45	9,25	6,82
21	Escavado	808865,52	9879855,16	16	5,34	4,28
22	Escavado	815309,32	9874097,99	35	11,06	9,83
23	Escavado	807175,35	9872355,00	15	5,38	3,05
24	Escavado	810080,33	9868023,93	39	11,90	11,81
25	Escavado	813513,50	9870612,01	29	7,85	7,02

Fonte: Do autor.

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas em mg/L referentes ao período seco (Novembro/2012).

Poço	pH	CE	Cl	Nitrito	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	Amônio	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺	Dureza	N-	
													Amoniacal	HCO ₃ ⁻
1	3,84	80,5	4,88	0,00	0,29	3,51	2,18	0,00	1,59	0,57	4,66	5,23	0,00	40,67
2	5,23	39,5	4,91	0,02	0,64	1,34	2,06	0,14	1,01	0,43	3,15	3,58	0,11	24,40
3	4,14	25,7	2,64	0,00	0,60	0,80	0,52	0,00	0,45	0,25	0,27	0,52	1,74	15,45
4	5,61	140,0	16,99	0,12	1,32	0,15	16,47	2,19	3,04	1,09	5,31	6,41	1,31	23,59
5	4,08	26,8	3,39	0,02	0,63	0,53	1,32	0,33	0,56	0,35	0,76	1,10	0,00	16,27
6	4,76	109,3	5,66	0,00	0,30	1,75	2,67	0,00	5,25	1,20	10,91	12,11	0,00	16,27
7	4,09	24,3	1,97	0,00	0,59	1,15	0,20	0,00	0,73	0,34	0,75	1,09	0,13	7,32
8	4,22	39,1	5,00	0,00	0,43	1,07	4,14	0,15	0,44	0,28	0,21	0,49	0,12	13,83
9	3,86	30,1	2,17	0,00	0,73	2,36	0,31	0,11	0,24	0,27	0,30	0,57	0,08	7,32
10	3,85	29,9	2,47	0,00	0,68	1,28	0,25	0,06	0,39	0,25	0,44	0,69	0,07	21,15
11	4,07	24,1	2,05	0,00	0,77	0,51	0,39	0,15	0,24	0,25	0,21	0,46	0,00	19,52
12	4,62	29,3	2,41	0,01	0,47	1,03	0,24	0,00	0,37	0,49	2,94	3,43	0,00	9,76
13	5,21	111,9	9,12	0,00	0,78	3,17	7,77	0,00	4,51	0,77	5,72	6,49	0,00	13,83
14	5,70	24,2	1,79	0,00	0,47	0,97	0,63	0,00	0,95	0,49	2,25	2,74	0,13	4,88
15	4,68	35,9	1,72	0,00	0,65	0,58	0,23	0,16	0,77	0,54	1,33	1,87	0,00	11,39
16	4,78	47,5	3,45	0,00	0,26	1,41	1,05	0,00	1,37	1,11	1,50	2,60	0,00	7,32
17	4,33	40,7	2,76	0,00	0,09	2,10	2,46	0,05	0,74	0,54	1,23	1,77	0,00	12,20
18	4,32	38,8	2,92	0,02	0,89	0,38	0,85	0,24	0,98	0,38	0,49	0,87	0,25	8,13
19	5,17	29,4	0,51	0,00	0,60	0,78	0,26	0,00	0,23	0,13	4,96	5,09	0,06	9,76
20	4,45	33,4	3,20	0,04	0,84	0,54	0,62	0,05	0,83	0,52	2,12	2,64	0,14	18,71
21	4,94	20,3	2,08	0,02	0,32	0,60	0,29	0,60	0,82	0,34	1,08	1,41	0,40	15,45
22	3,97	40,9	3,86	0,00	0,39	0,92	1,37	0,10	0,80	0,40	1,36	1,76	0,11	5,69
23	5,59	81,7	9,77	0,17	1,01	1,02	0,90	0,07	0,94	0,56	9,63	10,19	0,03	30,91
24	4,21	33,4	4,09	0,03	0,27	0,43	0,22	0,05	0,60	0,27	2,42	2,69	0,56	13,83
25	4,41	36,2	4,38	0,03	0,18	0,58	0,09	0,71	0,73	0,46	2,19	2,65	0,41	4,07

Fonte: Do autor.

Tabela 4 - Resultados das análises físico-químicas em mg/L referentes ao período chuvoso (Fevereiro/2013).

Poço	pH	CE	Cl	Nitrito	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	Amônio	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺	Dureza	N- Amoniacal	HCO ₃ ⁻
1	4,22	119,1	219,21	0,00	114,49	29,15	127,72	0,69	27,69	4,47	43,32	47,80	0,57	27,65
2	5,20	45,3	52,05	0,00	2,15	10,43	33,77	0,00	13,03	2,61	30,80	33,41	0,00	13,01
3	5,06	20,7	19,05	0,00	18,13	7,54	4,43	2,58	4,80	0,38	9,57	9,94	2,13	5,69
4	5,86	136,2	182,99	0,21	6,74	2,26	173,18	18,12	28,51	9,62	50,39	60,00	14,92	67,51
5	5,40	19,6	26,37	0,00	21,31	8,19	11,35	0,00	7,23	0,79	9,39	10,18	0,00	15,45
6	5,41	149,7	76,73	0,22	476,98	31,30	51,08	0,00	73,69	14,30	140,40	154,70	0,00	24,40
7	5,29	20,1	17,53	0,00	15,91	9,37	3,72	7,21	7,03	0,57	5,14	5,71	5,94	13,01
8	5,05	44,0	67,61	0,00	29,55	19,57	43,55	0,99	10,82	1,13	15,48	16,61	0,82	13,82
9	4,90	22,3	20,22	0,00	16,60	9,75	7,85	0,00	4,09	0,51	7,06	7,57	0,00	11,38
10	4,66	23,3	24,54	0,00	10,80	12,29	6,49	0,00	5,42	0,66	8,55	9,21	0,00	14,64
11	4,75	21,0	20,04	0,00	22,95	8,08	9,27	0,83	4,47	0,72	9,89	10,61	0,68	14,64
12	5,36	44,4	26,57	0,00	39,94	17,12	33,93	0,00	7,53	0,33	15,79	16,13	0,00	21,96
13	4,03	69,1	4,69	0,00	16,61	1,29	2,69	0,00	2,47	0,60	2,91	3,51	0,00	13,01
14	4,96	16,7	0,79	0,00	1,46	0,79	0,05	0,00	0,61	0,04	0,98	1,03	0,00	13,82
15	4,54	45,4	2,26	0,00	12,62	1,50	1,15	0,04	1,23	0,67	2,88	3,56	0,03	5,69
16	4,93	45,5	3,86	0,00	12,38	1,89	1,94	0,18	1,82	1,05	3,27	4,32	0,15	10,57
17	4,37	49,5	4,87	0,00	9,82	1,09	2,17	0,00	1,19	0,71	2,44	3,15	0,00	13,01
18	4,34	37,0	3,09	0,00	6,55	0,61	1,45	0,00	1,20	0,28	1,39	1,68	0,00	14,64
19	5,64	44,0	0,29	0,00	0,44	0,85	0,85	0,00	0,33	0,01	7,90	7,92	0,00	36,60
20	5,07	29,8	3,15	0,00	4,11	0,80	1,18	0,00	0,58	0,32	0,68	1,00	0,00	13,01
21	5,14	20,2	1,40	0,00	4,14	0,74	0,57	0,00	0,81	0,15	1,41	1,56	0,00	12,20
22	4,39	41,4	3,63	0,00	7,14	1,20	1,03	0,00	1,17	0,29	2,10	2,40	0,00	13,01
23	4,91	27,7	1,75	0,00	5,65	0,49	0,14	0,00	0,92	0,24	2,42	2,65	0,00	13,01
24	3,82	31,7	4,48	0,00	2,35	0,67	0,49	0,09	0,92	0,17	0,95	1,12	0,08	11,38
25	5,24	41,3	4,42	0,00	1,58	1,11	0,82	1,75	1,98	0,30	3,05	3,35	1,44	24,40

Fonte: Do autor.

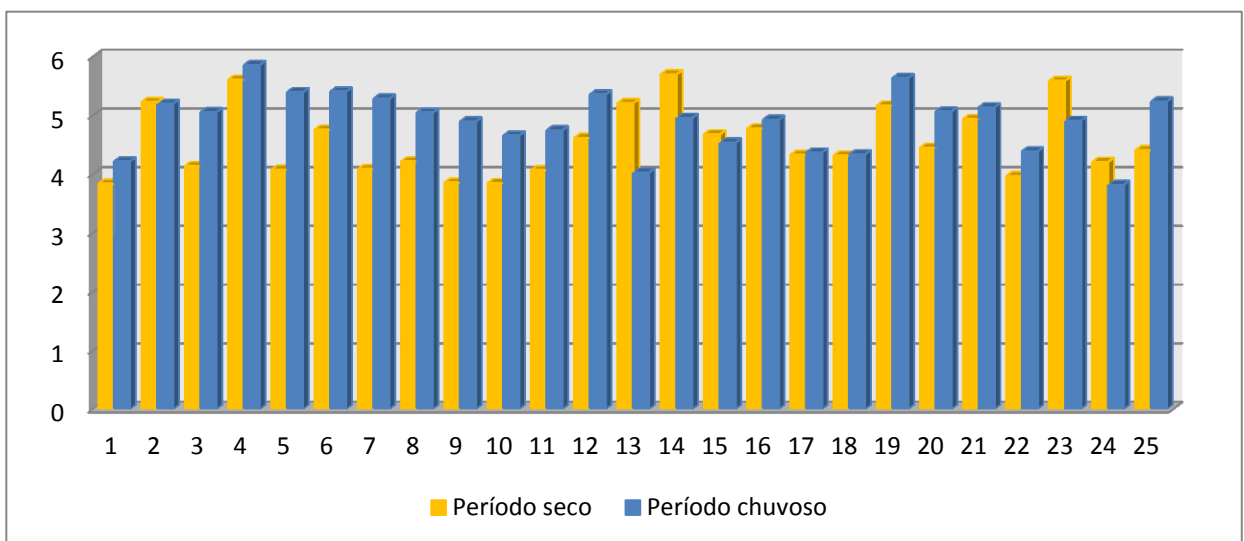
4.1. pH

O Potencial Hidrogeniônico (pH) consiste é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. As substâncias em geral, podem ser caracterizadas pelo seu valor de pH , o qual é determinado pela concentração de íons de Hidrogênio (H^+). Logo, quanto menor o pH de uma substância, maior a concentração de íons H^+ e menor a concentração de íons OH^- .

O pH nas amostras referentes ao período de estiagem varia de 3,84 até 5,7 (figura 18) e no período chuvoso varia de 3,82 a 5,86. O pH em todas as amostras é ácido ($< 7,0$) nos dois períodos de amostragem, e segundo Matta (2002) essa acidez é típica da região amazônica, posto que em função da decomposição da matéria orgânica há a formação de ácidos orgânicos os quais apresentam grupos carboxílicos ($COOH$), que se dissociam liberando H^+ , diminuindo, assim, o pH das águas. O Ministério da Saúde recomenda que o pH de águas para consumo humano estejam na faixa de 6,0 a 9,5. Sendo assim, as águas da bacia Hidrográfica do Rio Tauá são consideradas ácidas um que apresentam valor de pH abaixo de 7.

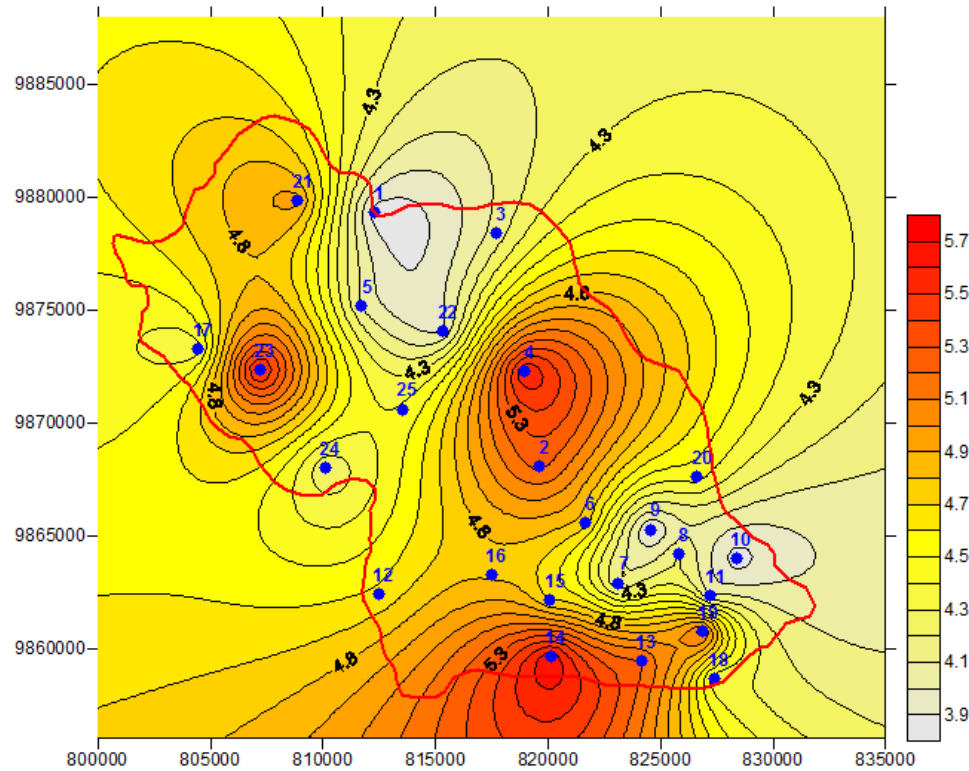
A figura 18 mostra a variação de pH dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá. Nota-se que os pontos 4, 14 e 23 apresentam maiores valores de pH se comparado aos outros pontos.

Figura 18 - Diagrama de valores de pH das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013) em azul.



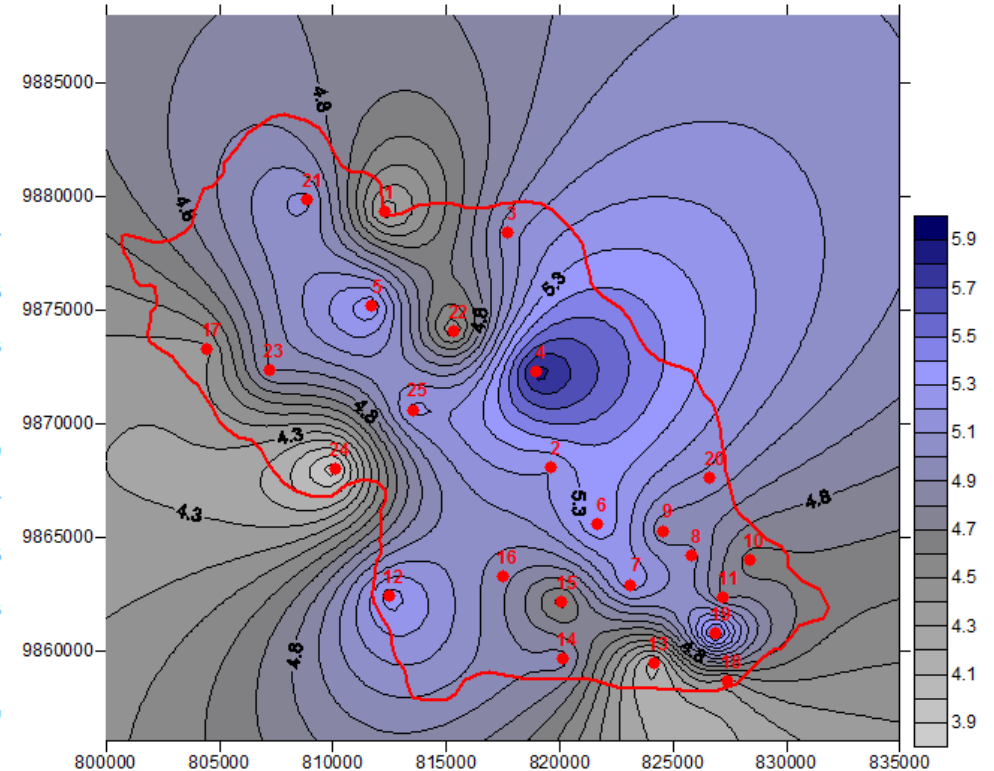
Fonte: Do autor.

Figura 19 - Distribuição dos valores de pH na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 19- Distribuição dos valores de pH na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (Fevereiro/2013).



Fonte: Do autor.

As figuras 19 e 20 mostram a variação dos valores de pH na área estudada. Nota-se que os valores mais elevados de pH no período seco são referentes aos poços 4, 14 e 23. Enquanto que no período chuvoso, o pH das águas teve um certo aumento se comparado ao período seco, diante desse fato, pode-se observar a presença de mais picos de valores.

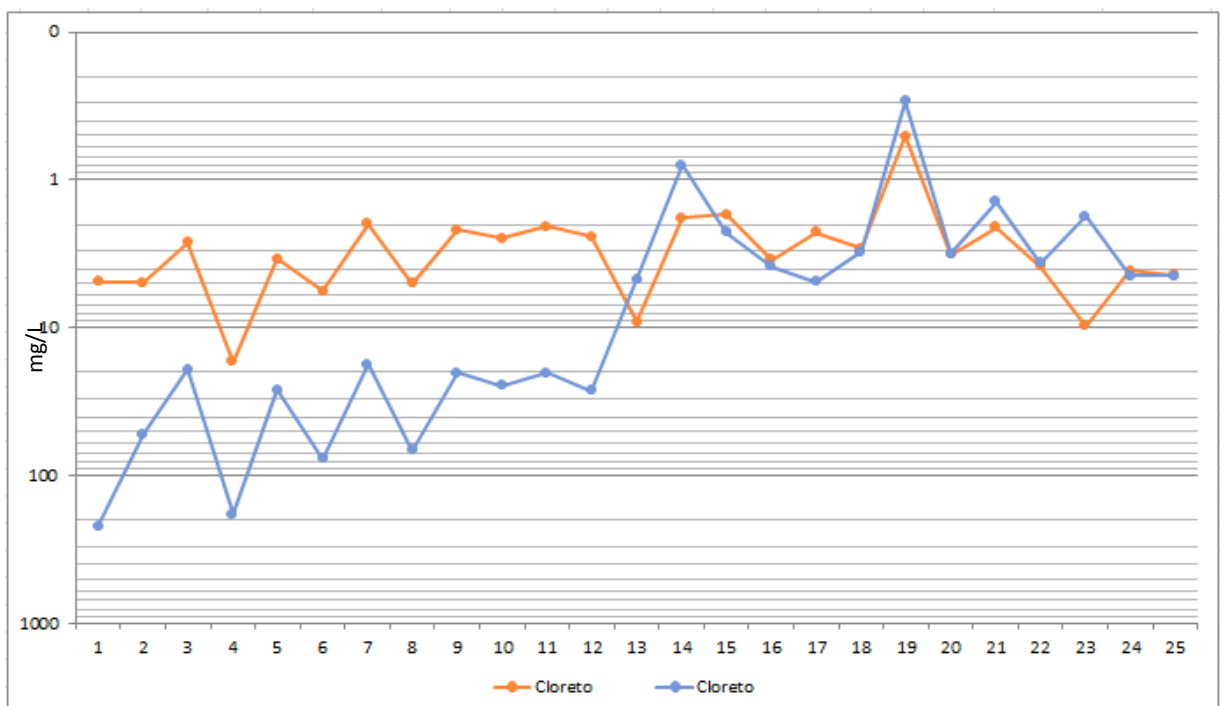
4.2. CLORETO

A presença de cloreto nas águas subterrâneas ocorre devido à percolação de água através de solos e rochas. Já em águas superficiais, descargas de esgotos sanitários são a principal fonte de cloreto.

O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto em caso de deficiência no metabolismo (insuficiência cardíaca congestiva). A Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo de 250 mg/L de cloreto na água potável como padrão de aceitação de consumo. De acordo com Matta (2002), altos teores de cloreto em águas subterrâneas são resultantes de ação antrópica como esgotos sanitários e resíduos industriais, uma vez que o contato que a água tem com as rochas não costuma influenciar nesse parâmetro.

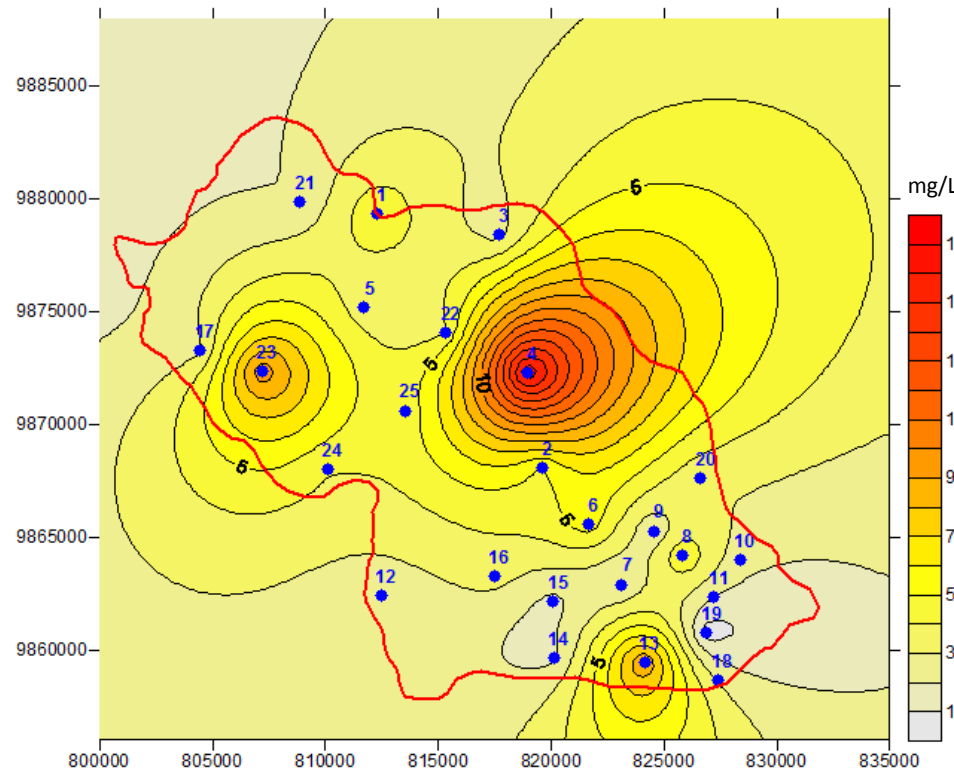
No período seco (novembro/2012), os poços 4, 13 e 23 apresentam maiores concentrações de cloreto, no entanto, todas as amostras apresentam valores menores que 20 mg/L. Já no período chuvoso (fevereiro/2013), observa-se um aumento significativo nas concentrações de cloreto que variam de 0,29 a 219,21 mg/L. Os poços 1, 4 e 5 possuem os maiores valores. Apesar desse aumento significativo, todas as apresentam concentração de cloreto dentro do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde.

Figura 21 - Diagrama de valores de cloreto das amostras referente ao período de estiagem (novembro/2012) em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013) em azul.



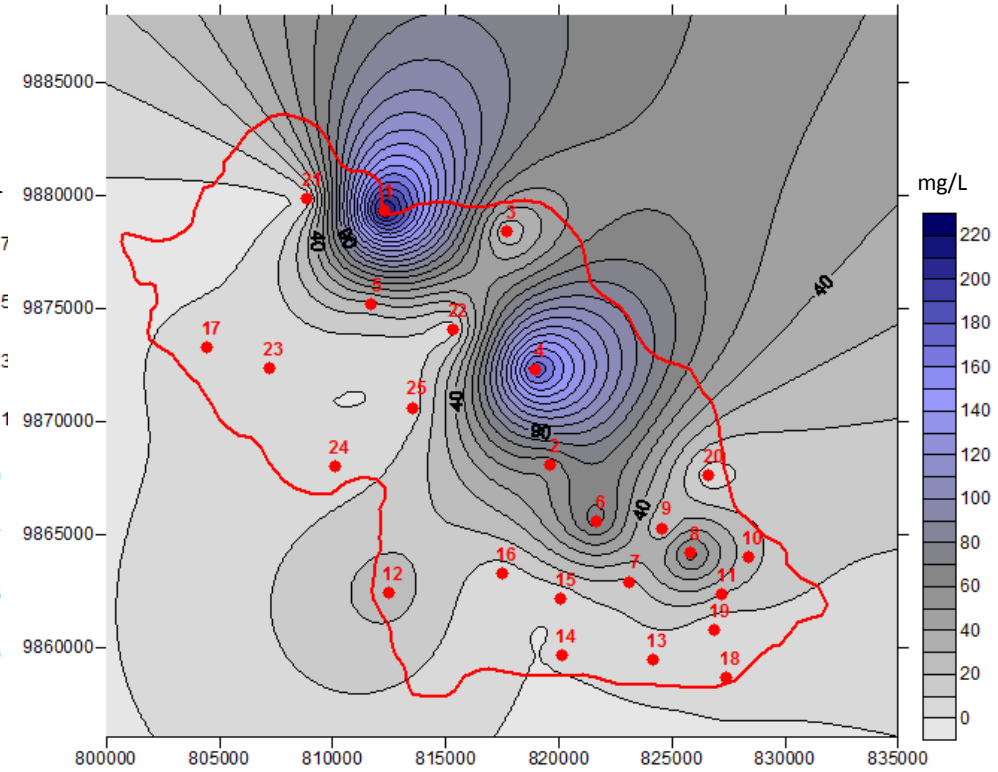
Fonte: Do autor.

Figura 22 - Distribuição dos teores de cloreto na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 23 - Distribuição dos teores de cloreto na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Em relação à distribuição desses dos teores de cloreto na área de estudo pode-se observar que no período de estiagem (figura 22) há a presença de 3 picos de concentração: na parte noroeste (poço 23), na parte central (poço 4) com o maior valor de cloreto encontrado na área (16,99 mg/L) e na parte sul (poço 13). Já no período chuvoso (figura 23) os maiores teores de cloreto ocorrem na porção nordeste e noroeste da área, nos poços 1 e 4.

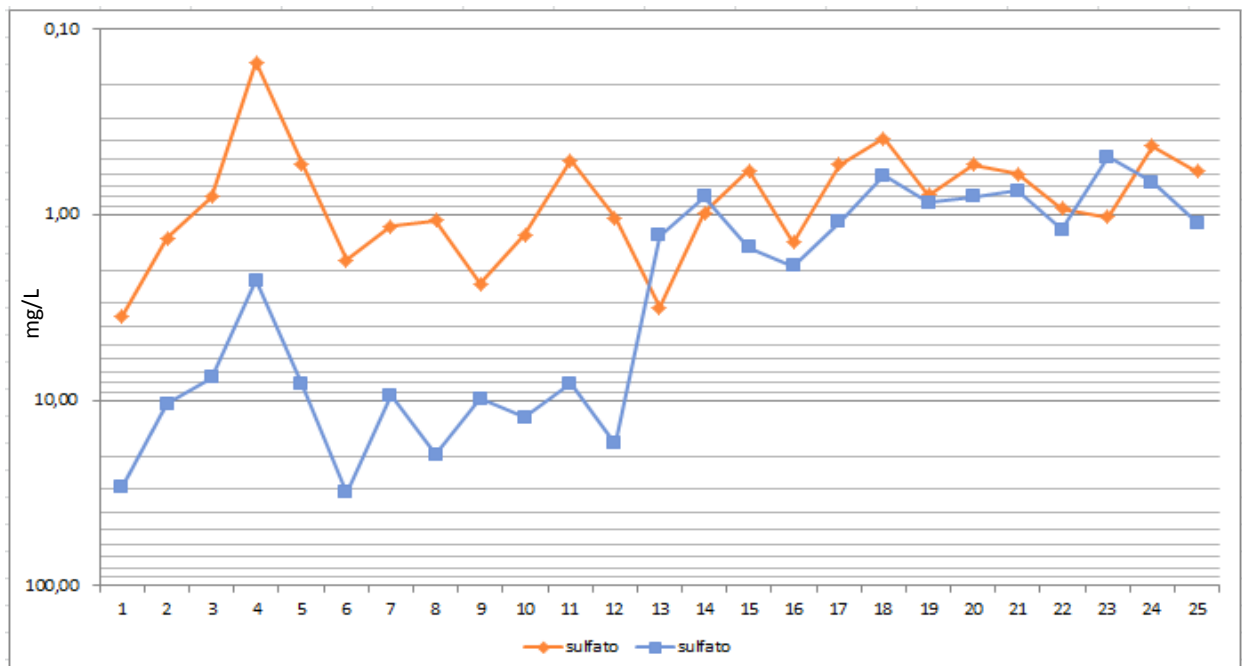
4.3. SULFATO

O Sulfato é um ânion que deve sua presença nas águas subterrâneas por meio da dissolução de solos e rochas. Os íons sulfato SO_4^{-2} são encontrados na água devido à lixiviação das rochas sedimentares. A maior contribuição são os depósitos de sulfato como gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4), e sulfetos, além disso, a oxidação de matéria orgânica e os despejos industriais.

O valor máximo para sulfato estabelecido pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde em águas para consumo humano é de 250 mg/L. No período de estiagem, a bacia hidrográfica do rio Tauá apresenta valores pouco significativos de sulfato, uma vez que todos os poços apresentam teor menor que 4 mg/L (figura 24).

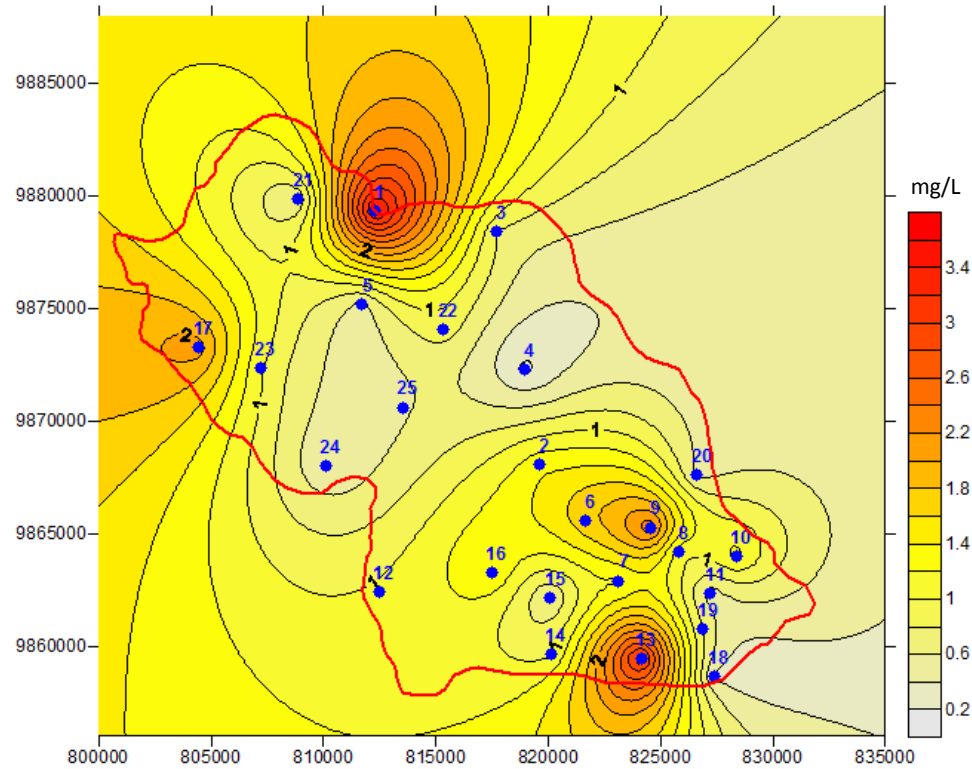
No período chuvoso, nota-se um aumento na concentração de sulfato, com teores variando entre 0,41 (poço 23) a 31,30 mg/L. (poço 6). Apesar da concentração de sulfato apresentar um aumento significativo no período chuvoso, em todos os poços analisados neste trabalho, os valores deste íon estão dentro do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde. Logo, a bacia hidrográfica do rio Tauá não apresenta contaminação por sulfato.

Figura 24 - Diagrama de valores de sulfato das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



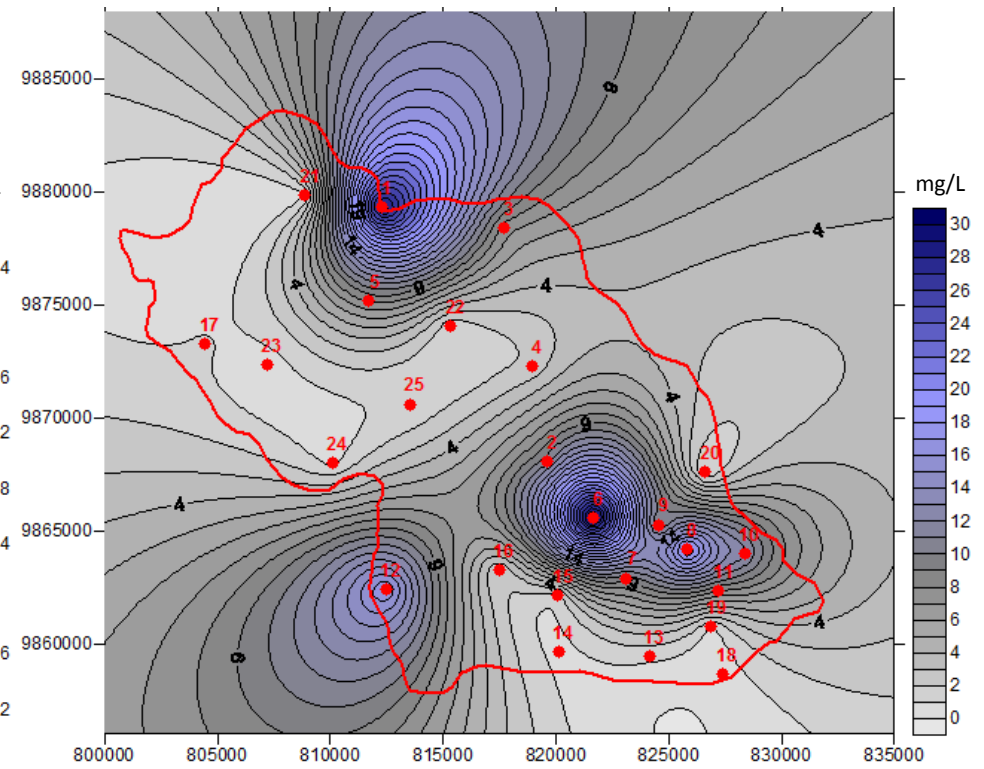
Fonte: Do autor.

Figura 25- Distribuição dos teores de sulfato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 26- Distribuição dos teores de sulfato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro 2013).



Fonte: Do autor.

No período de estiagem, os teores de sulfato se concentram em 4 pontos principais: nos poços 1 (3,51 mg/L) e 17 (2,10 mg/L) a noroeste da bacia do rio Tauá, e nos poços 9 (2,36 mg/L) e 13 (3,17 mg/L) a sudeste. Enquanto que no período chuvoso, os poços 1 (29,15 mg/L), 6 (31,30 mg/L) e 8 (19,57 mg/L) apresentaram teores elevados, também, localizados a noroeste e sudeste da bacia do rio Tauá.

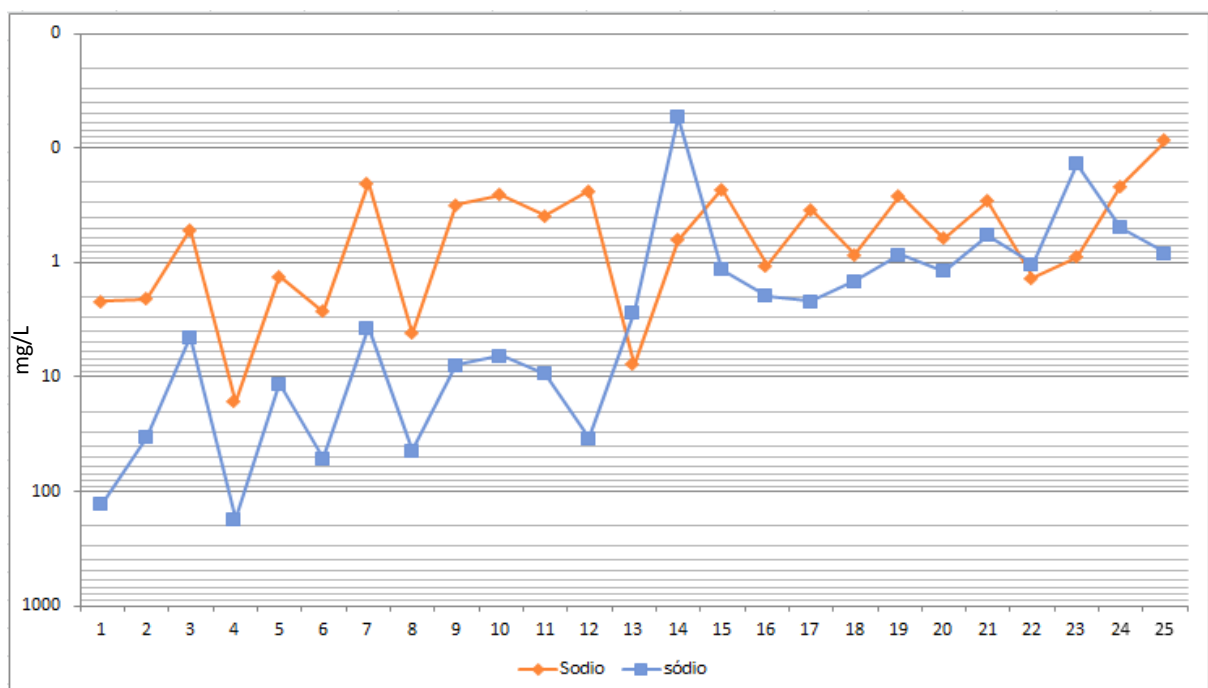
4.4. SODIO

Segundo Feitosa (1997 apud SHUQAIR, 2002), o sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Os fatores que contribuem para a sua abundância estão relacionados à distribuição ampla dos minerais fontes, baixa estabilidade química dos minerais em que está presente, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Na água subterrânea ocorre sob a forma de íons e os principais minerais fonte são essencialmente os feldspatos, plagioclásios, nefelina, leucita, anfibólios e piroxênios que são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos.

Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 mg/L e 100 mg/L, (FEITOSA, 1997 apud SHUQAIR, 2002). Sendo que a quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura por reduzir a permeabilidade do solo.

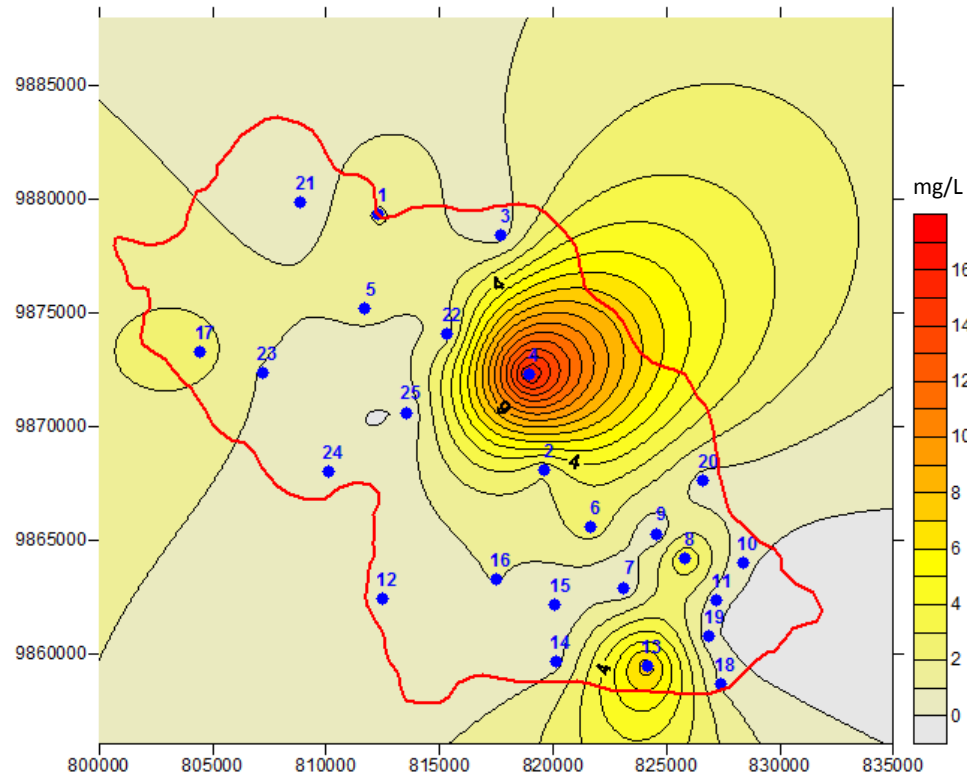
Durante o período de estiagem, todos os poços amostrados na bacia do rio Tauá apresentam baixos teores de sódio, os quais variam de 0,09 (poço 25) a 16,47 mg/L (poço 4). A concentração de sódio aumentou significativamente no período chuvoso atingindo teores acima de 100 mg/L, no poço 1 (127,72 mg/L) e no poço 4 (173,18 mg/L).

Figura 27 - Diagrama de valores de sódio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/2012), em laranja e ao período chuvoso (Fevereiro/2013), em azul.



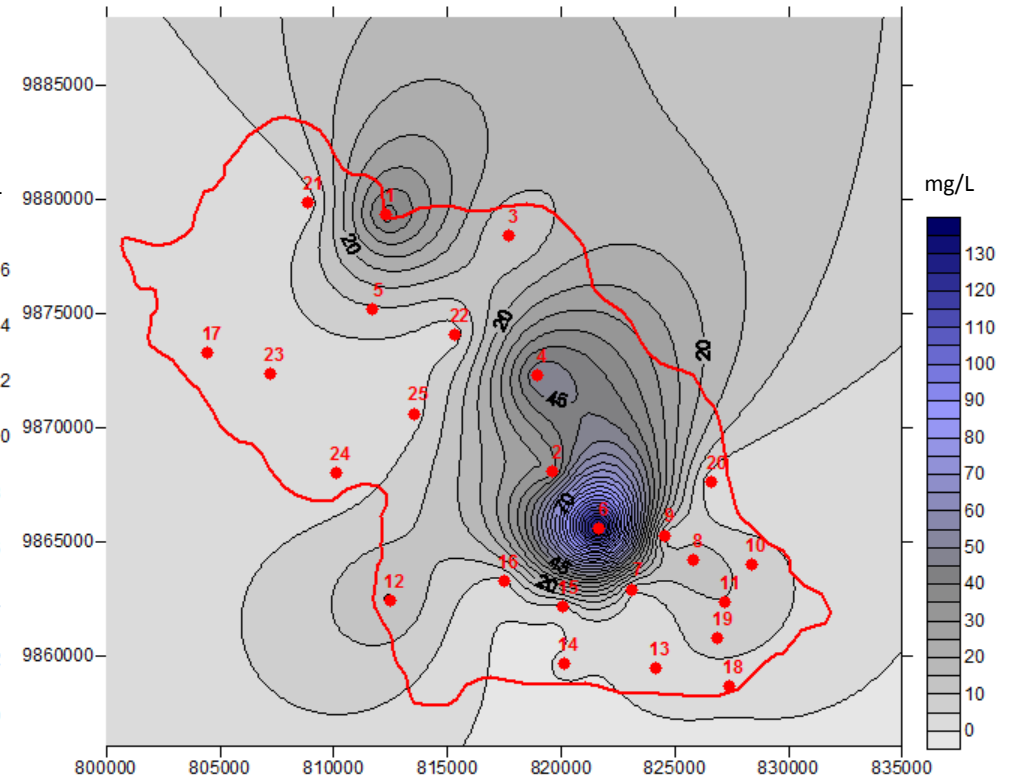
Fonte: Do autor.

Figura 28 - Distribuição dos teores de sódio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 29 - Distribuição dos teores de sódio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

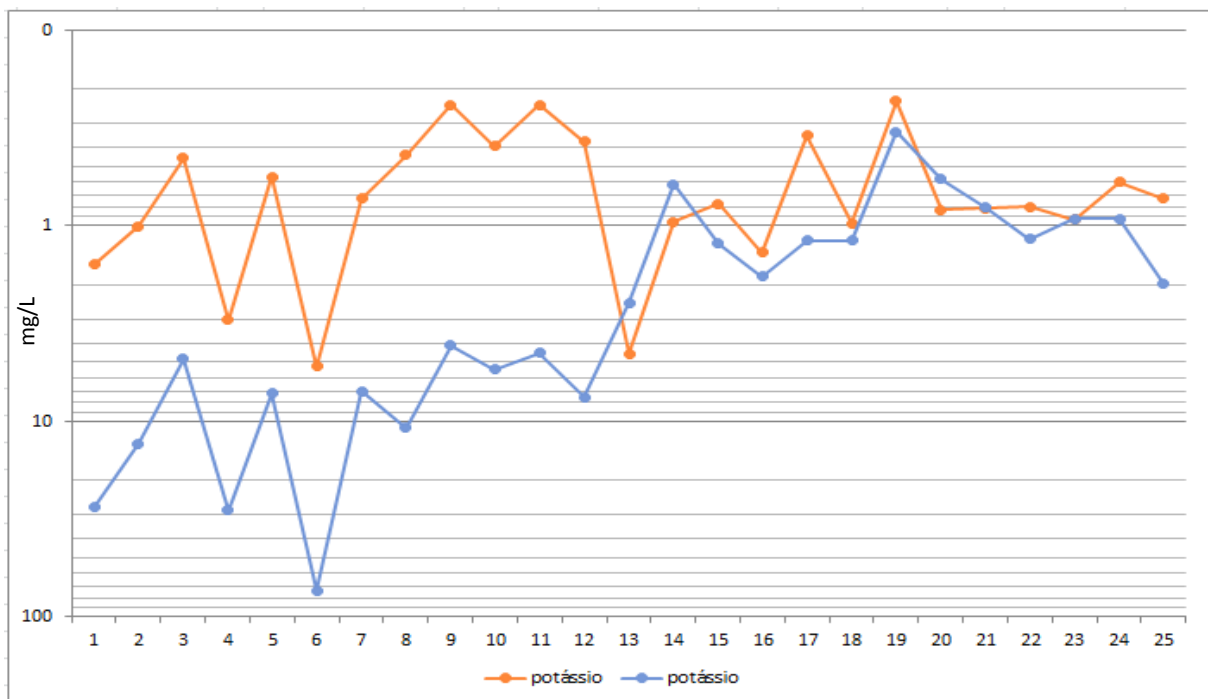
No período de estiagem, todos os poços apresentam baixos teores de sódio, os quais variam de 0,09 (poço 25) a 16,47 mg/L (poço 4). O maior valor é encontrado à nordeste da área de estudo e se concentra nas proximidades do centro urbano de Santo Antônio do Tauá. No período chuvoso, os poços 1 (127,72 mg/L) e 4 (173,18 mg/L) apresentam os maiores teores de sódio.

4.5. POTÁSSIO

De acordo com Shuqair (2002), o potássio ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelos minerais de argilas e intensivamente consumido por vegetais. O potássio pode ser encontrado em minerais como feldspato potássicos, leucita e micas que são pouco resistentes aos intemperismo físico e químico liberando K^+ nas águas subterrâneas.

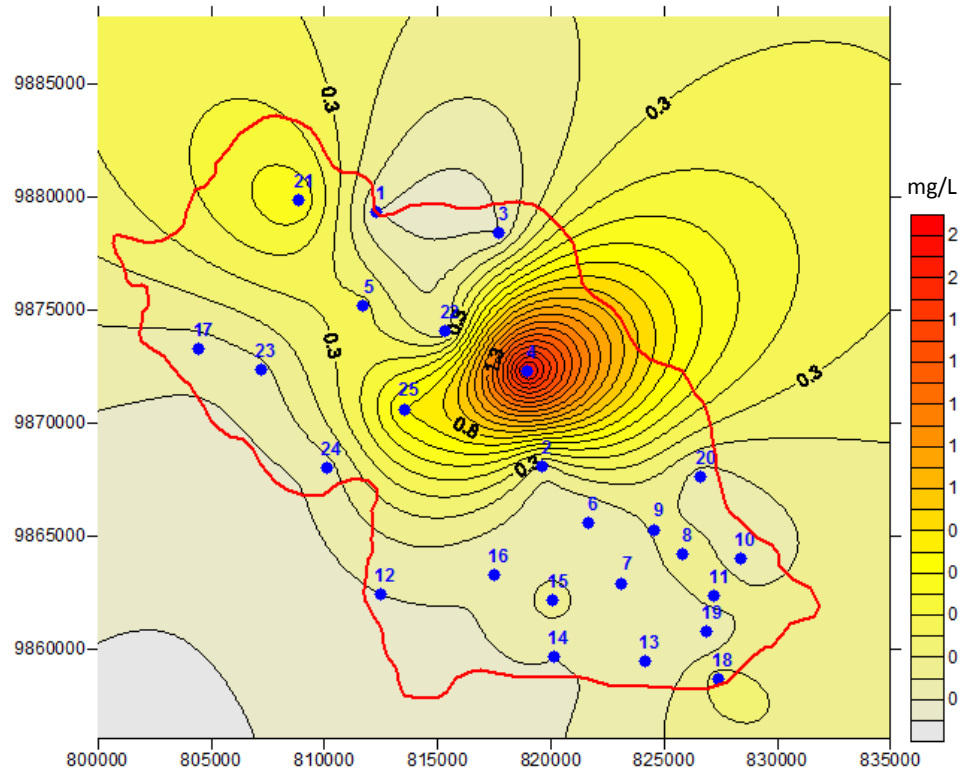
Nas águas subterrâneas, seu teor médio é inferior a 10 mg/L, sendo mais frequente valores entre 1 mg/L e 5 mg/L. No período de estiagem, todos os poços possuem teor menor que 10 mg/L, sendo os maiores valores os dos poços 6 e 13 com teor de 5,25 e 4,51 mg/L, respectivamente. Já no período chuvoso, a concentração desse cátion aumentou de forma significativa, principalmente, nos poços 8 (10,82 mg/L), 2 (13,03 mg/L), 1 (27,64 mg/L), 4 (28,5 mg/L) e 6 (73,69 mg/L), os quais apresentam teor maior que 10 mg/L.

Figura 30 - Diagrama de valores de potássio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), azul.



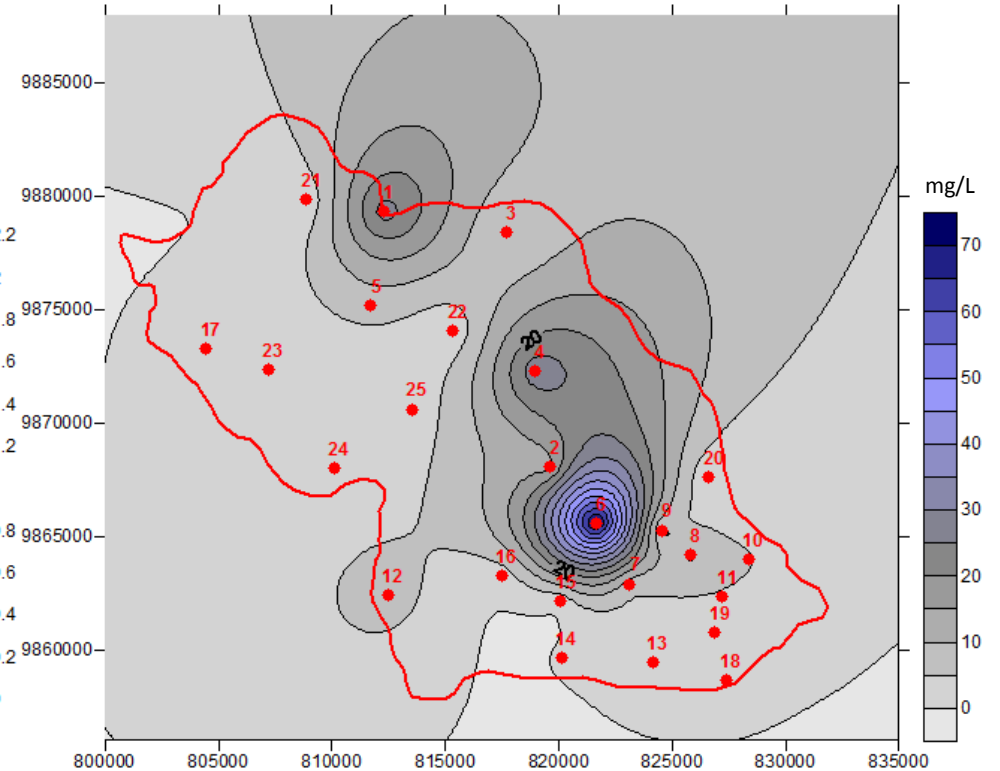
Fonte: Do autor.

Figura 31 - Distribuição dos teores de potássio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 32 - Distribuição dos teores de potássio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

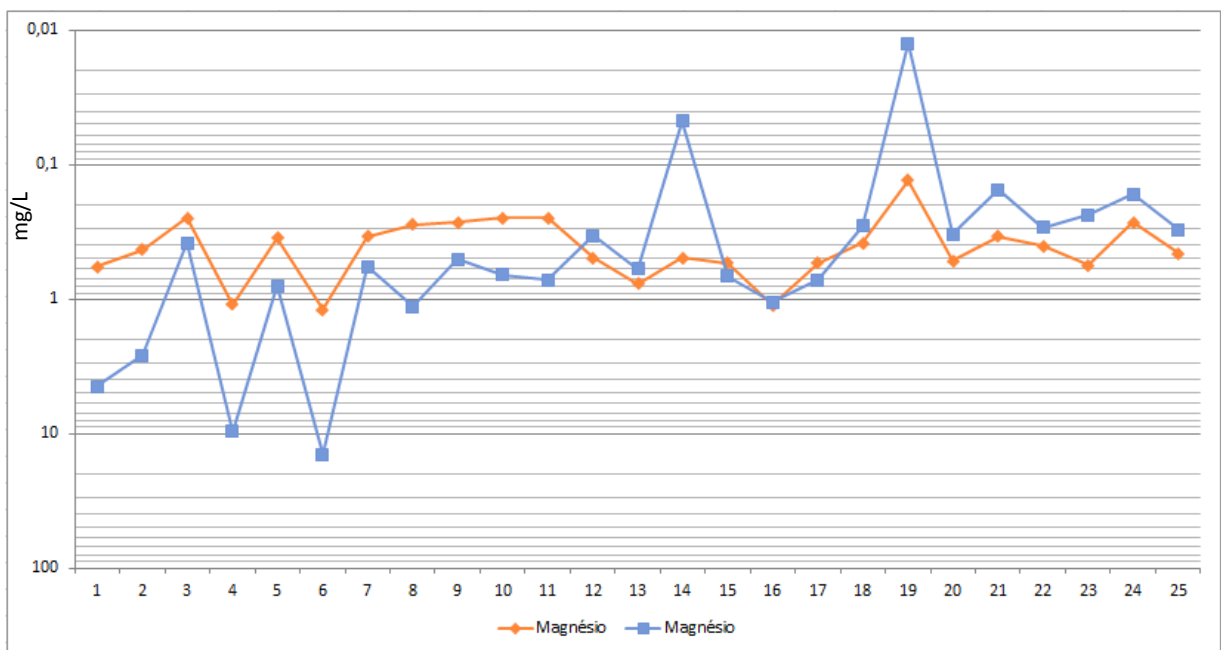
No período de estiagem (figura 31), os maiores valores de potássio estão situados na porção central e nordeste da bacia, enquanto que no período chuvoso os maiores teores de potássio estão concentrados na porção sudeste (figura 32).

4.6. MAGNÉSIO

De acordo com Shuqair (2002), o magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio, porém, forma sais mais solúveis e difíceis de precipitar. Os minerais fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas (magnesita, biotita, granada, olivina, anfibólios, piroxênios e dolomitas) são mais estáveis diante do intemperismo, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor. Em águas subterrâneas o teor de magnésio encontra-se entre 1 mg/L e 40 mg/L.

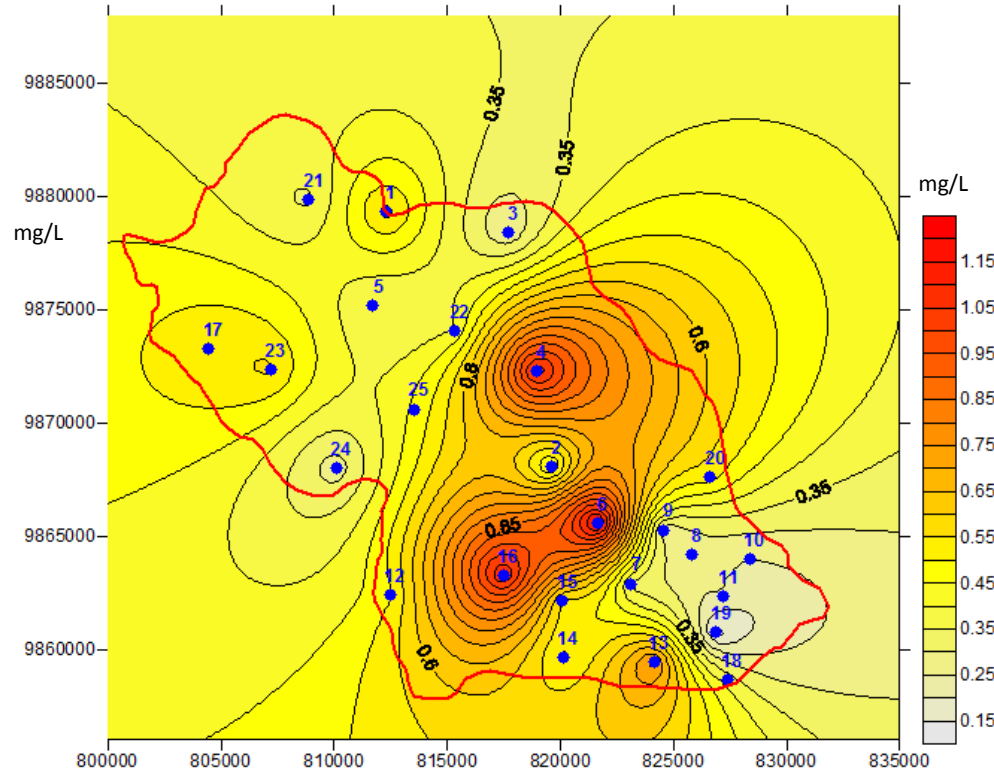
Na área da Bacia do Rio Tauá, a maioria das amostras apresentam teor de magnésio menor que 1mg/L, no período de estiagem, exceto os poços 4, 6 e 16 que apresentam teor de 1,09 mg/L; 1,2 mg/L e 1,11 mg/L (figura 33). Já no período chuvoso, a maioria dos poços possuem teor de potássio menor que 1,5 mg/L, exceto os poços 1, 2, 4 e 6 que apresentam, respectivamente, teores de 4,47 mg/L; 2,61 mg/L; 9,62 mg/L e 14,30 mg/L.

Figura 33 - Diagrama de valores de magnésio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



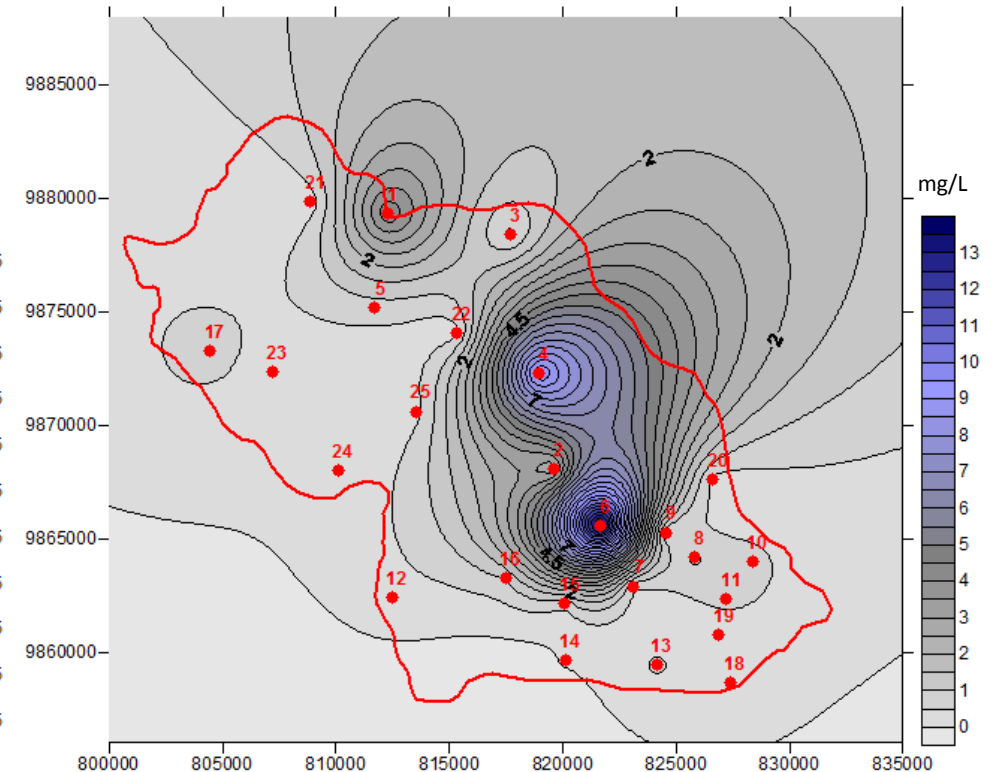
Fonte: Do autor.

Figura 34 - Distribuição dos teores de magnésio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 35 - Distribuição dos teores de magnésio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

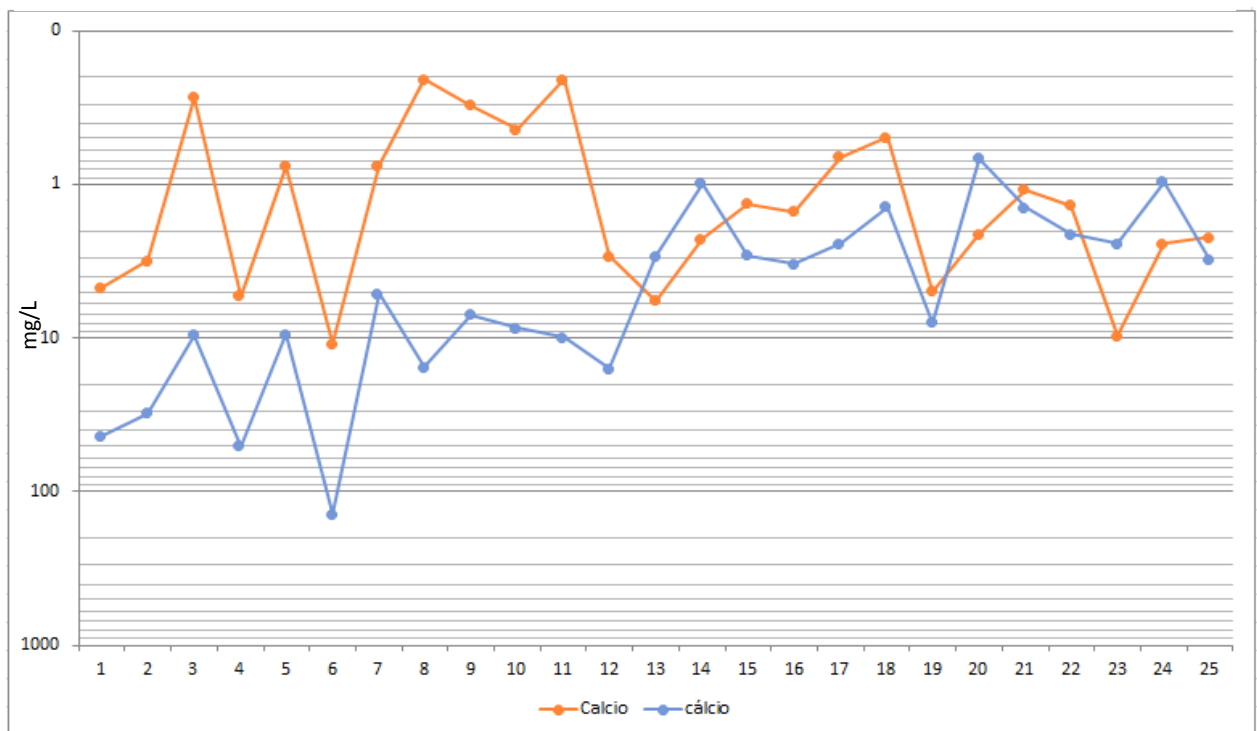
No período de estiagem (figura 34), nota-se 4 picos de alta concentração de magnésio, principalmente na porção central da bacia. Enquanto que no período chuvoso (figura 35), as concentrações elevadas de magnésio são representadas por 2 picos, também, na porção central da área.

4.7. CÁLCIO

Segundo Feitosa (1997 apud SHUQAIR, 2002), o teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 mg/L a 100 mg/L. As amostras da Bacia do Rio Tauá apresentam um teor médio de 2,65 mg/L no período seco e 15,13 mg/L no período chuvoso.

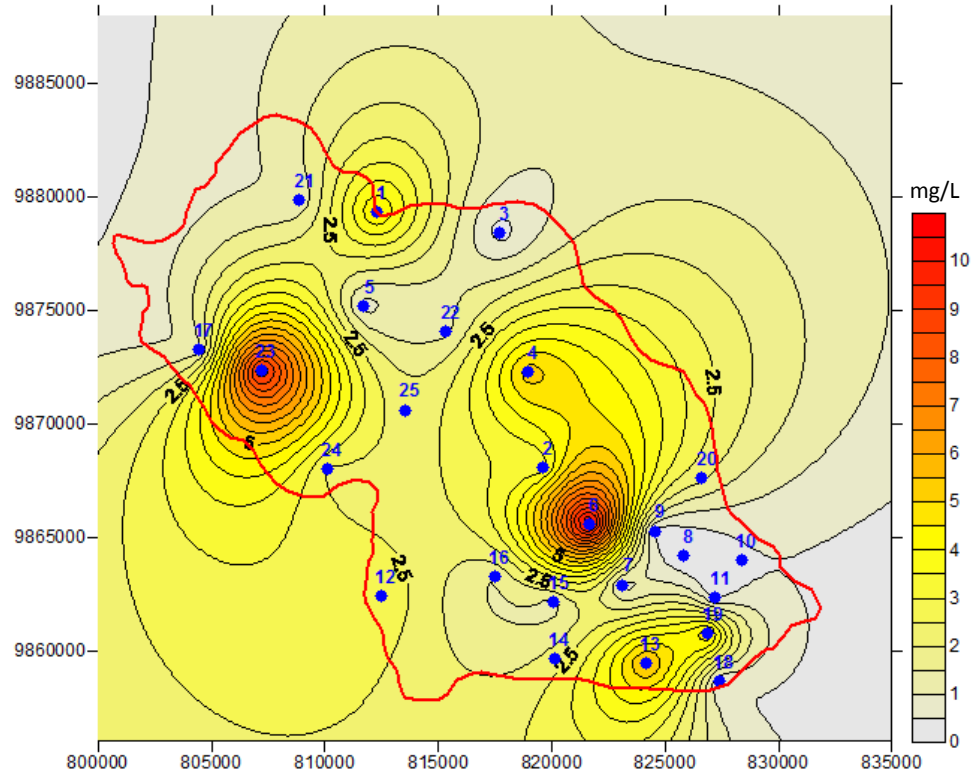
No período seco, a maioria das amostras apresentam teor menor que 5 mg/L. Os poços 6 e 23 possuem maior teor de cálcio com valores de 10,91 e 9,63 mg/L, respectivamente (figura 36). Já no período chuvoso, pode-se observar um aumento significativo na concentração deste íon. O poço 7 apresenta maior teor de cálcio (140,40 mg/L).

Figura 36 - Diagrama de valores de cálcio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



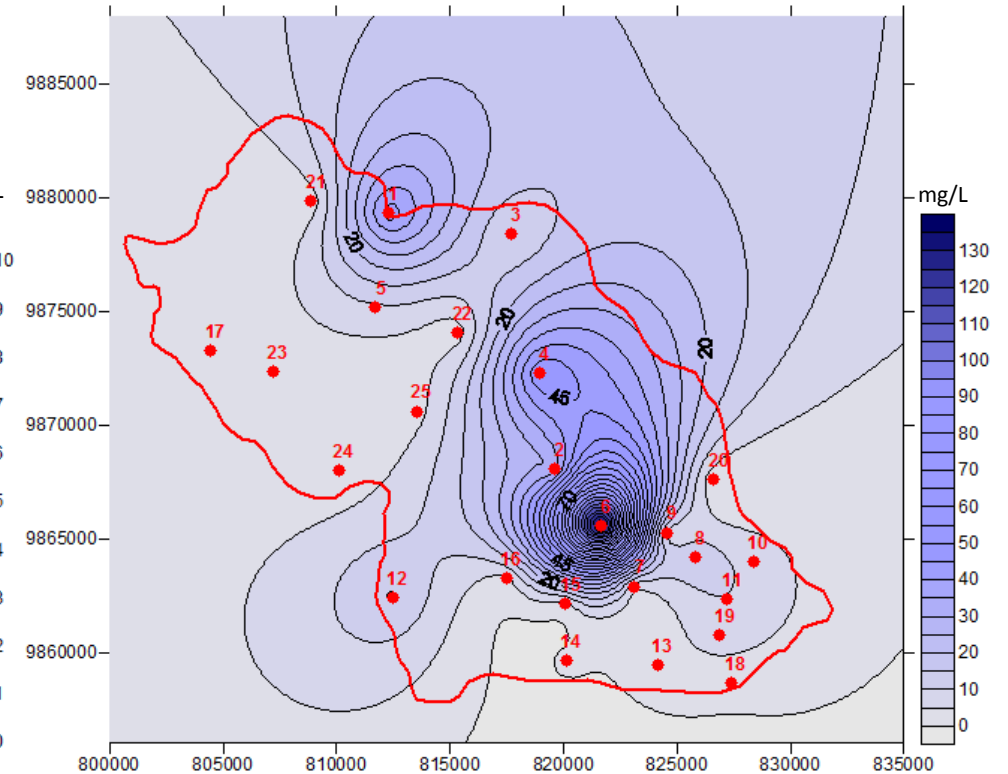
Fonte: Do autor.

Figura 37 - Distribuição dos teores de cálcio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 38 - Distribuição dos teores de cálcio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

No período de estiagem (figura 37), nota-se a presença de 3 picos de concentração de cálcio na bacia, nas porções noroeste, central e sudeste. Já no período chuvoso (figura 38), a concentração de cálcio está situada na porção sudeste da área.

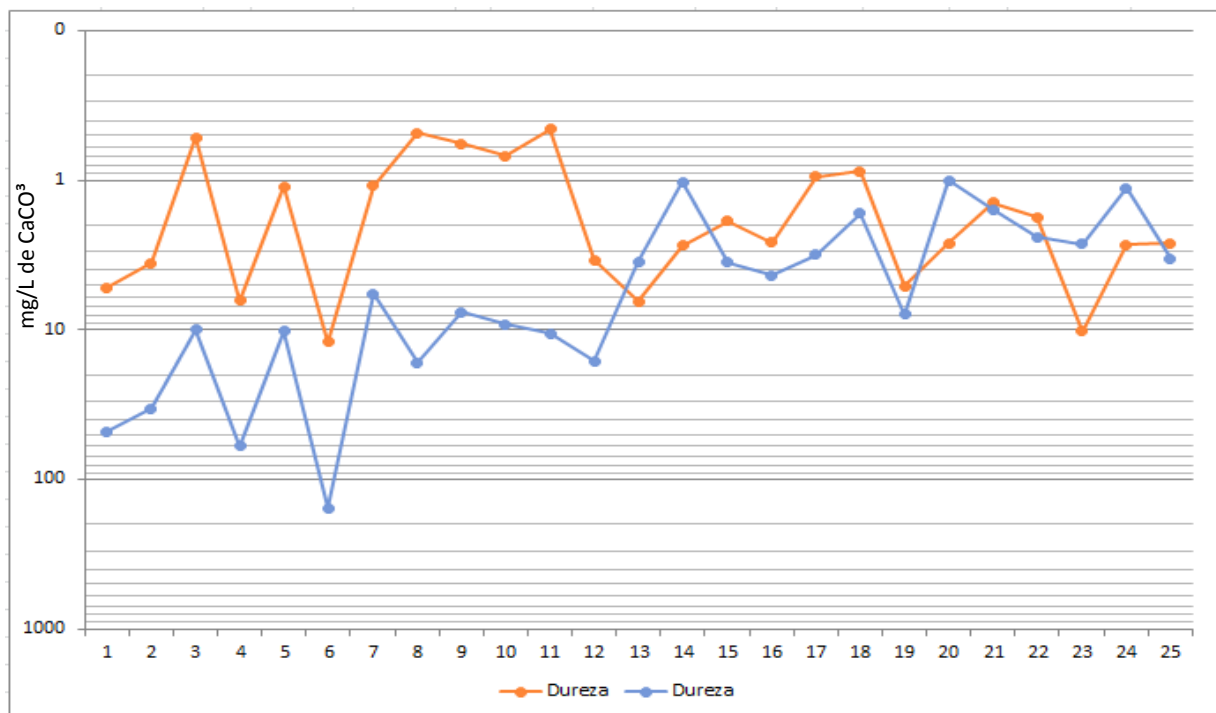
4.8. DUREZA

Águas duras são aquelas apresentam cátions metálicos bivalentes em sua composição. Os principais íons causadores de dureza são cálcio e magnésio tendo um papel secundário o zinco e o estrôncio.

A Dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico sendo que para águas potáveis são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras. Segundo a Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde o valor máximo permitido para águas destinadas ao consumo humano é de 500 mg/L de CaCO_3 .

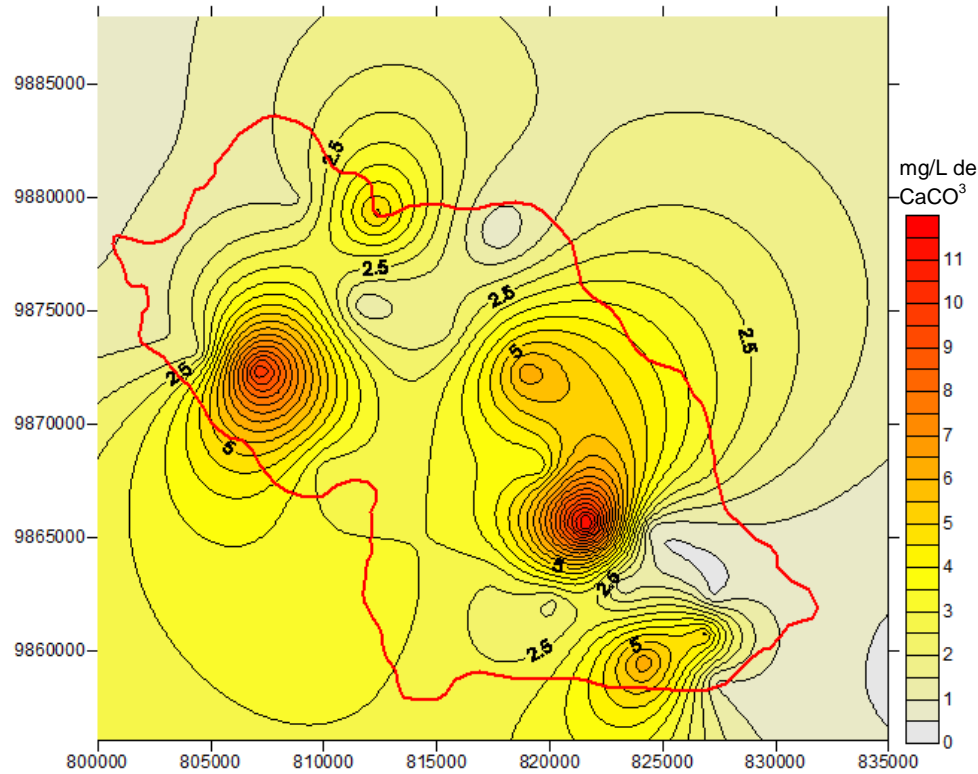
De acordo com a figura 39, todos os poços estão dentro do permitido pelo Ministério da Saúde, com valores inferiores a 500 mg/L de CaCO_3 . No período de estiagem, em média, a bacia do rio Tauá possui valor de dureza igual a 4,14 mg/L de CaCO_3 . Sendo que os maiores valores são os dos poços 6 (12,11 mg/L de CaCO_3), 13 (6,49 mg/L de CaCO_3) e 23 (10,19 mg/L de CaCO_3). E no período chuvoso, possui teor médio de 16,77 mg/L de CaCO_3 . Dentre os poços que apresentam alto teor de dureza estão os poços 1 (47,80 mg/L de CaCO_3), 2 (33,42 mg/L de CaCO_3), 4 (60 mg/L de CaCO_3) e 6 (154,79 mg/L de CaCO_3).

Figura 39 - Diagrama de valores de dureza das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



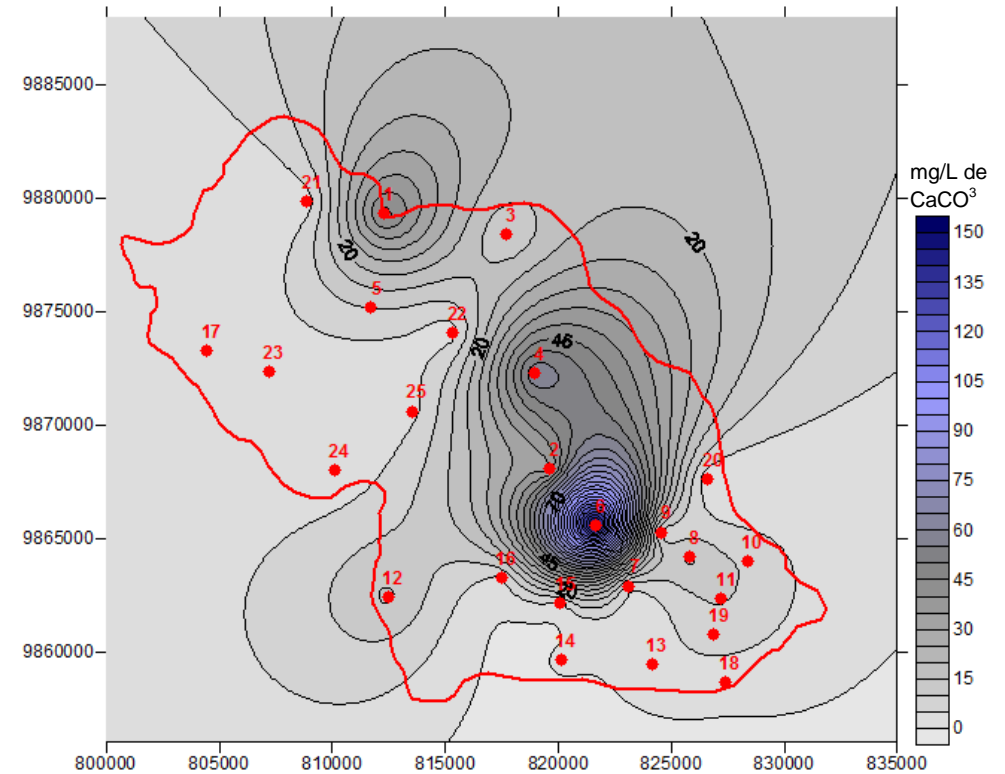
Fonte: Do autor.

Figura 40 - Distribuição dos teores de dureza na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 41 - Distribuição dos teores de dureza na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

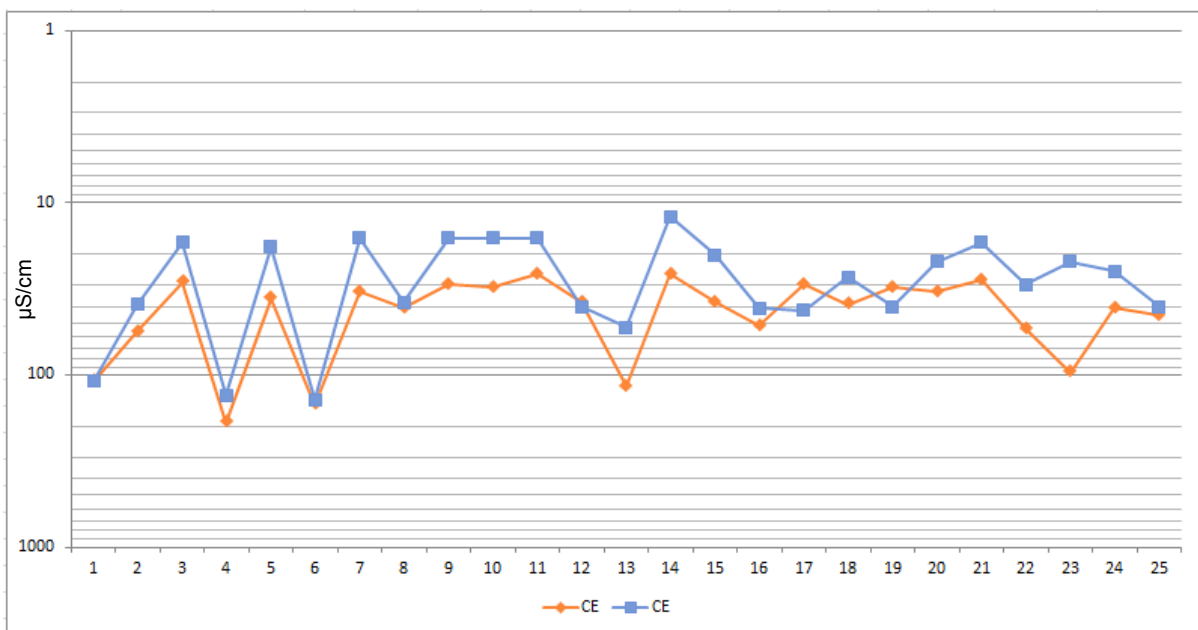
A dureza é diretamente proporcional à concentração de cálcio e magnésio, os quais apresentam teores elevados na região noroeste, central e sudeste da bacia, como mostrado nas figuras 34 e 37. No período de estiagem, há a presença de 3 picos, nas áreas urbanas dos municípios que constituem a bacia do rio Tauá. Já o período chuvoso apresenta apenas 1 pico à sudeste.

4.9. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)

De acordo com Matta (2002), condutividade elétrica é a facilidade da água de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado com a presença de cátions e ânions, oriundos de sais dissolvidos na água. Em relação à água subterrânea, este é um parâmetro importante pelo fato de medir o grau de mineralização das águas que, por sua vez, está diretamente associado aos padrões de potabilidade ao consumo humano.

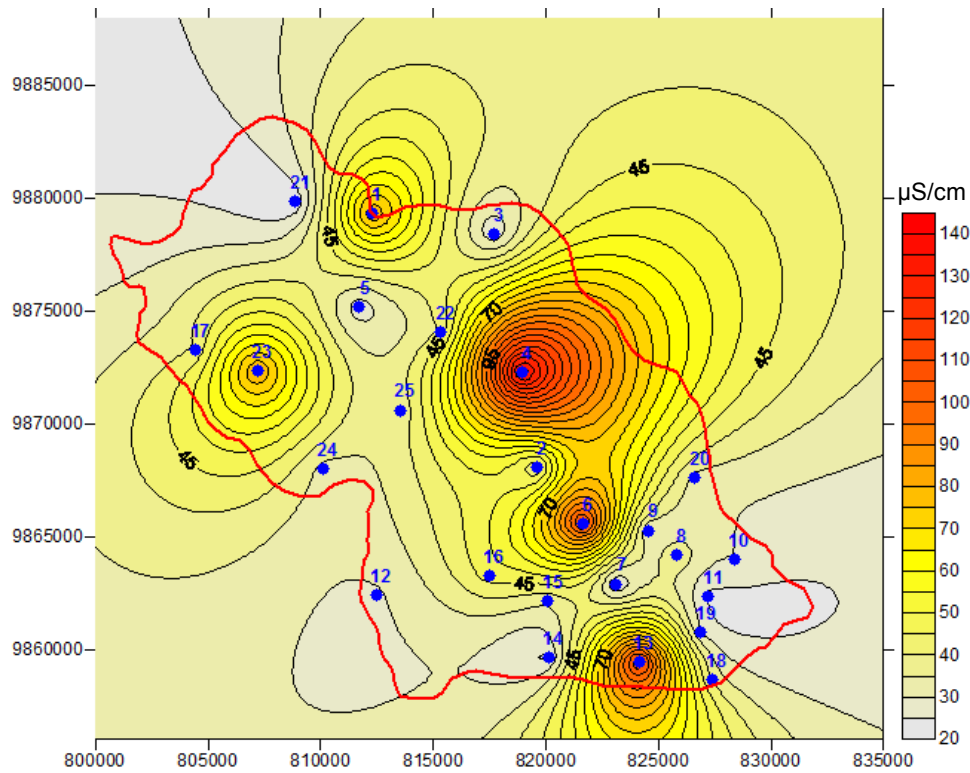
Segundo a figura 42, a bacia possui valores de condutividade que variam desde 20,3 $\mu\text{S/cm}$ (poço 21) até 111,9 $\mu\text{S/cm}$ (poço 4) e média de 46,92 $\mu\text{S/cm}$ durante o período seco. E valores que variam de 12 $\mu\text{S/cm}$ (poco 14) a 139 $\mu\text{S/cm}$ (poco 6) e possuem média de 39 $\mu\text{S/cm}$, no período chuvoso.

Figura 42 - Diagrama de valores de condutividade elétrica das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



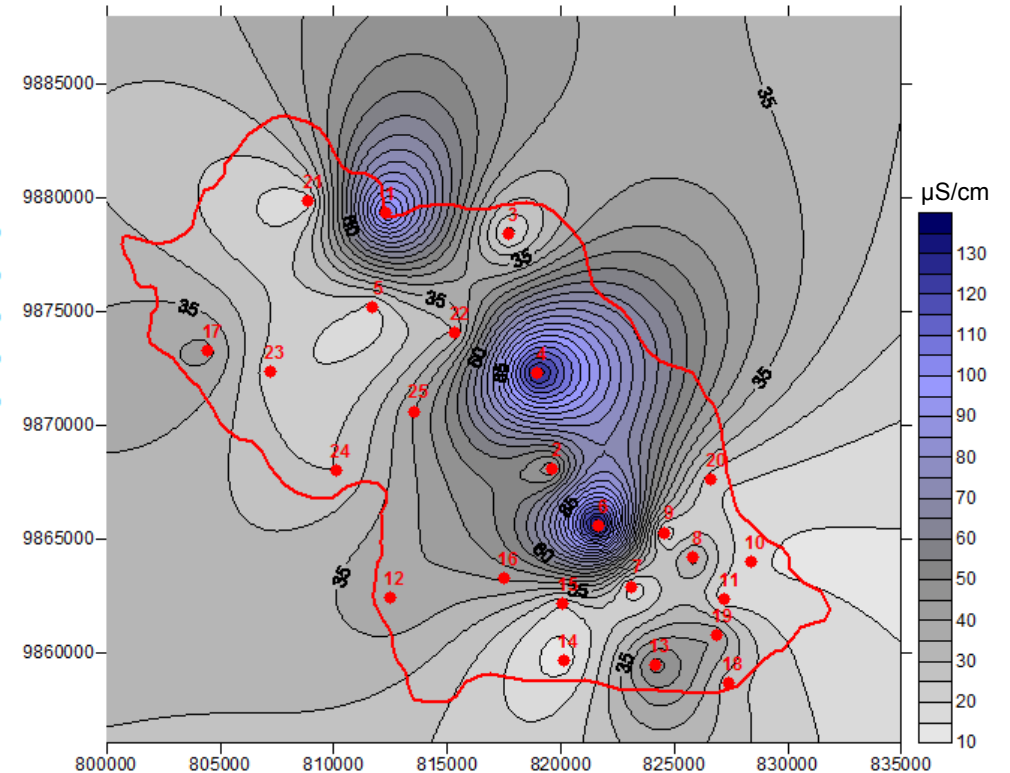
Fonte: Do autor.

Figura 43 - Distribuição dos teores de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 44 - Distribuição dos teores de condutividade elétrica na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

No período de estiagem (figura 43), há a presença de 3 picos principais situados na porção nordeste e sudeste da bacia, enquanto que no período chuvoso, os teores elevados de dureza situam-se na porção noroeste e central da área (figura 44).

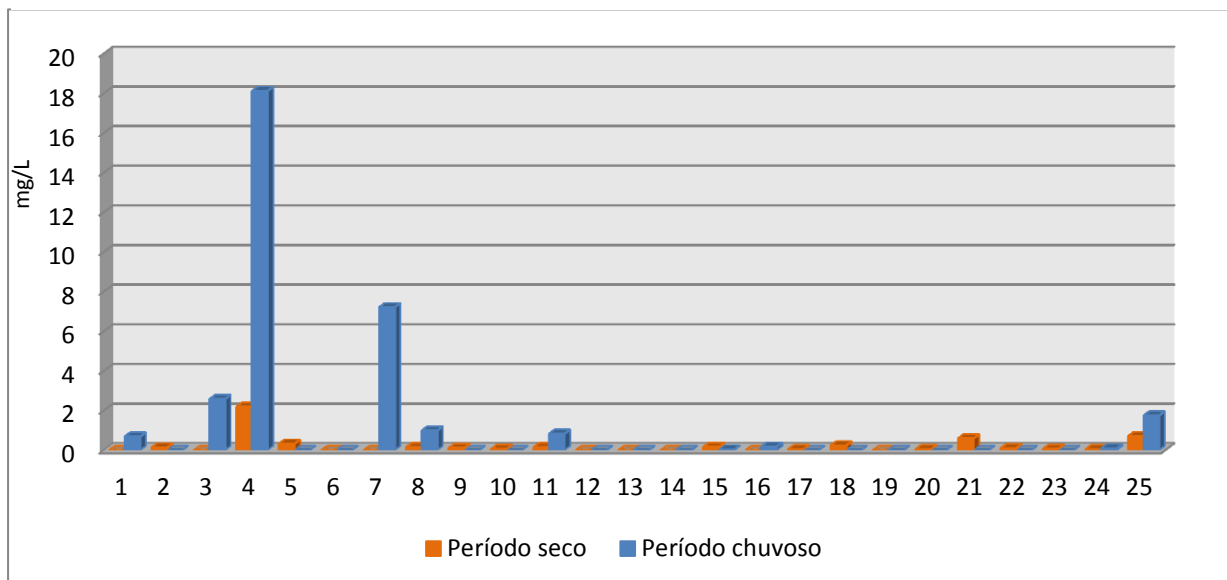
4.10. COMPOSTOS NITROGENADOS

4.10.1. Amônio

Quando os decompositores começam a atuar sobre a matéria orgânica nitrogenada, como húmus, liberam diversos resíduos para o ambiente, entre eles a amônia (NH_3). Combinando-se com a água do solo, a amônia forma hidróxido de amônio que ao se ionizar produz o íon amônio (NH_4^+) e hidroxila, processo é denominado amonização.

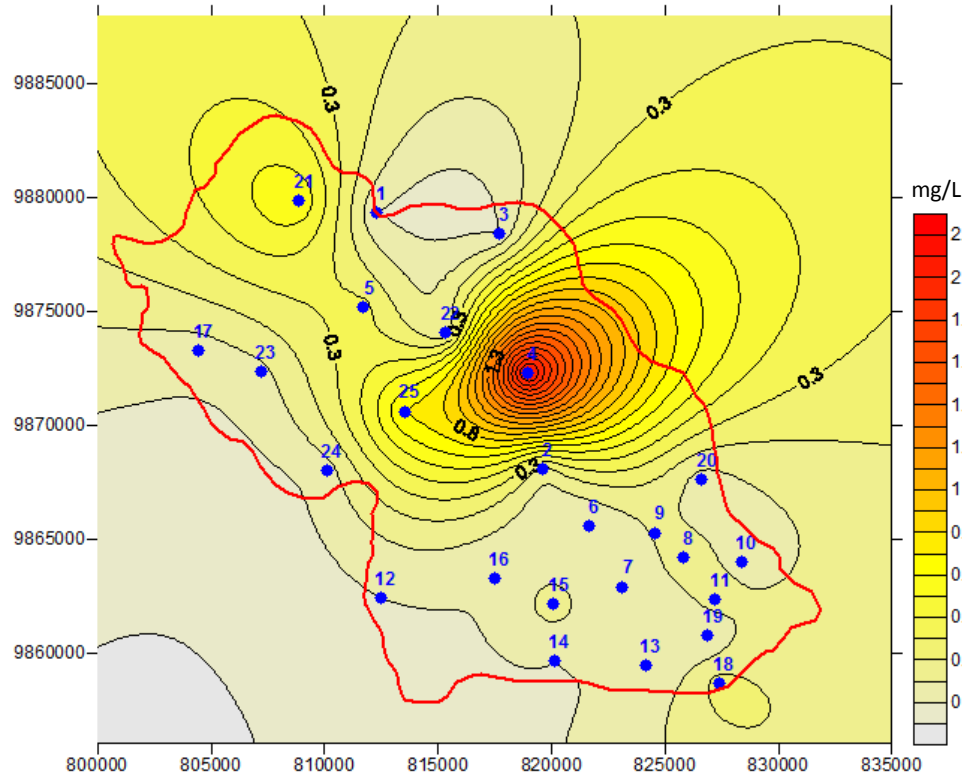
A oxidação dos íons amônio produz nitrito, que por sua vez são liberados para o ambiente ou oxidados a nitrato (nitrificação) pela ação de bactérias nitrificantes. Portanto, o íon amônio é instável e indica contaminação recente. Na área de estudo, a maioria das amostras não apresenta amônio. No período de estiagem, apenas 3 amostras (poços 4, 21 e 25) apresentam teores de amônio maior que 0,5 mg/L (figura 45), enquanto que no período chuvoso, houve um aumento significativo na concentração de nitrito, principalmente, nos poços 3, 4 e 7.

Figura 45 - Diagrama de valores de amônio das amostras referente ao período de estiagem (novembro/ 2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



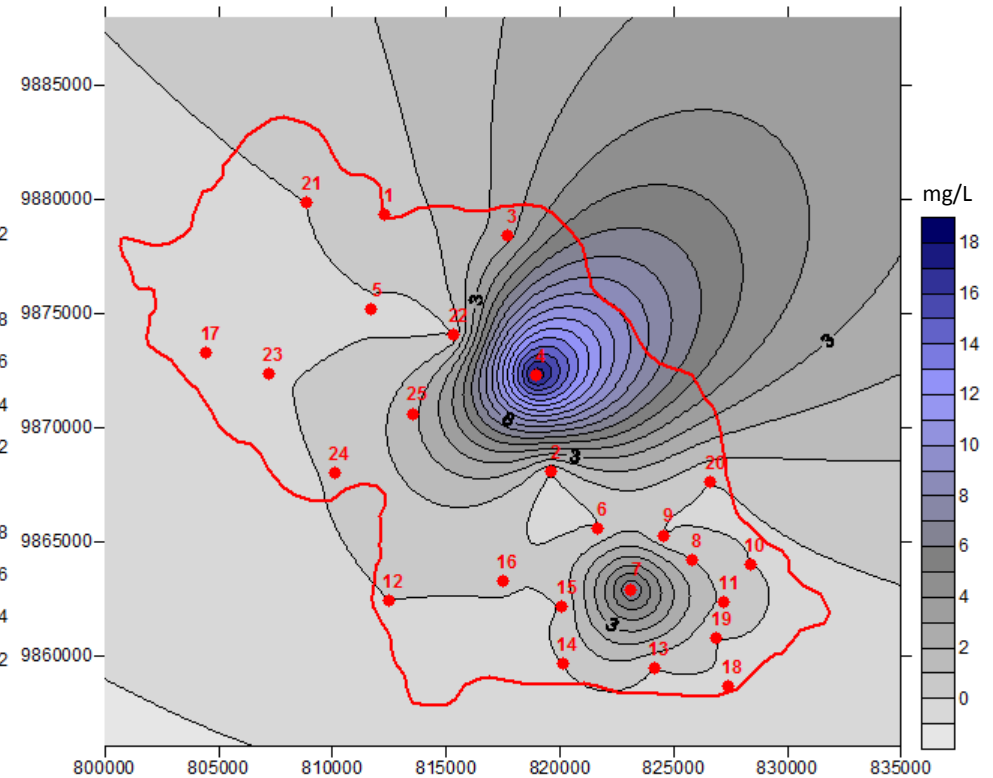
Fonte: Do autor.

Figura 46 - Distribuição dos teores de amônio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 47 - Distribuição dos teores de amônio na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

De acordo com as figuras 46 e 47, o poço 4 apresenta alta concentração de amônio no período seco (2,19 mg/L) e, principalmente, no período chuvoso (18,12 mg/L). No período chuvoso, há a presença de dois picos de concentração de amônio, um a nordeste, localizado na área urbana de Santo Antônio do Pará e outro na região sudeste, caracterizada pela presença de plantações de coqueiros e granjas de criação de aves.

4.10.2. Nitrito

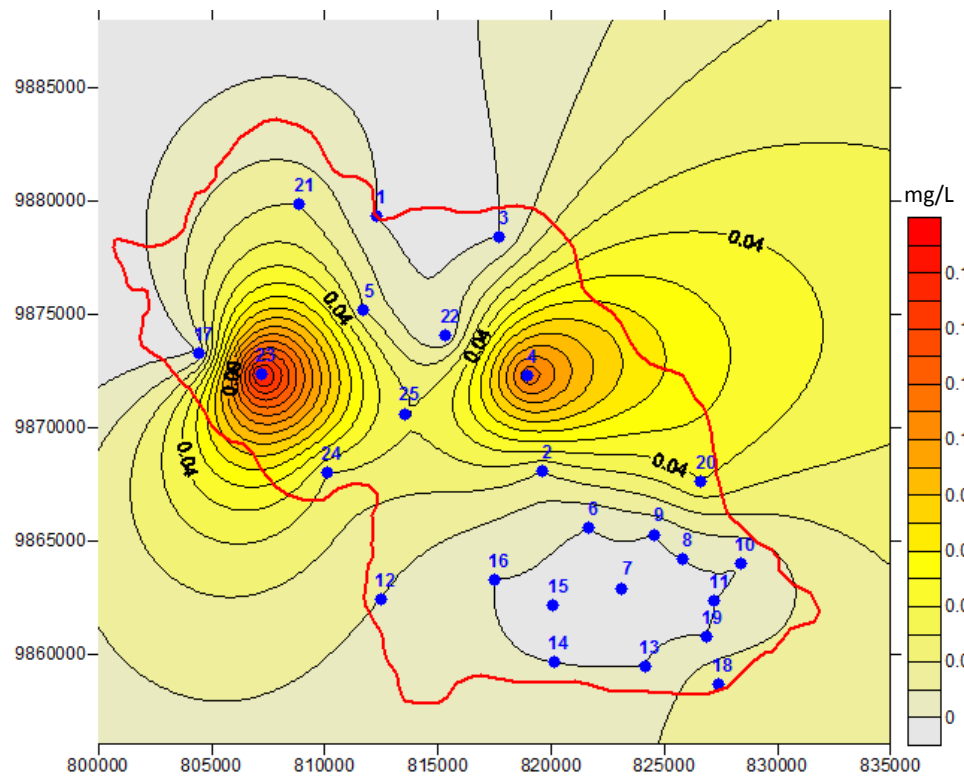
O nitrito é um parâmetro simples e de fundamental importância na verificação da qualidade da água para consumo, haja vista que sua presença é um indicativo de contaminação recente, procedente de material orgânico vegetal ou animal.

O nitrito pode ser encontrado na água como produto da decomposição biológica, devido à ação de bactérias ou outros microrganismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou ser provenientes de ativos inibidores de corrosão em instalações industriais.

O nitrito é um estado intermediário do nitrogênio, tanto pela oxidação da amônia a nitrato como pela redução do nitrato. Estes processos de oxidação e redução podem ocorrer em estações de tratamento de água, sistema de distribuição de águas e em águas naturais. Raramente ele é encontrado em águas potáveis em níveis superiores a 0,1 mg/L. Seu principal efeito na água em teores maiores que o permitido, é uma doença conhecida como Metahemoglobinemia ou descoloramento da pele, causada pela alteração do sangue, tanto em bebês recém-nascidos, como em adultos com determinada deficiência enzimática (GADELHA *et al.*, 2005).

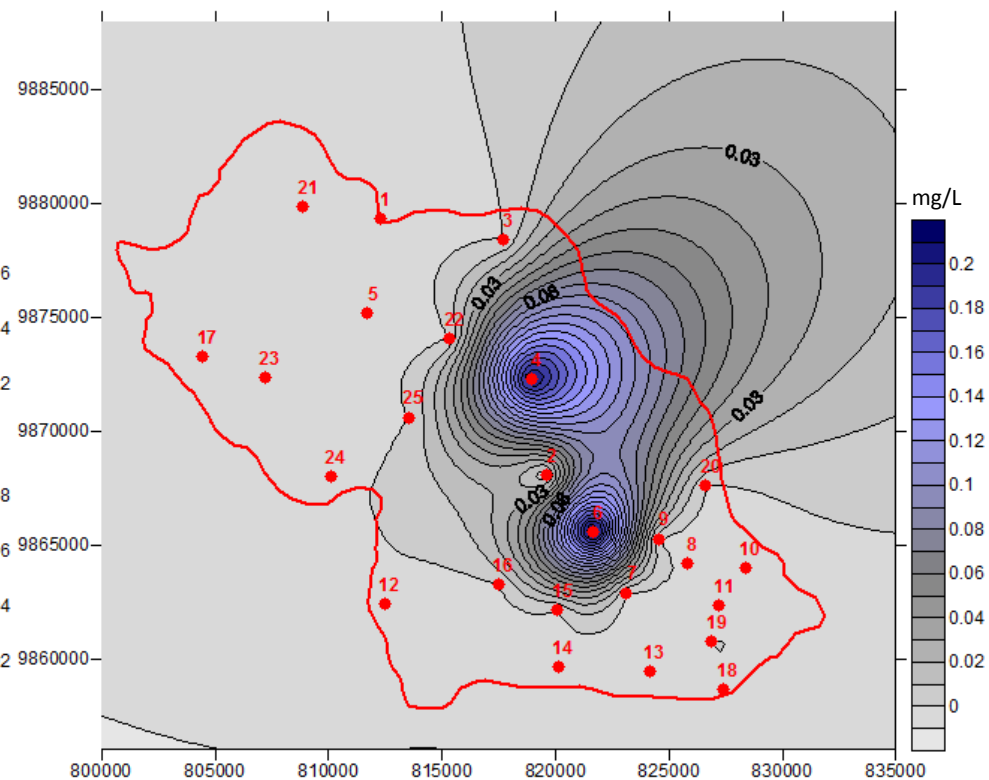
Segundo a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde a quantidade máxima permitida de nitrito na água de consumo humano é de 1 mg/L. Dos 25 poços analisados, todos encontram-se dentro do VMP tanto no período seco quanto no chuvoso. No entanto, se observar a figura 48, nota-se 2 picos de concentração de nitrito, nos poços 4 e 23, os quais apresentam concentração de 0,12 e 0,17mg/L, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de ambos os poços estarem situados em centros urbanos (Santo Antônio do Tauá e Santa Bárbara do Pará) se comparado ao restante da bacia, ou seja, em locais mais susceptíveis à contaminação por esgoto e fossa séptica. A figura 49 corresponde ao período chuvoso e se pode observar que os poços 4 e 6 contêm os maiores teores de nitrito.

Figura 48 - Distribuição dos teores de nitrito na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 49 - Distribuição dos teores de nitrito na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2013).



Fonte: Do autor.

4.10.3. Nitrato

O nitrato é uma substância química derivada do nitrogênio que, em baixas concentrações, se encontra de forma natural na água e no solo (FOSTER; HIRATA, 1988). Porém, essas concentrações podem ser alteradas devido ao uso intensivo de fertilizantes na agricultura e a coleta e disponibilização inadequada dos esgotos domésticos (ROSSI; MIRANDA; DUARTE, 2007)

O nitrato ocorre naturalmente em águas subterrâneas, no entanto, sua presença em concentrações elevadas é geralmente resultante da atividade antrópica. Dentre elas, se destacam principalmente a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e a falta de sistemas de saneamento in situ. As substâncias nitrogenadas dos fertilizantes e dos resíduos orgânicos são transformadas e oxidadas por reações químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo. Sendo o nitrato extremamente solúvel na água, move-se com facilidade e contamina a água subterrânea (BARBOSA, 2005 apud CAMPOS; ROHLFS, 2010).

O nitrato (NO_3^-) ou nitrogênio nítrico é o último estágio da oxidação do nitrogênio. Ele é o produto da oxidação do nitrito, processo conhecido por nitrificação.

Vale destacar que o nitrato é um contaminante persistente, com grande mobilidade, não degrada facilmente em meio aeróbico e, em teores acima de 10 mg/L pode causar doenças como cianose infantil ou metahemoglobinemia e câncer gástrico além de danos ambientais como a eutrofização.

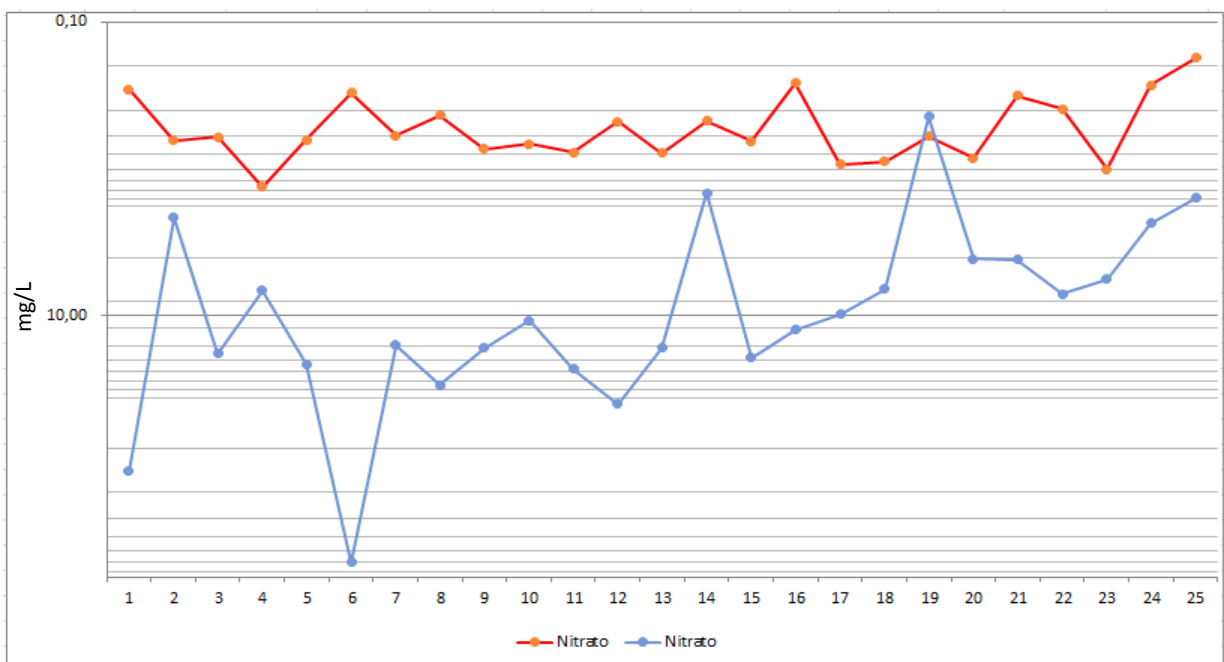
Em concentrações elevadas o nitrato dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês podendo acarretar a asfixia (metahemoglobinemia). Já em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade (BRASIL, 2008 apud CAMPOS; ROHLFS, 2010). Atualmente sabe-se que nitritos, em determinadas condições, podem-se combinar-se com aminas secundárias, formando nitrosaminas, produtos estes considerados carcinogênicos, teratogênicos e mutagênicos.

Em crianças, o nitrato é convertido a nitrito, que se combina com a hemoglobina no sangue, formando metahemoglobina (composta por Fe^{+3}), pigmento que não transporta oxigênio, causando a síndrome do bebê azul (FERREIRA, 2002

apud CAMPOS; ROHLFS, 2010). Crianças com idade inferior a três meses são mais sensíveis a íons nitrato por consumirem, relativamente, mais água que os adultos quando se compara seu peso corporal. Além disso, o pH do estômago de crianças é mais favorável ao desenvolvimento de bactérias que agem reduzindo íons de nitrato a íons de nitrito, o que não ocorre normalmente no adulto. O ânion não apresenta relativa toxidez para os adultos, pois é rapidamente excretado pelos rins. No entanto, concentrações maiores que 10 mg/L de nitrato, expresso como nitrogênio (N-NO₃), podem ser fatais para crianças com idades inferiores a seis meses e causar problemas de saúde em animais.

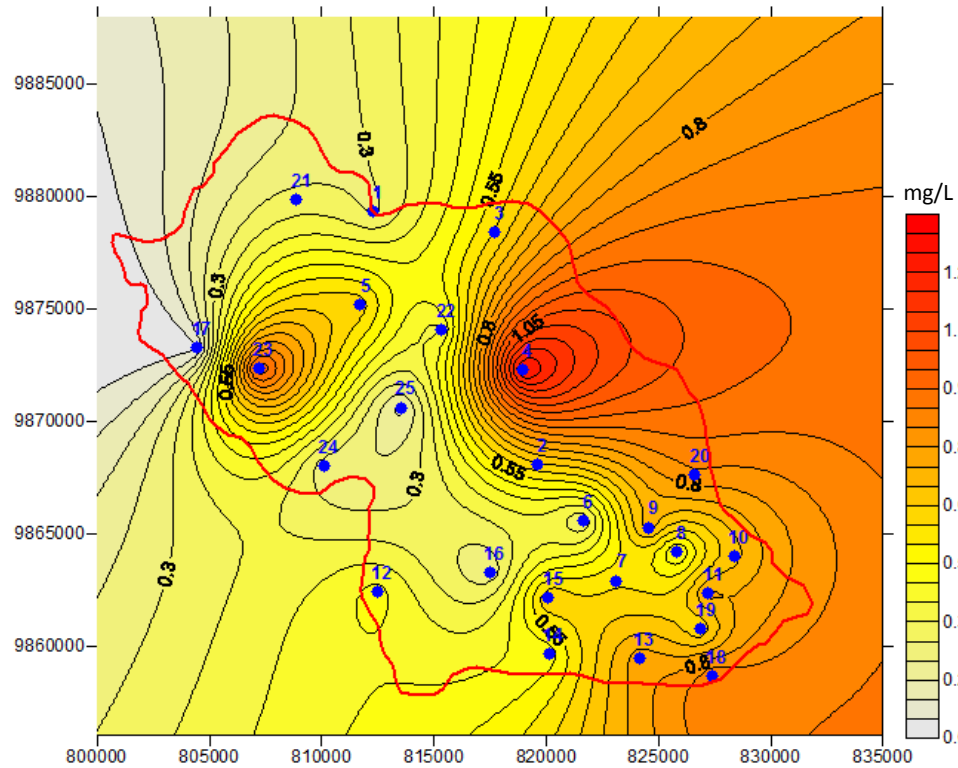
O Ministério da Saúde estabelece na portaria 518/2004 um VMP de 10 mg/L. De acordo com o diagrama de valores de nitrato da Bacia do Rio Tauá (figura 50), no período de estiagem, todos os poços possuem teor de nitrato inferior a 2mg/L. Sendo o maior valor encontrado no poço 4 (1,32 mg/L), localizado no centro urbano de Santo Antônio do Tauá. Já no período chuvoso, há um aumento no teor de nitrato na maioria dos poços, principalmente, nos poços 1 (114,49 mg/L) e 6 (476,98 mg/L). Em geral, os poços 1, 3, 4 -12,14 e 15 possuem valores acima do estabelecido pelo Ministério da Saúde, portanto, contaminadas por nitrato e impróprias para o consumo humano.

Figura 50 - Diagrama de valores de nitrato das amostras referente ao período de estiagem (novembro/2012) em laranja e ao período chuvoso (fevereiro/2013), em azul.



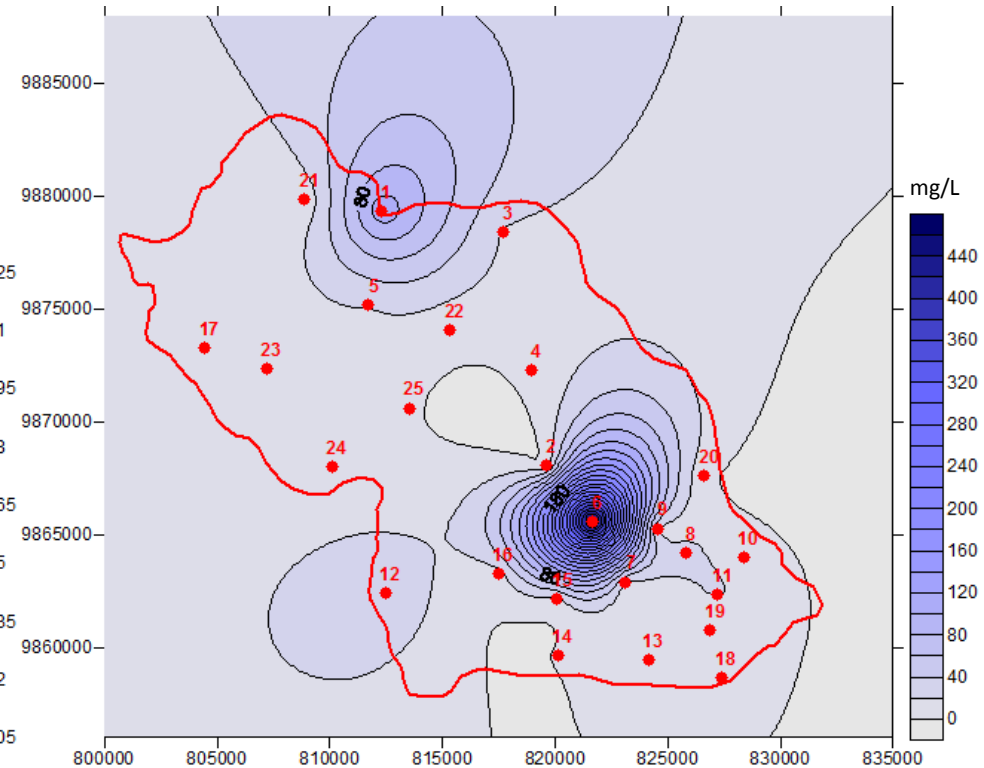
Fonte: Do autor.

Figura 51 - Distribuição dos teores de nitrato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período de estiagem (novembro/ 2012).



Fonte: Do autor.

Figura 52 - Distribuição dos teores de nitrato na bacia hidrográfica do rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/ 2012).



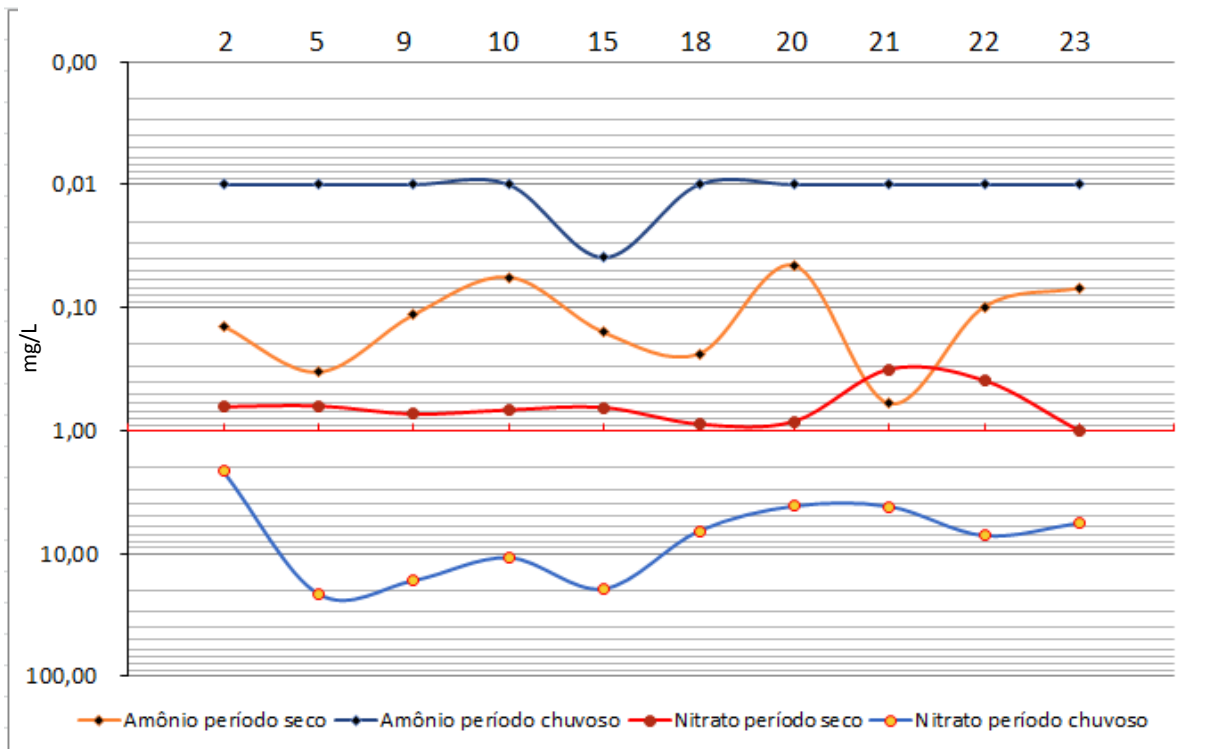
Fonte: Do autor.

No período de estiagem, há a presença de 2 picos (poços 4 e 23), um a noroeste e o outro a nordeste, nas áreas urbanas de Santa Bárbara do Pará e Santo Antônio do Tauá, respectivamente. No período chuvoso, a concentração de nitrato é maior nas proximidades do poço 1, situado ao norte, e no poço 6, o qual está situado na porção sudeste da bacia, em uma granja de criação de aves.

4.10.4. Evolução temporal dos compostos nitrogenados

O gráfico abaixo mostra que os teores de amônio e de nitrato se comportam de maneira inversamente proporcional, ou seja, quando o teor de amônio diminui, há uma tendência que haja o aumento nos teores de nitrito e nitrato, uma vez que a oxidação do amônio forma nitrito e, posteriormente, nitrato, o que caracteriza o processo de nitrificação.

Figura 53 – Variação das concentrações de amônio e nitrato nos períodos seco e chuvoso.



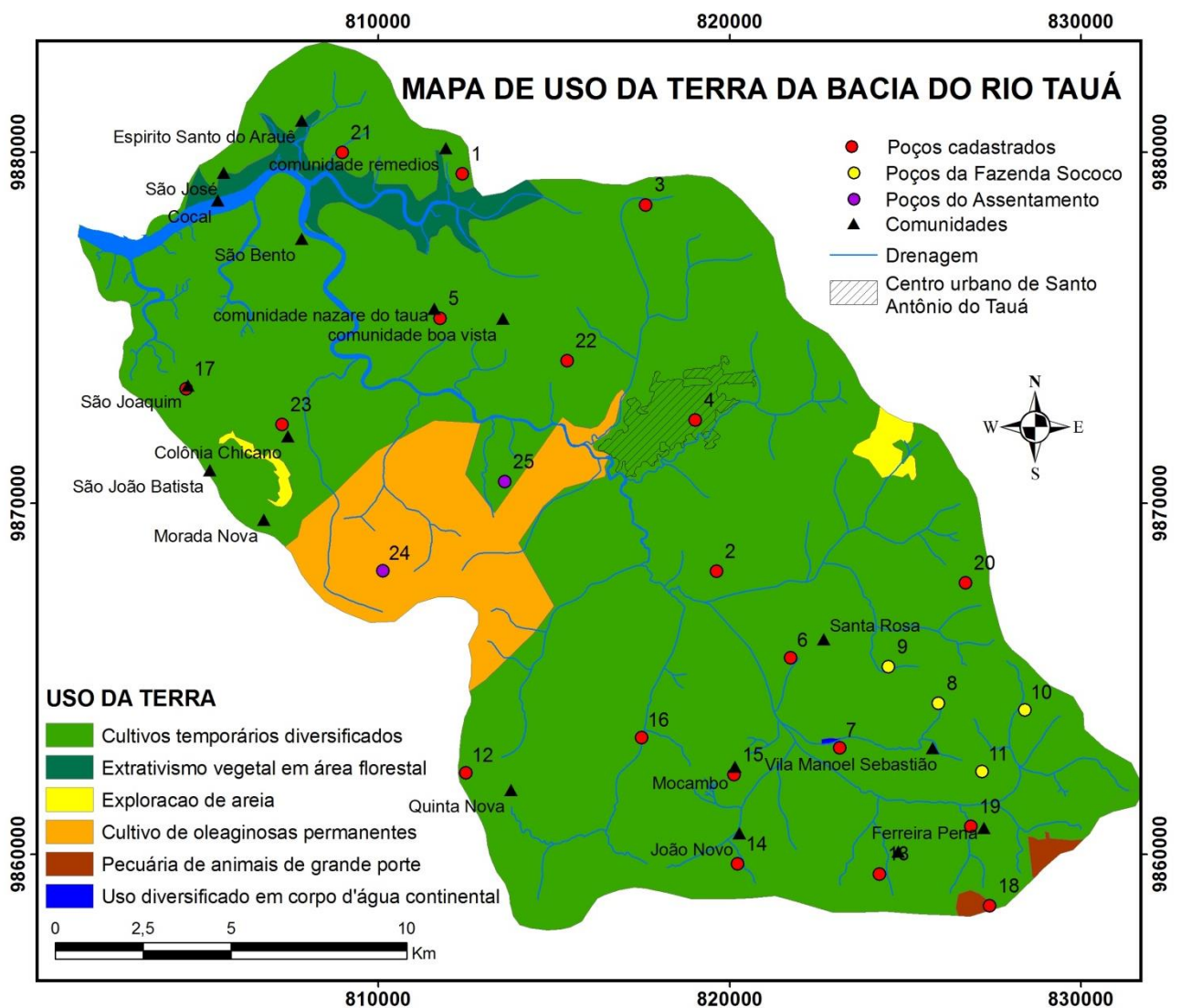
Fonte: Do autor.

Em cerca de 40% das águas analisadas, as concentrações de nitrato aumentaram durante o período chuvoso, enquanto que as concentrações de amônio diminuíram. De acordo com Araújo (2001), durante o período chuvoso, há uma maior facilidade para que soluções ricas em amônio e/ou nitrato, provenientes da superfície do terreno e/ou das fossas, atinjam o lençol freático.

O acesso dos contaminantes ao aquífero livre é facilitado pelo fato dos poços serem desprovidos de proteção sanitária adequada. A possibilidade de contaminação associada à atividades antrópicas (fossas e fertilizantes) é mais evidente quando se observa a precariedade do sistema de esgoto da cidade, onde predomina a proliferação de fossas secas e /ou negras, às proximidades de poços do tipo tubular e escavado, com profundidades entre 6 e 25m.

As principais atividades econômicas da bacia do rio Tauá são a agricultura de subsistência nas comunidades locais, cultivos de coqueiros situados à sudeste da área, na fazenda da SOCOCO e cultivos de oleaginosas a sudoeste (figura 54). Esse último, proporcionou a instalação de duas fábricas de beneficiamento de óleo de palma: a CODENPA e DENTAUÁ (Santo Antônio do Tauá) e DENPASA (Santa Bárbara do Pará). Além disso, na porção sudeste da área, é comum a criação de frangos, como é caso do ponto 6 localizado na granja Nossa Senhora de Fátima.

Figura 54 – Uso da terra na bacia do rio Tauá.



O nitrogênio é um dos elementos de maior presença na adubação química aplicada na agricultura, amplamente utilizado em sistemas de cultivo intensivos onde as plantas desenvolvem seu ciclo de forma acelerada e por repetidas vezes durante o ano em um mesmo local, dependendo quase que exclusivamente de adubação

química e orgânica. Desta forma, quanto maior for a aplicação deste elemento no solo ou substrato, maior será a possibilidade de geração de resíduos e maior o potencial de poluição do solo e da água por lixiviação de nitrato (JADOSKI, 2010)

De acordo com Jadoski (2010), o aumento da concentração de nitrato na água subterrânea e o aumento da contaminação do lençol freático devido às altas taxas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, vêm ocorrendo praticamente no mundo inteiro. Na bacia do rio Tauá, a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação.

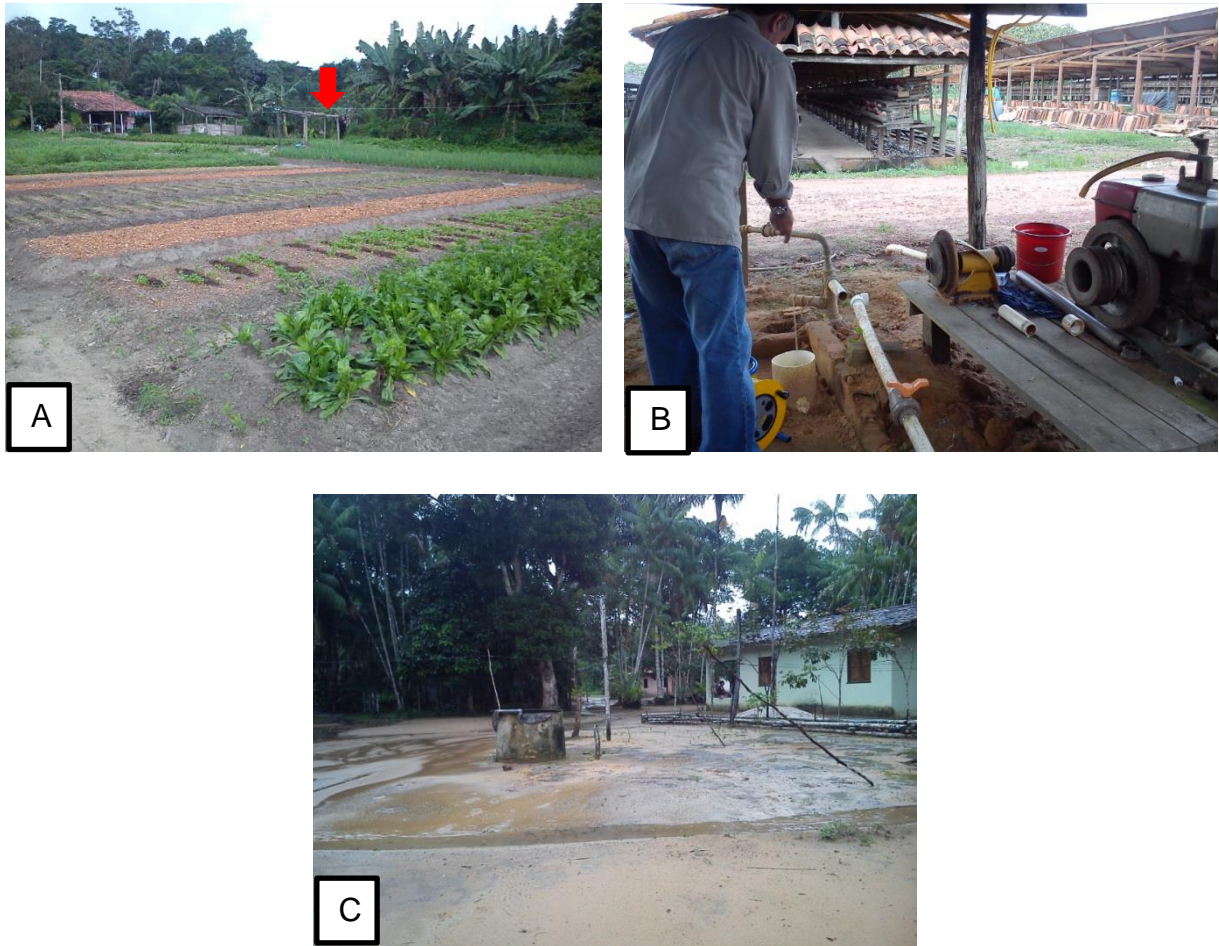
Dynia e Camargo (1999) apud Jadoski (2010) enfatizam que a lixiviação de nitrato é um fenômeno físico, favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo e também pela sua alta solubilidade em água. Devido a fatores climáticos, litologia da área e aos métodos de irrigação, os sais dissolvidos na água podem se acumular no perfil do solo ou ser carregados para as águas subterrâneas.

Por não serem retidos na fase sólida do solo, íons de nitrato, geralmente, ficam dissolvidos em sua solução, e podem ser lixiviados em maior ou menor grau, em função da percolação da água ao longo do perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície Jadoski (2010). A taxa de infiltração da água no solo é em grande parte gerenciada pela litologia da área. Áreas mais arenosas com sedimentos inconsolidados possuem alta taxa de infiltração da água no solo, favorecendo assim a maior infiltração do nitrato e outros contaminantes no solo, como é o caso da bacia do rio Tauá.

O uso de fertilizantes, a liberação de dejetos de criações de aves e outros animais, somados à liberação de esgoto e perfuração de poços e fossas sem acompanhamento técnico são as principais fontes de contaminação da água subterrânea na bacia do rio Tauá. O grupo Barreiras e Pós-Barreiras consistem, principalmente, de sedimentos arenosos, argilosos e inconsolidados os quais afloram em toda a extensão da bacia contribuindo assim para o aumento na taxa de infiltração e veiculação de contaminantes no solo, principalmemente, durante o

período chuvoso, contribuindo para a perda da qualidade das águas tanto nas áreas rurais como nos centros urbanos (figura 55).

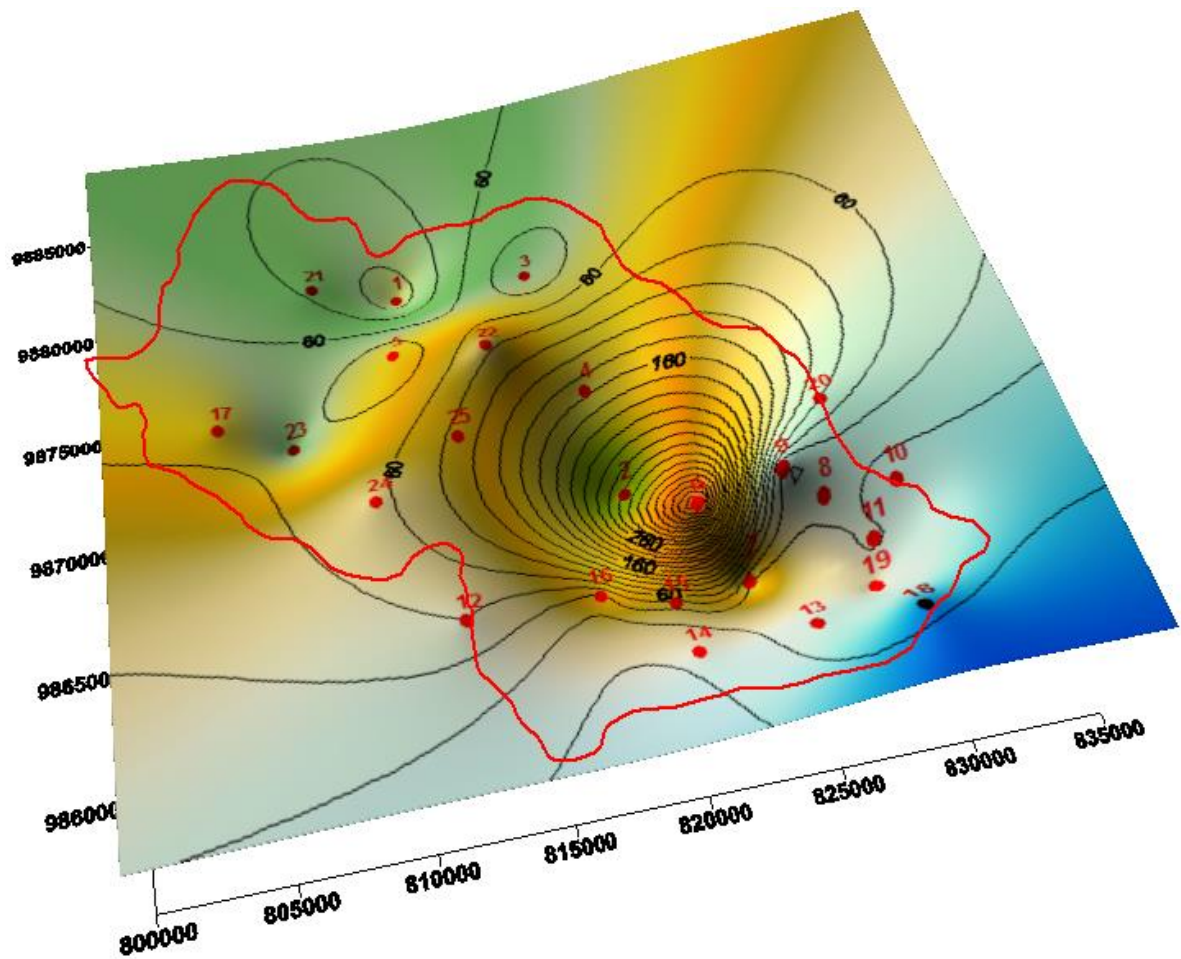
Figura 55 – (A) Poço 13 (tubular) localizado próximo à plantação de verduras e banana. (B) Poço 6 I (tubular) localizado na granja Nossa Senhora de Fátima de criação de galinhas, (C) Poço 17 (escavado) perfurado em terreno arenoso.



Fonte: Do autor.

Durante o período chuvoso, treze dos pocos analisados tiveram o aumento das concentrações de nitrato para valores acima de 10 mg/L, permitido pelo Ministério da Saúde. Com base nisso, foi possível identificar uma pluma de contaminação de nitrato na parte central da bacia do rio Tauá. Essa pluma possui maior teor de nitrato (476,98 mg/L) em torno do poço 6, localizado na granja de Nossa Senhora de Fátima e se expande atingindo o centro urbano de Santo Antônio do Tauá (figura 56).

Figura 56 – Mapa da Pluma de contaminação de nitrato com isovalores em mg/L.



Fonte: Do autor.

5. OSCILAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO

A análise do fluxo hídrico subterrâneo é fundamental para identificação de áreas de recarga e descarga dos aquíferos livres. Para tal, foi confeccionado o mapa de potenciométrico a partir dos valores de carga hidráulica, que são dados pela seguinte equação:

$$\text{CARGA HIDRÁULICA} = \text{COTA TOPOGRÁFICA} - \text{NÍVEL ESTÁTICO}$$

Os valores de cota topográfica foram medidos no campo por meio do aparelho de GPS Garmin 62s, e os valores de nível estático foram obtidos pelo medidor de nível (figura 57).

Figura 57 – Medição do nível estático nos poços 15 (A) e 14 (B).



Fonte: Do autor.

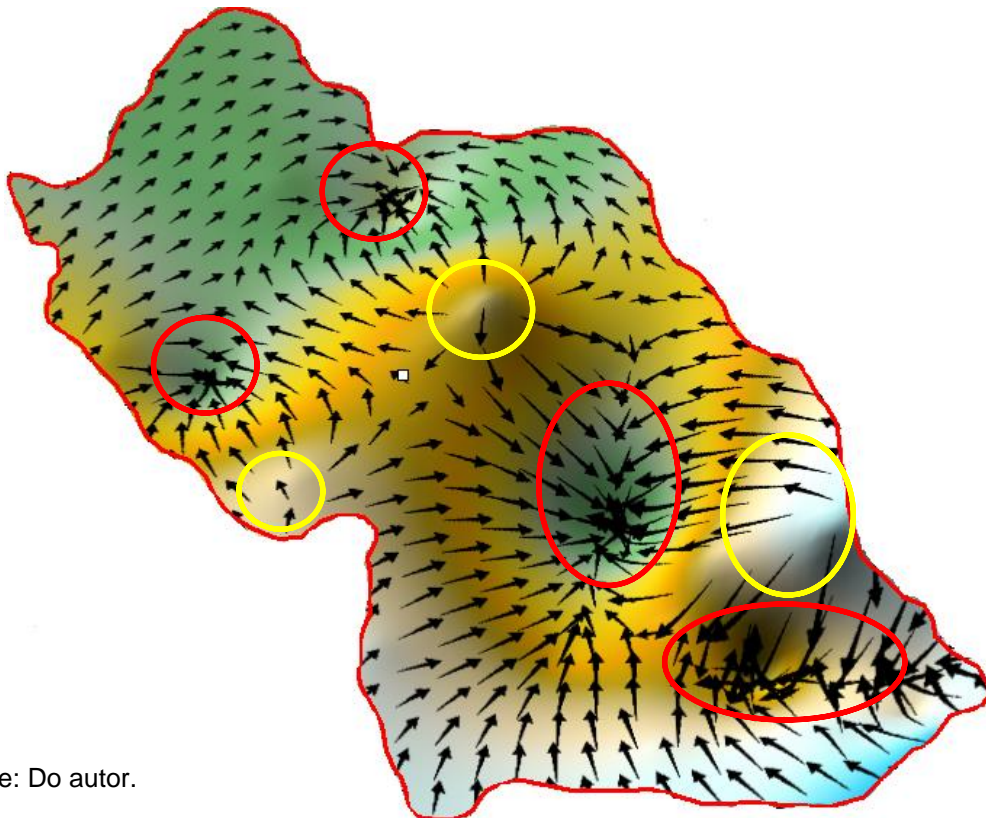
As águas subterrâneas analisadas nesse trabalho pertencem ao aquífero Barreiras livre, o qual é constituído por uma formação geológica permeável e superficial, aflorante em toda a sua extensão. Os aquíferos livres têm como característica o equilíbrio da superfície superior da zona saturada com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta, ou seja, o nível da água varia segundo a precipitação pluviométrica.

A área onde ocorre o abastecimento do aquífero é chamada zona de recarga, enquanto que o escoamento ocorre na zona de descarga. A zona de recarga é aquela onde as águas da chuva se infiltram diretamente no aquífero, através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas subjacentes (recarga direta).

A recarga direta nos aquíferos livres ocorre em toda a superfície acima do lençol freático. Enquanto que a zona de descarga é aquela por onde as águas emergem do sistema, alimentando rios e/ou jorrando com pressão por poços artesianos.

Na bacia hidrográfica do rio Tauá foram identificadas três áreas de recarga e quatro áreas de descarga, ou seja, de escoamento. As áreas de recarga são aquelas em que as setas de fluxo hídrico divergem e estão situadas nas áreas de maior cota topográfica, ou seja, nas porções sudeste, sudoeste e central (figura 58). Já as áreas de descarga são aquelas em que as setas de fluxo hídrico apresentam comportamento convergente e estão, geralmente, associadas a baixos topográficos, uma vez que o fluxo hídrico subterrâneo, geralmente, obedece à topografia do terreno.

Figura 58 – Mapa de fluxo hídrico subterrâneo da bacia hidrográfica do Rio Tauá, com ênfase nas zonas de recarga (amarelo) e descarga (vermelho).



Fonte: Do autor.

A maioria dos parâmetros físico-químicos analisados e descritos acima se concentra, principalmente, nas zonas de descarga. No entanto, o centro urbano de Santo Antônio do Tauá compreende a parte central da bacia do rio Tauá e umas das zonas de recarga identificada. Sendo, então, esta área vulnerável à contaminação do aquífero livre por compostos nitrogenados, uma vez que há uma relação direta dos teores de amônio, nitrito e nitrato e a contaminação por esgoto sanitário e fossas sépticas.

Na porção sudeste, observa-se outra zona de recarga e esta área também se encontra provavelmente, vulnerável à contaminação do aquífero por nitrato utilizado em fertilizantes, já que a porção sudeste da bacia do rio Tauá corresponde a uma imensa área de plantação de coqueiros pertencentes à fazenda da Sococo.

Entre os períodos de estiagem (novembro/2012) e chuvoso (fevereiro/2013), o nível estático da bacia do rio Tauá teve uma variação média de 0,98 m. As zonas de recarga de aquífero da bacia do rio Tauá estão localizadas em centros urbanos e áreas rurais, onde os resíduos lançados no solo e nos cursos de águas superficiais acabam por contaminar as águas subterrâneas do aquífero livre, tornando-as com o tempo, impróprias para o consumo humano.

As áreas de recarga de aquífero deveriam, portanto, ser protegidas com o estabelecimento de normas para restrições do uso e ocupação do solo, a fim de proteger a qualidade e a quantidade de recarga de água subterrânea. Haja vista que, diferentemente dos recursos hídricos superficiais, as águas subterrâneas possuem uma maior dificuldade de tratamento depois de poluídas.

6. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

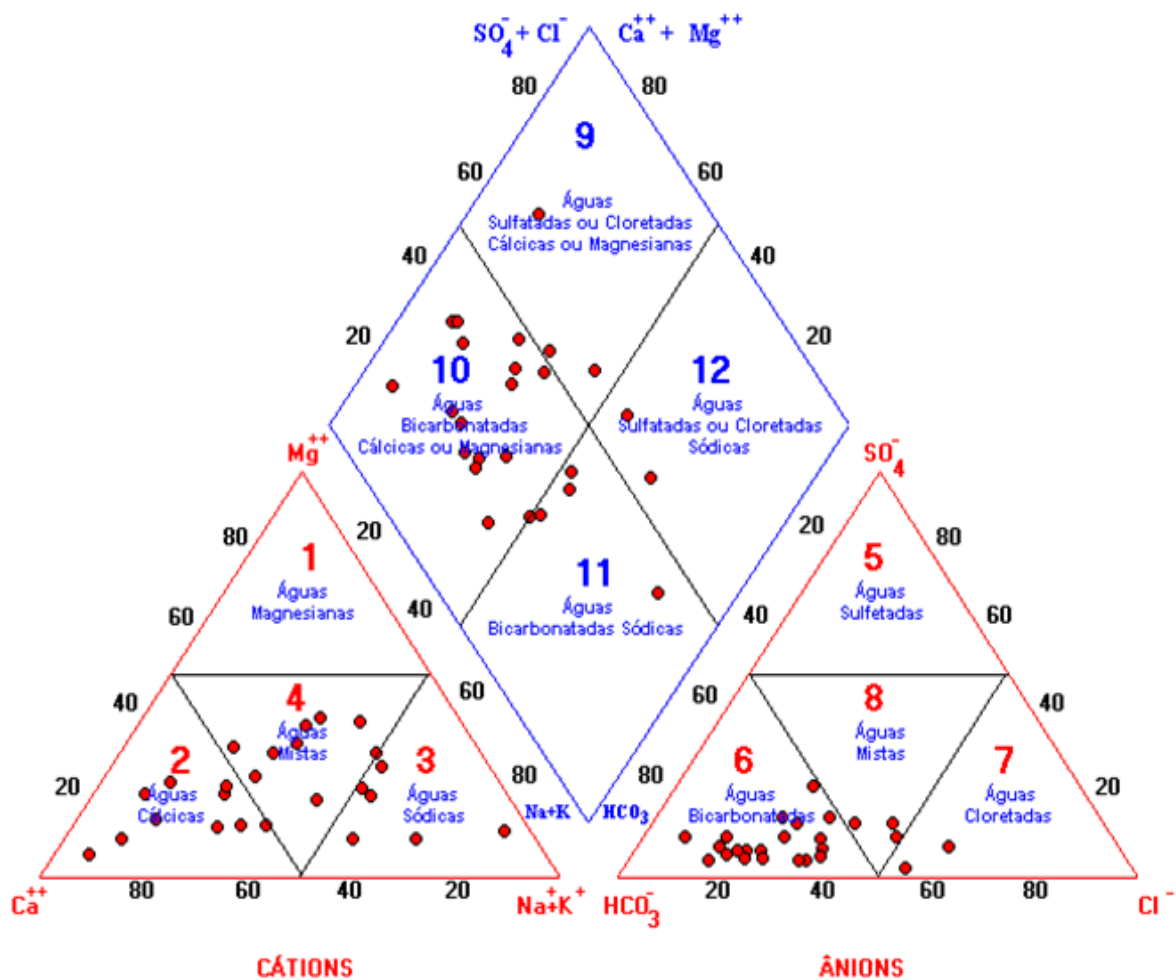
A classificação da água é feita com base nas espécies mais abundantes. Dentre os constituintes principais, o cátion ou ânion que perfaz mais de 50% do conteúdo iônico total, classifica a água de acordo com a espécie predominante ou pelo cátion e ânion que predominam.

A representação gráfica utilizada neste trabalho para classificar a tipologia química da água e para verificar a abundância relativa dos constituintes principais foi

o diagrama de Piper. O diagrama de Piper corresponde à junção de três diagramas individuais que demonstram a percentagem composicional dos íons em miliequivalente (mEq). Agrupam-se os cátions ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{+2} e Ca^{+2}) e os ânions (SO_4^{-2} , HCO_3^- e Cl^-) em diagramas triangulares distintos. Este diagrama trilinear permite detectar diferenças ou semelhanças entre vários tipos de águas, misturas de águas e a origem comum ou não dos íons analisados.

De acordo com a figura 59, as águas da bacia do rio Tauá são classificadas predominantemente como bicarbonatadas cálcicas, uma vez que há a predominância dos íons Ca^{+2} e HCO_3^- , no entanto, em alguns pontos essas águas são bicarbonatadas sódicas e cloretadas cálcicas.

Figura 59 – Diagrama de Piper para a classificação da água da subterrânea da bacia do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

As águas subterrâneas do aquífero Barreiras livre na área de estudo apontam a seguinte tendência iônica: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ para os cátions e $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ para os ânions. Os cátions possuem concentrações químicas controladas por minerais feldspáticos como anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e albita ($2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), que a partir do intemperismo nas rochas, geram a Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), principal produto do intemperismo encontrado no aquífero Barreiras. Quanto aos ânions, apresenta-se o HCO_3^- e Cl^- como íons principais.

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises químicas das amostras foram avaliados em termos estatísticos, através de uma análise de correlação. Esse método permite analisar a distribuição dos dados, distinguindo as suas características particulares, e permite identificar associações entre as variáveis (parâmetros químicos).

A amostragem da área de estudo consiste de 25 pocos em que foram coletados no período de estiagem 3 amostras de água de cada poço (triplicata). Diante dos resultados das análises químicas foram calculados os seguintes valores utilizando o software STATISTICA 7:

Tabela 5 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período de estiagem (novembro/2012)

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão
Fluoreto	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,01
Cloreto	4,10	3,06	0,51	16,99	11,39	3,37
Nitrito	0,02	0,00	0,00	0,17	0,01	0,04
Nitrato	0,58	0,60	0,09	1,32	0,08	0,28
Sulfato	1,13	0,95	0,15	3,51	0,70	0,83
Sódio	1,84	0,62	0,09	16,47	11,64	3,41
Amônio	0,20	0,06	0,00	2,18	0,20	0,44
Potássio	1,11	0,75	0,23	5,25	1,56	1,25
Magnésio	0,48	0,42	0,13	1,20	0,08	0,28
Cálcio	2,57	1,43	0,21	10,91	7,87	2,81
Dureza	3,06	2,24	0,46	12,11	8,87	2,98
N-Amoniacal	0,22	0,08	0,00	1,74	0,17	0,42
Bicarbonato	15,02	13,83	4,07	40,67	71,03	8,43

Fonte: Do autor.

Tabela 6 - Resumo estatístico dos parâmetros químicos da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá no período chuvoso (fevereiro/2013)

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão
Fluoreto	0,15	0,05	0,01	1,32	0,07	0,27
Cloreto	31,66	4,87	0,29	219,21	3052,90	52,25
Nitrito	0,02	0,00	0,00	0,44	0,01	0,06
Nitrato	34,42	10,80	0,22	476,98	9013,95	94,94
Sulfato	7,12	1,89	0,49	31,30	78,70	8,87
Sódio	20,83	2,69	0,05	173,18	1776,02	42,14
Amônio	1,30	0,00	0,00	18,12	14,58	3,82
Potássio	8,38	2,47	0,33	73,69	242,09	15,56
Magnésio	1,64	0,57	0,01	14,30	10,98	3,31
Cálcio	15,13	5,14	0,68	140,43	849,75	29,15
Dureza	16,76	5,71	1,00	154,76	1045,06	32,32
N-Amoniacal	1,07	0,00	0,00	14,92	9,89	3,14
Bicarbonato	17,50	13,01	5,69	67,51	154,62	12,43

Fonte: Do autor.

De acordo com os dados das tabelas 4 e 5, pode-se observar que do período seco para o chuvoso houve um aumento das médias referente às concentrações de todos os parâmetros químicos analisados, exceto em relação ao nitrito que manteve média constante (0,02 mg/L). O enriquecimento de íons na água subterrânea é proporcional ao aumento da condutividade elétrica.

Esse aumento na concentração deve-se, principalmente, à mobilidade, solubilidade e concentração dos componentes iônicos envolvidos no processo de intemperismo cujo principal agente no período chuvoso é a água pluviométrica que se infiltra no solo transportando íons e os concentrando no lençol freático.

Existem três diferentes tipos de correlação nos sistemas aquosos (REDDY e NAYUDU, 1997 *apud* PARANHOS, 2010):

- Forte correlação entre íons de mesma carga, porém número de valência diferente;
- Forte associação química entre íons de cargas opostas, mas número de valência igual;
- Baixa correlação entre íons de mesma carga e número de valência igual.

Tabela 7 – Matriz de correlação dos parâmetros químicos da bacia do rio Tauá referente ao período seco (novembro/2012).

	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Dureza	N.A.*	HCO ₃ ⁻
F	1												
Cl	0,68	1											
NO ₂ ⁻	0,25	0,71	1										
NO ₃ ⁻	0,35	0,48	0,54	1									
SO ₄ ⁻²	0,18	0,06	-0,28	-0,29	1								
Na	0,72	0,88	0,4	0,44	0,09	1							
NH ₄ ⁺	0,41	0,70	0,52	0,4	-0,36	0,76	1						
K ⁺	0,5	0,59	0,1	0,07	0,4	0,59	0,22	1					
Mg ⁺²	0,48	0,6	0,26	0,02	0,24	0,56	0,34	0,80	1				
Ca	0,25	0,56	0,5	0,12	0,27	0,33	0,09	0,71	0,6	1			
Dureza	0,28	0,58	0,5	0,11	0,28	0,36	0,12	0,74	0,66	1	1		
N.A.	0,07	0,35	0,25	0,23	-0,34	0,38	0,52	0,02	0,02	-0,09	-0,08	1	
HCO ₃ ⁻	0,19	0,42	0,43	0,3	0,28	0,25	0,12	0,16	0,12	0,4	0,38	0,04	1

N.A.*: N-Amoniacal

Fonte: Do autor.

Tabela 8 – Matriz de correlação dos parâmetros químicos da bacia do rio Tauá referente ao período chuvoso (fevereiro/2013).

	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Dureza	N.A.	HCO ₃ ⁻
F	1												
Cl	0,28	1											
NO ₂ ⁻	0,03	0,53	1										
NO ₃ ⁻	0,02	0,33	0,67	1									
SO ₄ ⁻²	0,29	0,60	0,34	0,72	1								
Na ⁺	0,24	0,96	0,64	0,27	0,47	1							
NH ₄ ⁺	0,09	0,53	0,59	-0,08	-0,07	0,68	1						
K ⁺	0,20	0,61	0,84	0,92	0,75	0,59	0,24	1					
Mg ⁺²	0,18	0,65	0,94	0,82	0,57	0,69	0,43	0,96	1				
Ca	0,23	0,56	0,84	0,93	0,72	0,55	0,20	0,99	0,95	1			
Dureza	0,23	0,57	0,85	0,92	0,71	0,57	0,23	0,99	0,96	1	1		
N.A.	0,09	0,53	0,59	-0,08	-0,07	0,68	1	0,24	0,43	0,20	0,23	1	
HCO ₃ ⁻	0,01	0,65	0,68	0,14	0,10	0,79	0,75	0,42	0,58	0,41	0,43	0,75	1

N.A.*: N-Amoniacal

Fonte: Do autor.

A matriz de correlação entre os principais parâmetros químicos analisados durante os dois períodos (seco e chuvoso), mostra valores diferenciados. O período seco é caracterizado por apresentar forte correlação positiva entre K⁺ e Mg⁺² (r = 0,80), K⁺ e Ca⁺² (r = 0,71), Ca⁺² e Mg⁺² (r = 0,89), Na⁺ e Cl⁻ (r = 0,88), Na⁺ e NH₄⁺ (r

= 0,76), Na^+ e F^- ($r = 0,72$), Cl^- e NO_2^- (0,71), e Cl^- e NH_4^+ (0,70). Além disso, a dureza possui correlação positiva em relação aos íons de potássio ($r = 0,74$).

Enquanto que o período chuvoso é caracterizado por apresentar uma correlação muito boa entre K^+ e Ca^{+2} ($r = 0,99$), K^+ e Mg^{+2} ($r = 0,96$), K^+ e NO_3^- ($r = 0,92$), K^+ e NO_2^- ($r = 0,84$), Ca^{+2} e Mg^{+2} ($r = 0,95$), Ca^{+2} e NO_3^- ($r = 0,93$), Ca^{+2} e NO_2^- , Mg^{+2} e NO_2^- ($r = 0,94$), Mg^{+2} e NO_3^- ($r = 0,82$) e Na^+ e Cl^- ($r = 0,96$). Além disso, a dureza tem correlação positiva, principalmente, com íons potássio ($r = 0,99$), magnésio ($r = 0,96$). Vale ressaltar, as correlações relevantes estão associadas às afinidades químicas e às diversas reações que liberam íons para o meio aquoso.

8. GEOMORFOLOGIA

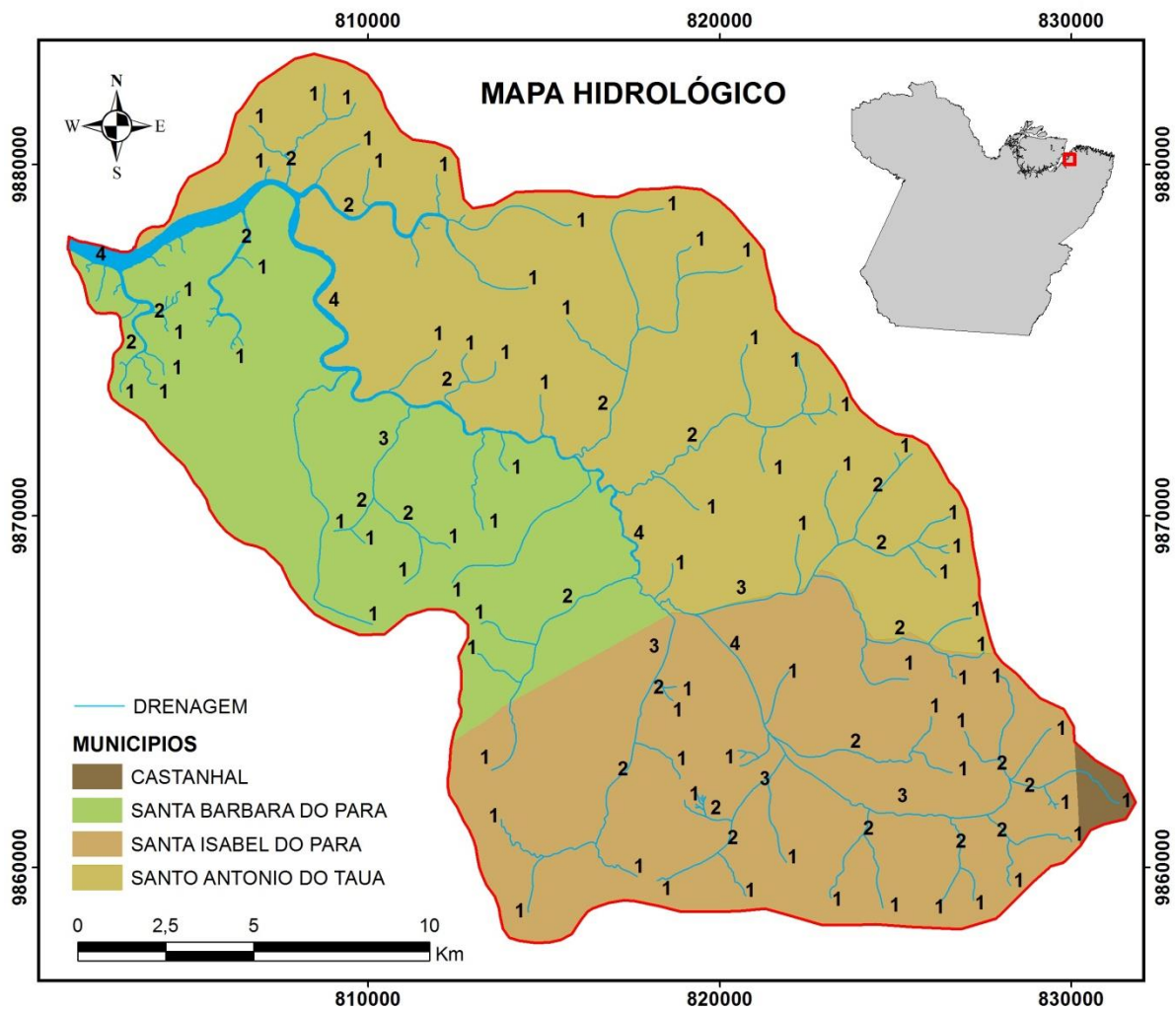
8.1. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA REDE DE DRENAGEM

A rede de drenagem traçada de forma sistemática e uniforme pode fornecer informações de grande importância, especialmente quanto à estrutura geológica da área; variações no estilo estrutural e, mais grosseiramente, nas facies litológicas (SOARES; FIORI, 1976).

A Bacia do Rio Tauá é bacia hidrográfica de 4º ordem, segundo a classificação hierárquica proposta por Strahler (1952), a qual considera que um segmento que não tenha nenhum tributário é classificado como de primeira ordem, e seria o canal mais jovem a ser formado na evolução da bacia. O seguimento de segunda ordem é formado pela junção de dois de primeira ordem, e assim por diante (figura 60).

O canal principal se inicia na porção sudeste da bacia deslocando-se na direção N – NW até formar seu exutório na Baía do Sol (Rio Pará). A rede de drenagem apresenta padrão dendrítico.

Figura 60 – Classificação da bacia do rio Tauá em 4º ordem segundo Strahler (1952).

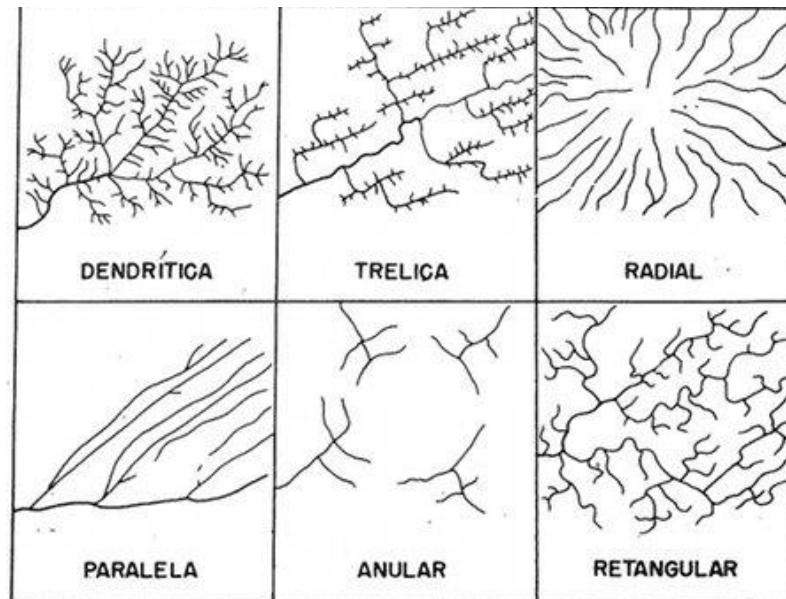


Fonte: Do autor.

A análise e classificação da Bacia do Rio Tauá foi feita levando em consideração as definições de Soaris e Fiori (1976) em relação a densidade de textura de drenagem, sinuosidade, angularidade, tropia, assimetria e lineações de drenagem (figura 62):

- **Padrao textural:** É a descrição textural da paisagem (figura 61).
- **Densidade de textura de drenagem:** É a quantidade de elementos de drenagem. É classificada em alta, média e baixa. Essa propriedade é importante na delimitação de bacias, sub-bacias e zonas homólogas de drenagem.

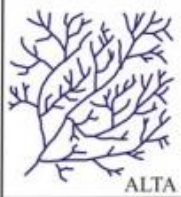









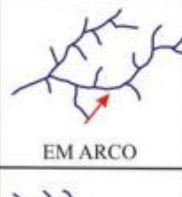




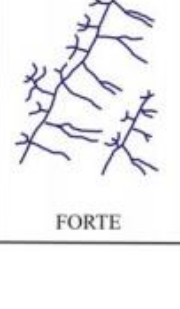
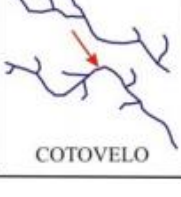

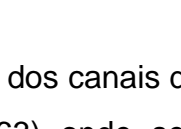
Figura 61 – Tipos de padrões texturais de drenagem.



Fonte: Soares e Fiori (1976).

- **Sinuosidade dos elementos texturais de drenagem;** é classificada em predominantemente curvos; predominantemente retilíneos; e curvos e retilíneos (mistos). Sendo que os elementos retilíneos são considerados lineações de drenagem e a disposição em linha reta das lineações de drenagem constituem alinhamentos de drenagem.
- **Angularidade:** refere-se ao ângulo de confluência dos elementos de drenagem. Zonas homólogas de drenagem podem ser classificadas em: baixa (ângulos agudos $< 60^\circ$), média (ângulos retos $> 60^\circ$ e $< 120^\circ$) alta ($> 120^\circ$).
- **Tropia:** É a propriedade dos elementos de drenagem se desenvolverem segundo uma direção preferencial. Quanto a esta propriedade, pode-se considerar a estrutura da drenagem tendo em vista a presença de uma ou mais direções de linhas de drenagem francamente dominantes.
- **Assimetria:** Caracteriza a diferente distribuição dos tributários, em relação ao eixo principal em termos de quantidade, comprimento e/ou forma destes elementos. Pode ser fraca (diferença no tamanho dos elementos) ou forte (tamanho e forma).
- **Lineações de drenagem:** são elementos de drenagem fortemente estruturados, retilíneos ou em arco.

Figura 62 – Propriedades da drenagem.

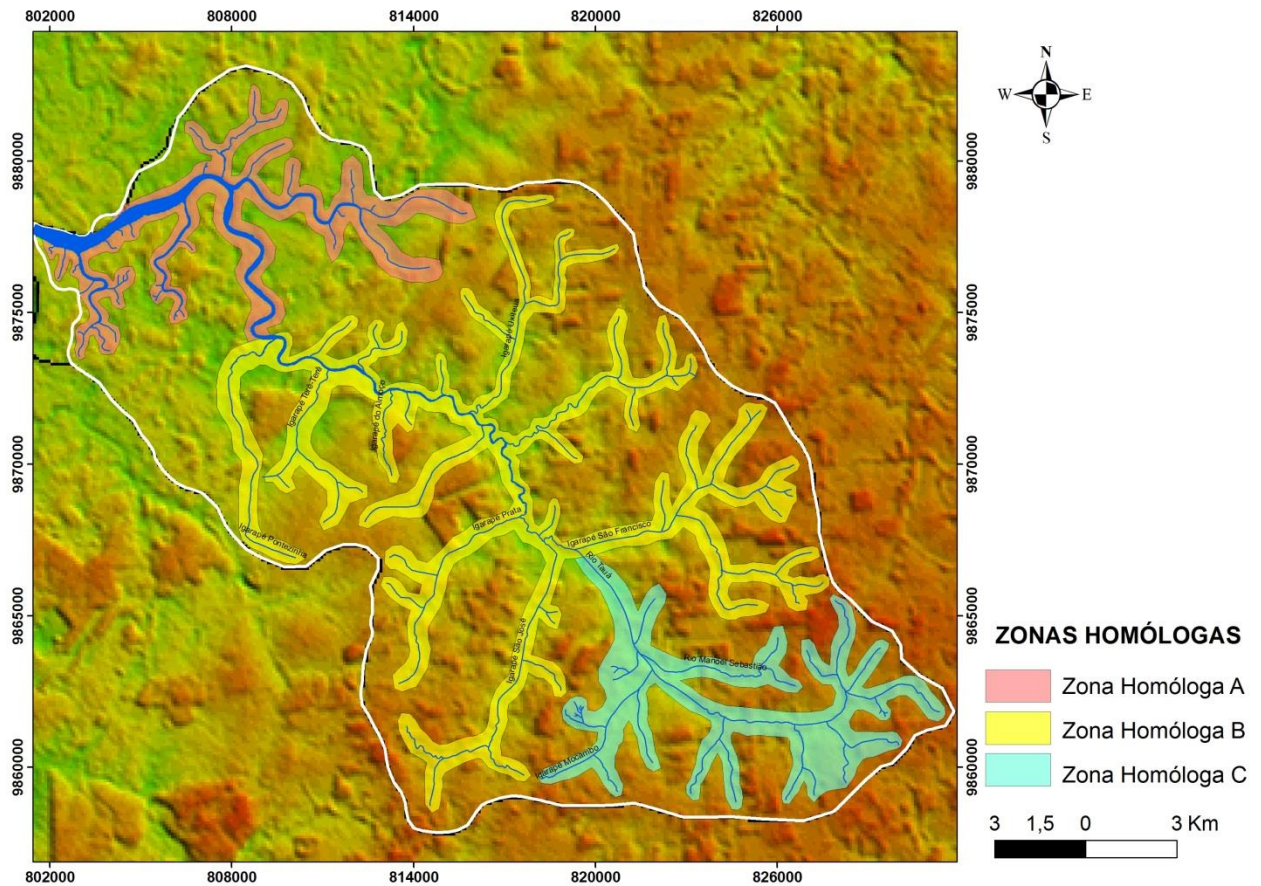
A- Densidade	B-Sinuosidade	C-Angularidade	D-Tropia	E-Assimetria	F-Formas Anômalas
 ALTA	 CURVO	 ALTA	 UNIDIRECIONAL	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTO	 MÉDIA	 BIDIRECIONAL		 EM ARCO
 BAIXA	 RETILÍNEO	 BAIXA	 TRIDIRECIONAL	 FORTE	 COTOVELO
			 MULTIDIRECIONAL		
			 ORDENADA		

Fonte: Soares e Fiori (1976).

A partir da análise da disposição dos canais de drenagem, a bacia foi dividida em **três zonas homólogas** (Figura 63) onde se realizou a análise topológica segundo Soares e Fiori (1976). É importante ressaltar que a análise topológica permite identificar como os canais se interligam, não considerando medidas lineares e espaciais. Esse tipo de informação mostra-se relevante, uma vez que possibilita estabelecer analogias sobre os percursos dos segmentos afluviiais e os seus tributários, bem como realizar inferências do ponto de vista geológico e geomorfológico em relação as áreas por onde se deslocam (SANTOS; LIMA, 2009).

Segundo Santos e Lima (2009), as zonas homólogas de uma bacia hidrográfica podem ser classificados de acordo com o grau de continuidade, ou seja, devido a maior ou menor continuidade do traçado da drenagem. Quando o mesmo for bem marcante em termos de continuidade, como em C diz-se que o grau é alto, no entanto, ele pode ser médio como no setor A ou baixo, como no setor B. Essa classificação é influenciada pela permeabilidade, porosidade e grau de dissolução das rochas.

Figura 63 – Zonas homólogas de drenagem da bacia hidrográfica do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

A **zona homóloga A** corresponde a porção noroeste da bacia do Rio Tauá. Esta zona apresenta um padrão de drenagem dendrítica com o rio principal na direção NE-SW e NW-SE e tributários transversais com direções NW-SE e WNW-ESE. Em comparação com as outras zonas, a zona homóloga A exibe densidade de drenagem baixa, sinuosidade curva, angularidade média, tropia tridimensional.

Em relação a assimetria, esta zona apresenta vertentes maiores do lado direito do que o lado esquerdo, indicando um provável bloco abatido do lado direito, ou seja, um bloco alto do lado esquerdo e um bloco baixo do lado direito. Nesta zona podem ser observadas anomalias de drenagem como formas em arco e em meandros isolados.

A **zona homóloga B** corresponde a parte central da bacia do Rio Tauá. Esta zona apresenta como padrão de drenagem retangular com o rio principal na direção NW-SE e tributários transversais com direções NE-SW e NW-SE. Comparado às outras zonas, a zona homóloga B exibe densidade média, sinuosidade retilínea, angularidade alta e tropia bidimensional com direções preferenciais NE-SW e NW-

SE. Esta zona apresenta assimetria fraca, no entanto, pode-se observar que algumas vertentes são maiores que as outras, indicando abatimentos de blocos (figura 64). Em relação à anomalias, nesta zonas são observadas formas em arco, em cotovelo e anomalias em Z, indicando uma movimentação dextral na direção NE-SW.

A **zona homóloga C** corresponde à porção sudeste da bacia do Rio Tauá e apresenta padrao de drenagem dentrítico, com o rio principal na direção NW-SE e WNW-ESSE, enquanto que seus tributários apresentam direção principal NE-SW, assim como na zona homóloga B. Esta zona homóloga apresenta possui densidade alta, sinuosidade curva, angularidade média e tropia bidimensional.

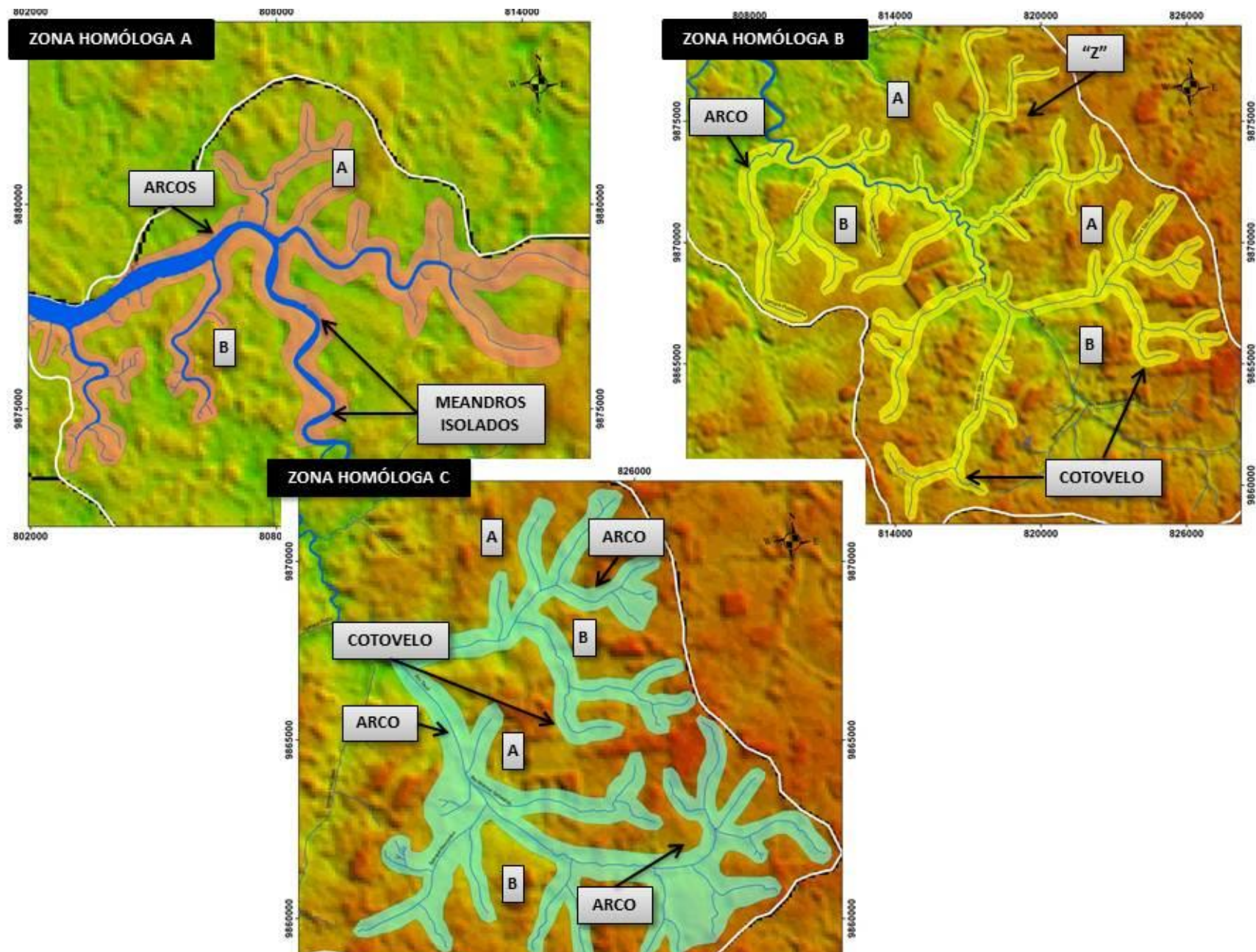
A zona homóloga C apresenta forte assimetria, com vertentes menores do lado esquerdo e maiores no lado direito, ou seja, blocos altos e baixos respectivamente. Além disso, esta zona apresenta anomalias em arco e em cotovelo.

Tabela 9 - Principais propriedades da drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá,

Propriedades	Zona A	Zona B	Zona C
Padrão textural	Dendrítico	Retangular	Dendrítico
Densidade	Baixa	Média	Alta
Sinuosidade	Curva	Retilínea	Curva
Angularidade	Média	Alta	Média
Tropia	Tridimensional	Bidimensional	Bidimensional
Assimetria	Forte	Fraca	Forte
Formas anômalas	Cotovelos e Meandros isolados	Cotovelos, Arcos e Anomalias em "Z"	Cotovelos e Arcos

Fonte: Do autor.

Figura 64 – Formas anômalas de drenagem da bacia hidrográfica do rio Tauá e definição de altos e baixos topográficos com base na assimetria.



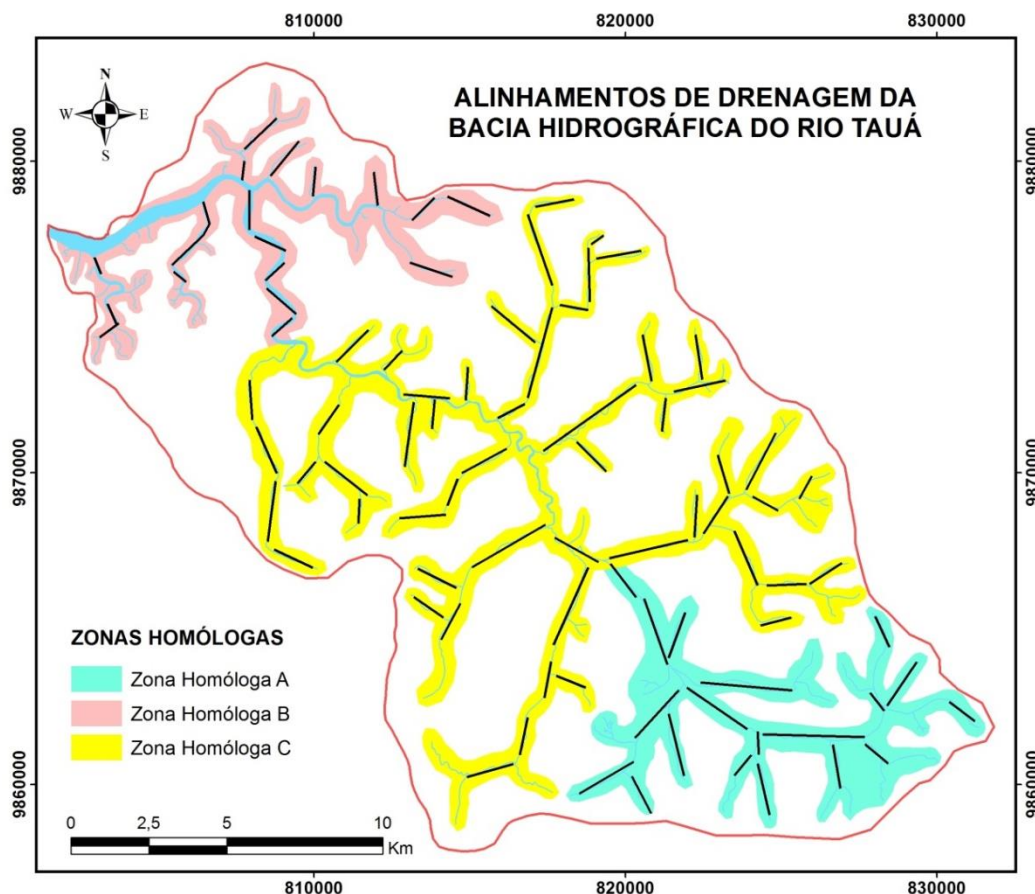
Fonte: Do autor.

8.2. ANÁLISE ESTRUTURAL DA REDE DE DRENAGEM

Com base na análise da drenagem é possível perceber as lineações e alinhamentos dos canais, variação do tipo de padrão de drenagem, observação das anomalias, ou seja, passagem de um canal retilíneo para meandrante, ou de meandrante para entrelaçado ou vice-versa. Desta forma, a interpretação permite uma possível definição da geometria e de cinemática das estruturas que estão representadas por sistemas de fraturas e juntas e associadas aos diferentes regimes tectônicos como estruturas relacionadas a movimento vertical a estruturas associadas à movimentação direcional (BEZERRA, 2003 apud BANDEIRA, 2008).

Segundo Soares et al. (1982) canais retilíneos podem indicar controle estrutural e o agrupamento de lineações de drenagem constitui um alinhamento de drenagem. A observação dos segmentos retilíneos de drenagem possibilitou a elaboração do mapa de alinhamentos de drenagem (figura 65) e rosáceas para cada zona homóloga. Os alinhamentos de drenagem são estruturas importantes, uma vez que, provavelmente, correspondem a traços de estruturas neotectônicas.

Figura 65 – Alinhamento de drenagem da bacia do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

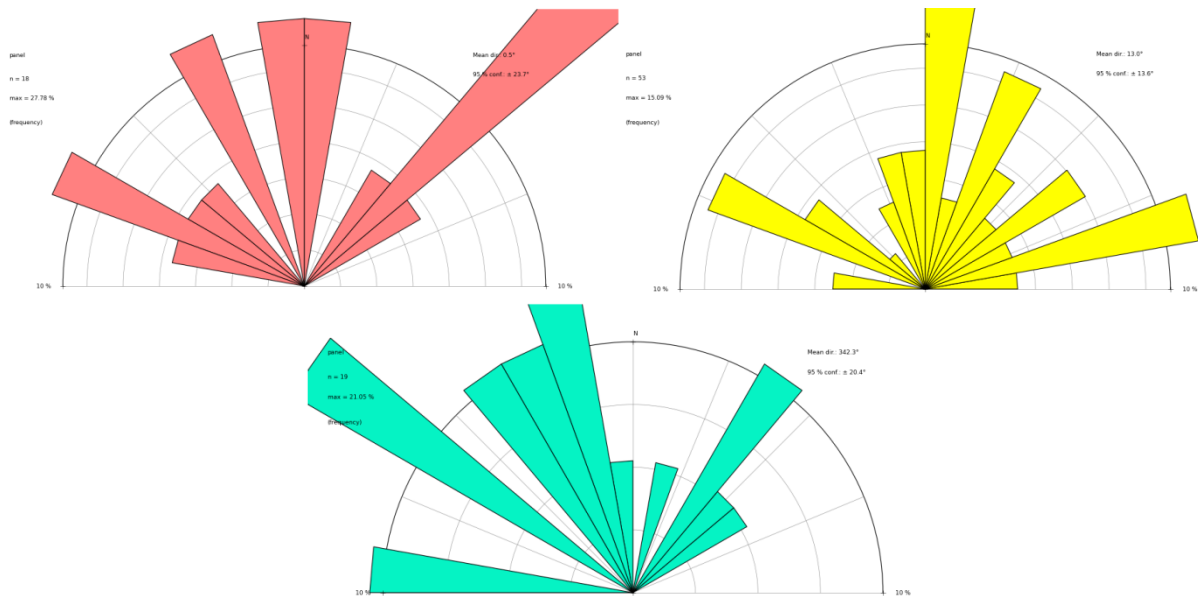
Tabela 10 - Principais direções de alinhamentos de drenagem da Bacia do Rio Tauá.

TRENDS DE LINEAÇÃO DE DRENAGEM (Az.)				
Zona Homóloga A	Zona Homóloga B			Zona Homóloga C
				059
226	176	111	187	346
039	187	060	135	124
156	115	119	129	091
159	128	012	077	034
129	035	156	033	161
054	045	021	028	170
180	079	057	157	142
115	055	062	088	095
227	080	078	076	043
131	188	119	163	200
049	004	029	183	219
114	185	055	204	155
108	043	015	190	127
173	039	161	028	130
185	003	100	117	177
046	085	179	125	142
008	062	169	074	167
045	095	172		152

Fonte: Do autor.

De acordo com o tratamento das medidas de lineação de drenagem (tabela 6) pode-se observar que zona homóloga A possui alinhamentos com orientação em quatro direções principais: NE-SW, NNW-SSE, NNE-SSW e NW-SE. Os alinhamentos de drenagem da zona homóloga B apresentam orientações principais segundo as direções NE-SW, NNE-SSW, ENE-WSW e NW-SE, enquanto que a zona homóloga C possui alinhamentos com orientação principal nas direções NNW-SSE; NW-SE e NE-SW (figura 66).

Figura 66 – Rosáceas dos alinhamentos de drenagem da bacia do rio Tauá referente às zonas homólogas A, B e C.



Fonte: Do autor.

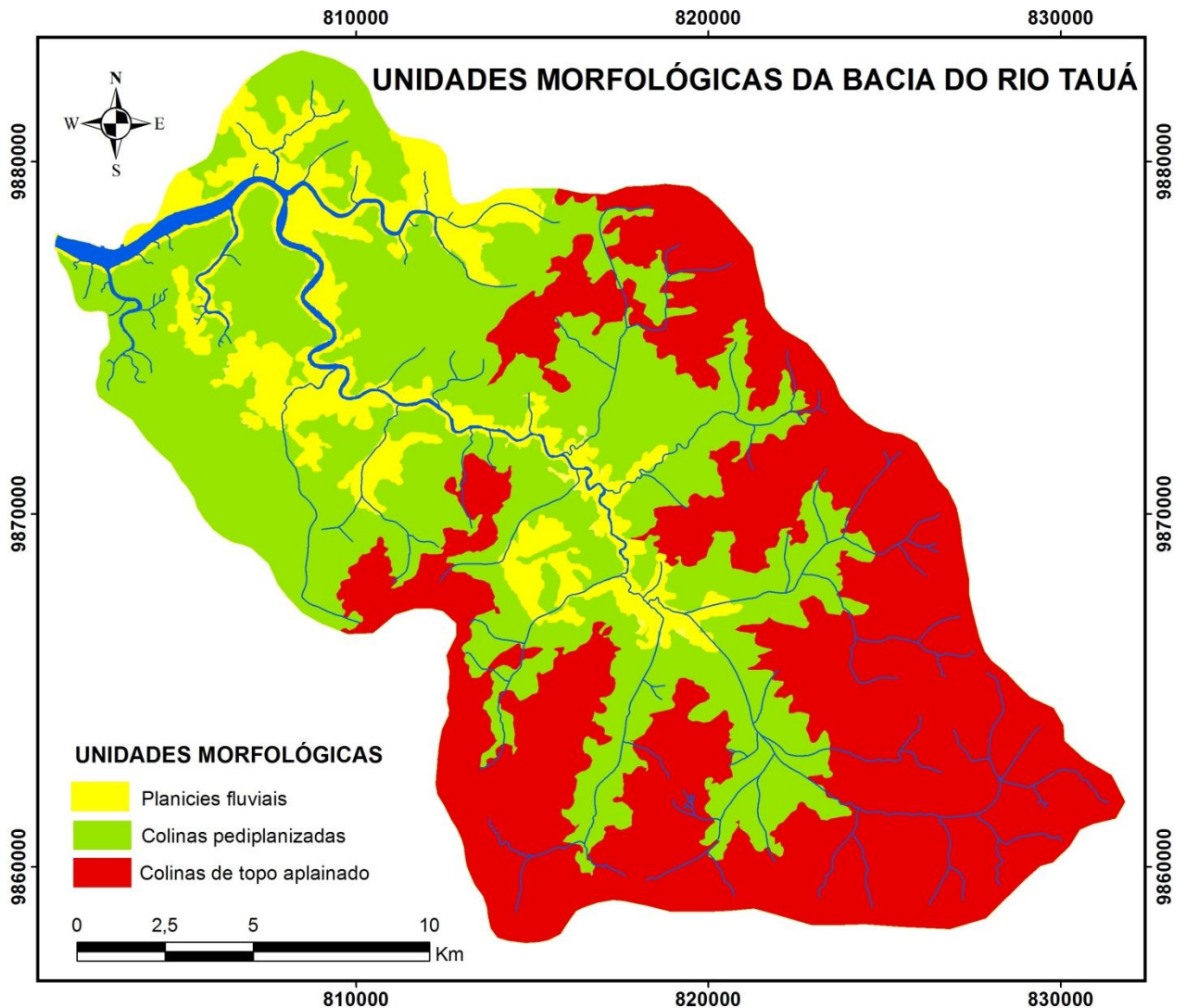
8.3. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DO RELEVO

A área de estudo está inserida na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia, que constitui uma extensa superfície denominada de Pediplano Pleistocênico (BARBOSA et al., 1973 apud BANDEIRA, 2008). Além disso, a bacia do rio Tauá é caracterizada pela presença de relevos tabulares com altitudes variando de 0 a 75 metros.

O relevo é sustentado pelo Grupo Barreiras, com suas coberturas lateríticas, além de depósitos argilo-arenosos dos sedimentos Pós-Barreiras e aluviões. As planícies fluviais formam áreas aplainadas ao longo das margens dos rios, constituindo o sistema de relevos de agradação da área.

Levando-se em consideração o trabalho desenvolvido por Bandeira (2008) no município de Castanhal, situado a sudeste da bacia do rio Tauá, e as observações feitas durante as etapas de campo deste trabalho, a área de estudo é regionalmente compartimentada em três unidades morfológicas principais: planícies fluviais, colinas pediplanizadas e colinas de topos aplainados (figura 67).

Figura 67 – Unidades morfológicas de relevo definidas a partir de imagem SRTM da bacia do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

Colinas de topos aplainados recobrem, em grande parte, as porções nordeste, sudeste e sudoeste da bacia do rio Tauá. Essa unidade morfológica é caracterizada por relevos aplainados com suaves ondulações. Representa a porção mais elevada da região com cotas altimétricas que variam entre 30 e 60m,

Colinas pediplanizadas recobrem a porção central e noroeste da área. Essa unidade é caracterizada por um relevo bastante ondulado, com cotas altimétricas que variam entre 15 e 30m.

Planícies Fluviais correspondem ao revido de agradação, em que predominam os processos de deposição sobre os de erosão, uma vez que essas planícies são formadas pela deposição de material aluvial erodido das áreas mais

elevadas e depositadas nas margens dos rios. Esta unidade morfológica abrange mais notadamente as faixas marginais do Rio Tauá e suas drenagens secundárias. Na bacia do rio Tauá, esta unidade encontra-se em cotas altimétricas que variam entre 5 e 15.

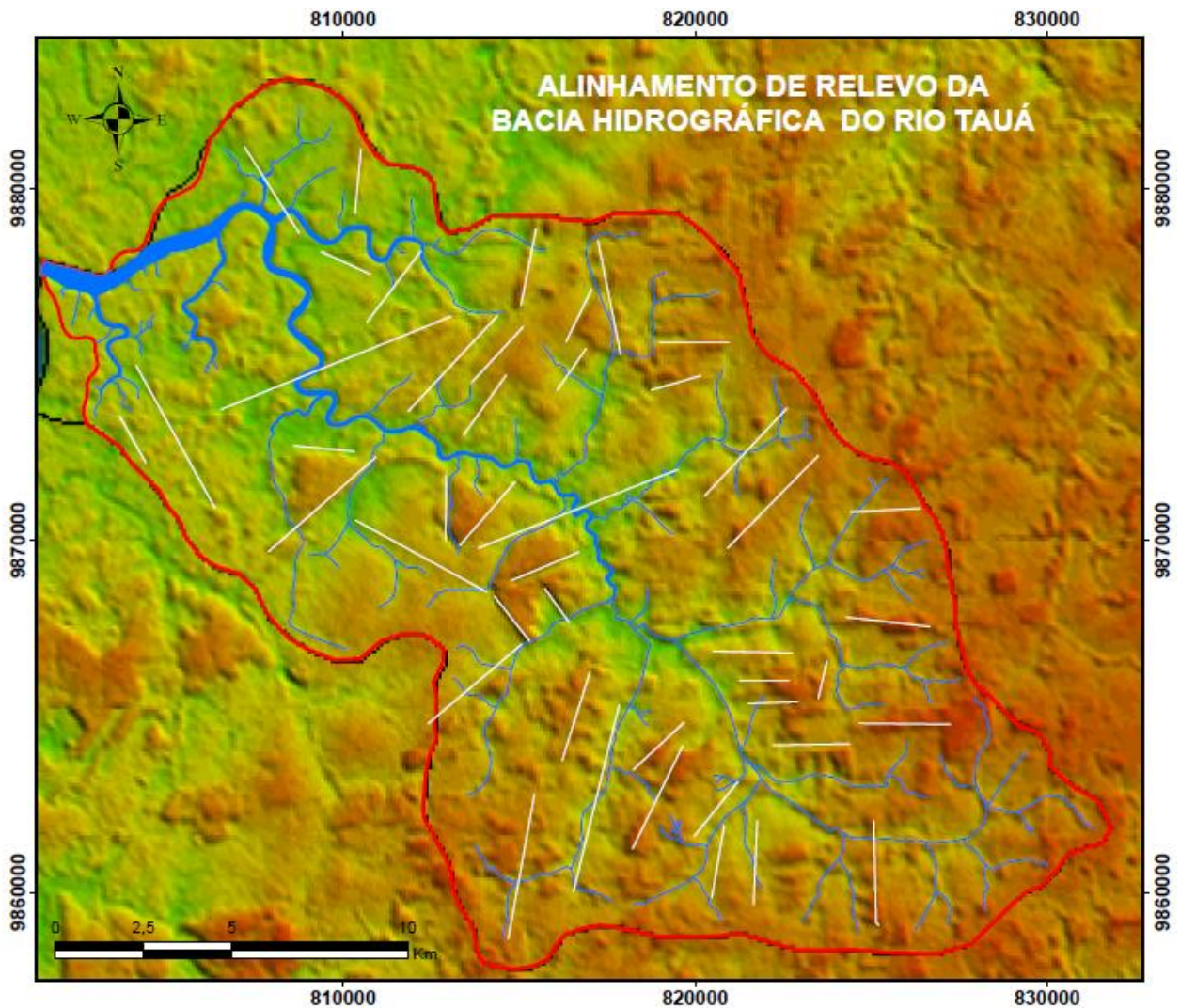
8.4. ANÁLISE ESTRUTURAL DO RELEVO

De acordo com Soares e Fiori (1976), os elementos fundamentais na análise do relevo para interpretação geológica são as rupturas de declive. A disposição regular das rupturas de declive constitui estruturas de relevo conhecidas como quebras negativas ou quebras positivas ou, ainda, lineações e alinhamentos de relevo. As principais estruturas de relevo analisadas nesse trabalho são:

- **Quebra positiva:** Constituem as cristas do relevo, podendo ser abruptas (agudas) ou suaves. De modo geral, constituem limites definidos entre distintas zonas homólogas de relevo.
- **Quebra negativa:** constitui uma forma rebaixada no relevo, formada pela disposição estruturada das rupturas de declive com a concavidade voltada para cima.
- **Lineações de relevo:** são pequenas feições lineares, pouco salientes no relevo, fortemente estruturadas, retilíneas ou curvas; dependendo do grau de resolução da imagem, aparecem como uma forma linear fortemente estruturada dos elementos de relevo.
- **Alinhamento do relevo:** constituem uma feição bastante saliente no relevo, com disposição retilínea ou levemente curva, e forte estruturação dos elementos de relevo; de modo geral, apresentam conjunto de lineações paralelas. Constitui uma crista simétrica ou levemente assimétrica.

A observação dos segmentos retilíneos de relevo possibilitou a elaboração do mapa de alinhamentos de relevo (figura 68) e rosáceas a fim de se indicar as direções principais de traços estruturais que contribuem para a configuração do quadro neotectônico da bacia do rio Tauá.

Figura 68 – Alinhamentos de relevo da bacia do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

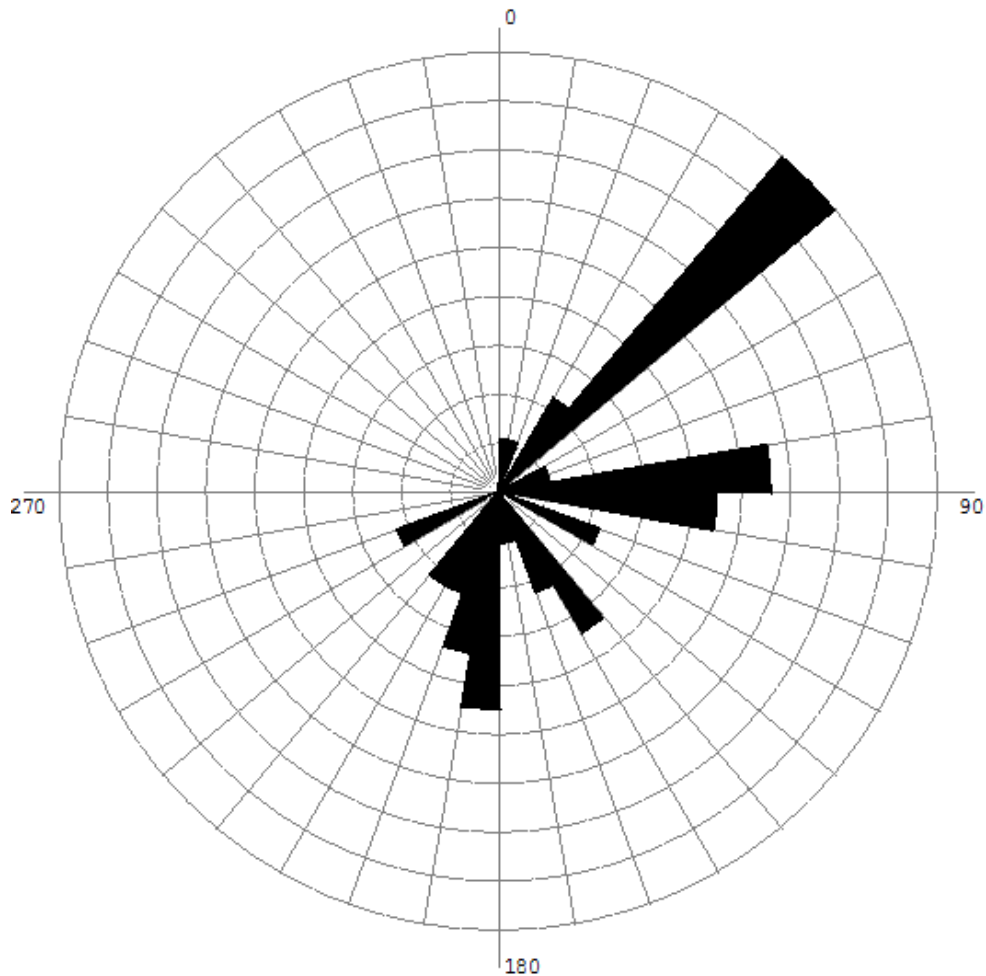
Tabela 11 - Principais direções de alinhamentos de relevo da bacia do rio Tauá.

TRENDS DE LINEAÇÃO DE RELEVO (Az.)				
001	182	035	041	043
013	185	039	043	043
044	190	047	049	050
067	190	074	087	088
089	191	090	090	091
091	194	095	0,97	115
119	197	142	144	148
151	206	151	169	179
206	215	217	248	247

Fonte: Do autor.

As medidas de lineação de relevo (tabela 10) foram plotadas na rosácea abaixo (figura 69). Pode-se observar que as lineações possuem como direção principal NE-SW e NW-SE. E são concordantes com as direções principais dos alinhamentos de drenagem

Figura 69 – Direções principais de lineações de relevo da bacia do rio Tauá.

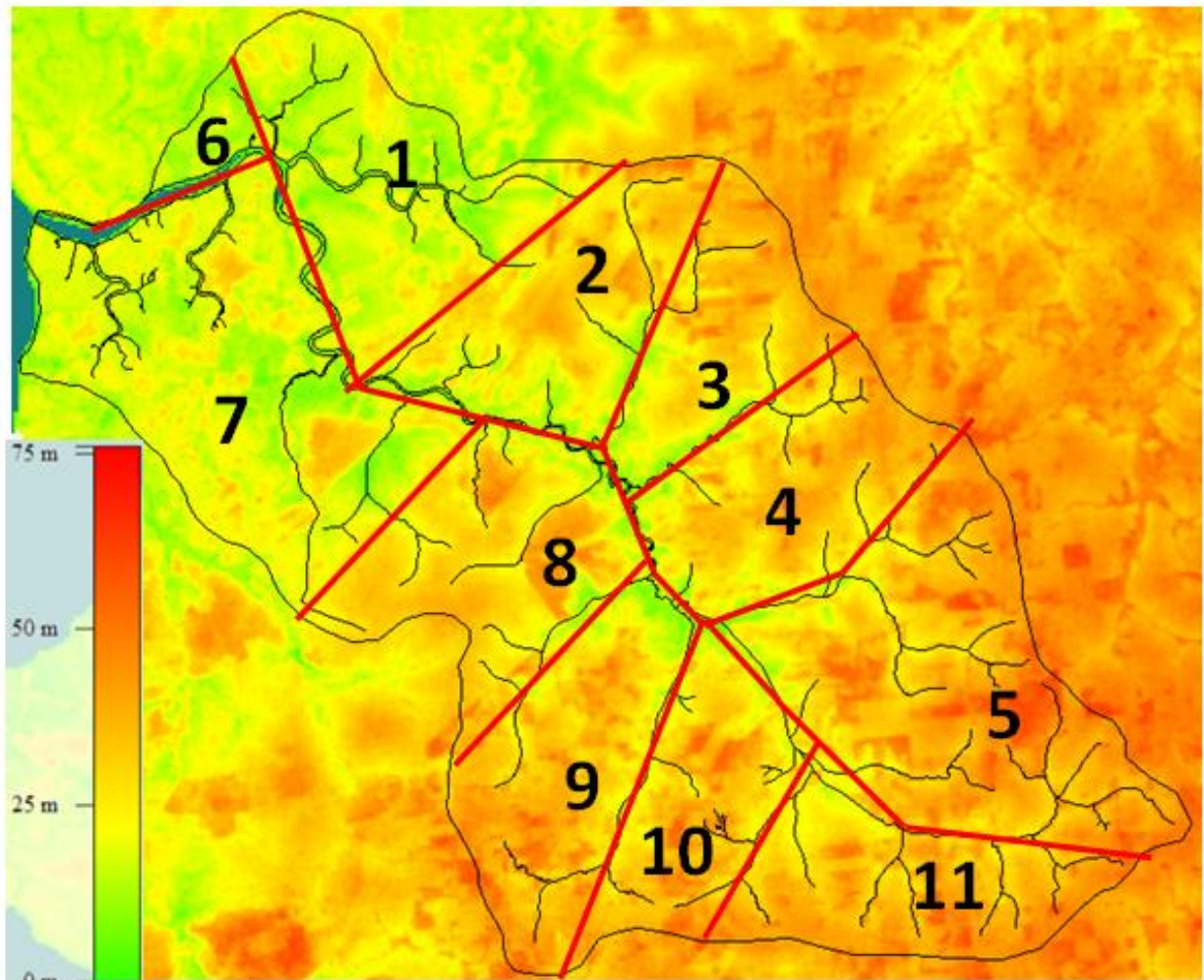


Fonte: Do autor.

8.5. DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS

Baseado na análise integrada dos padrões de drenagem e relevo, a bacia hidrográfica do rio Tauá pode ser compartimentada em 11 blocos morfoestruturais (figura 70), controladas por estruturas maiores nas direções NW-SE e NE-SW. Os blocos 1, 3, 7 correspondem a baixos estruturais, enquanto os demais blocos são considerados altos estruturais. Os limites dos blocos foram definidos pelos grandes segmentos retirados da rede de drenagem e dos alinhamentos topográficos.

Figura 70 – Compartimentação morfoestrutural da bacia do rio Tauá.



Fonte: Do autor.

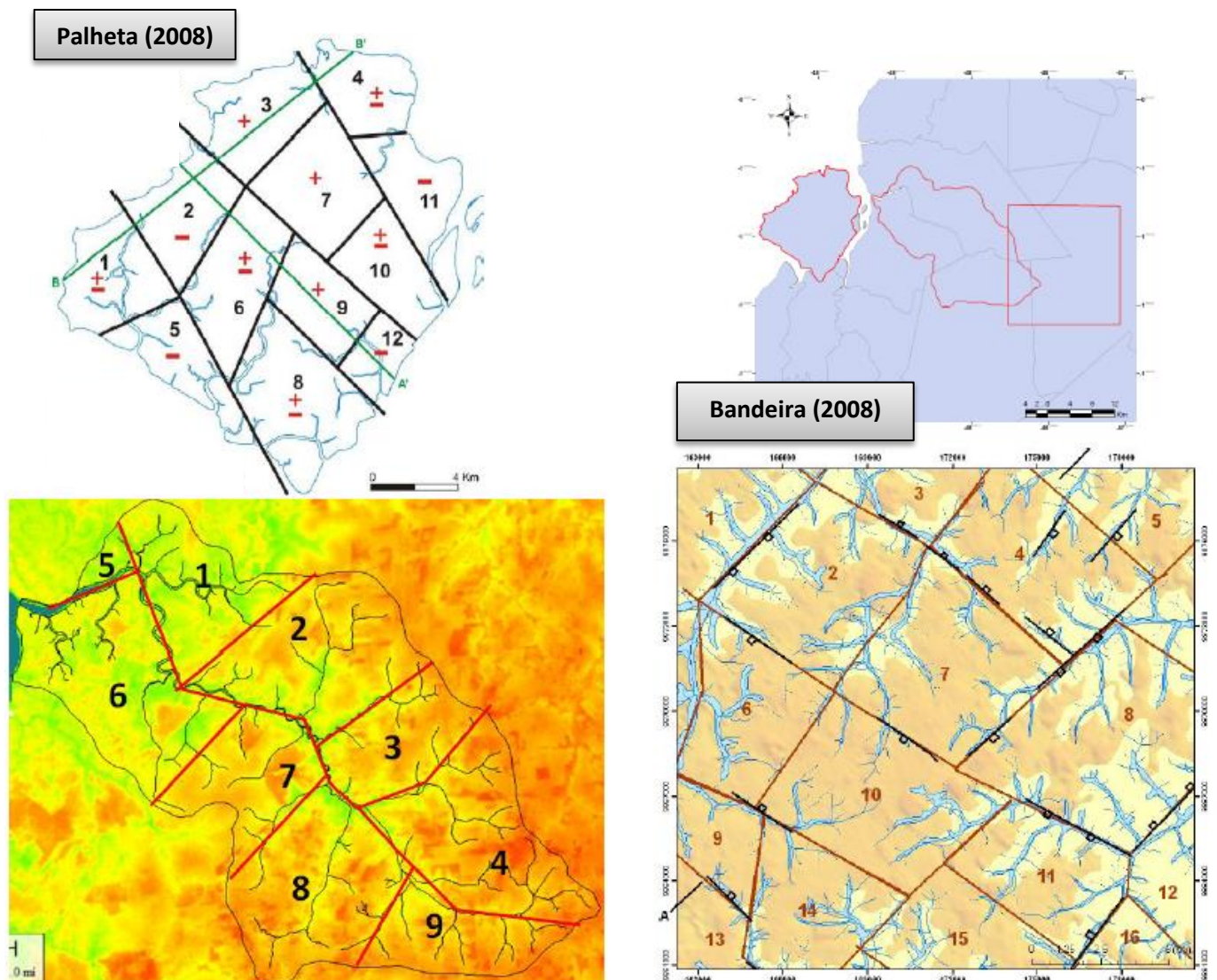
O estudo morfoestrutural mostrou que a drenagem apresenta padrões dendríticos e retangulares, além de apresentar anomalias como retilinearidade, aparecimento abrupto e localizado de meandros e cotovelos, assimetrias distintas relacionadas ao comprimento dos seus afluentes, que comprovam o abatimento de blocos, estreitamento anômalo de vales ou canais e um relevo alinhado segundo duas direções principais: N50°-60°E e N60°W.

Estas evidências reforçam a idéia de que a bacia hidrográfica do rio Tauá está sobre um controle estrutural, no qual foi possível adotar a metodologia utilizada por Bandeira (2008) e Palheta (2008), para esboçar um arranjo geométrico bidimensional baseado nos padrões de drenagem relevo.

Bandeira (2008) teve como objeto de estudo uma área adjacente à bacia do rio Tauá, a qual que recobre a porção centro-oeste do município de Castanhal e sul

do município de Santo Antônio do Tauá. Esta autora delimitou sua área de estudo em 16 blocos morfoestruturais que apresentam como limites as direções principais NW-SE e NE-SW, similar aos limites dos blocos morfoestruturais definidos neste trabalho, na bacia do rio Tauá. O mesmo padrão pode ser observado no trabalho de Palheta (2008), o qual dividiu a ilha de Mosqueiro, localizada a oeste da Bacia do Rio Tauá, em 12 blocos morfoestruturais principais, controlados por estruturas maiores nas direções NE-SW e NW-SE (figura 71).

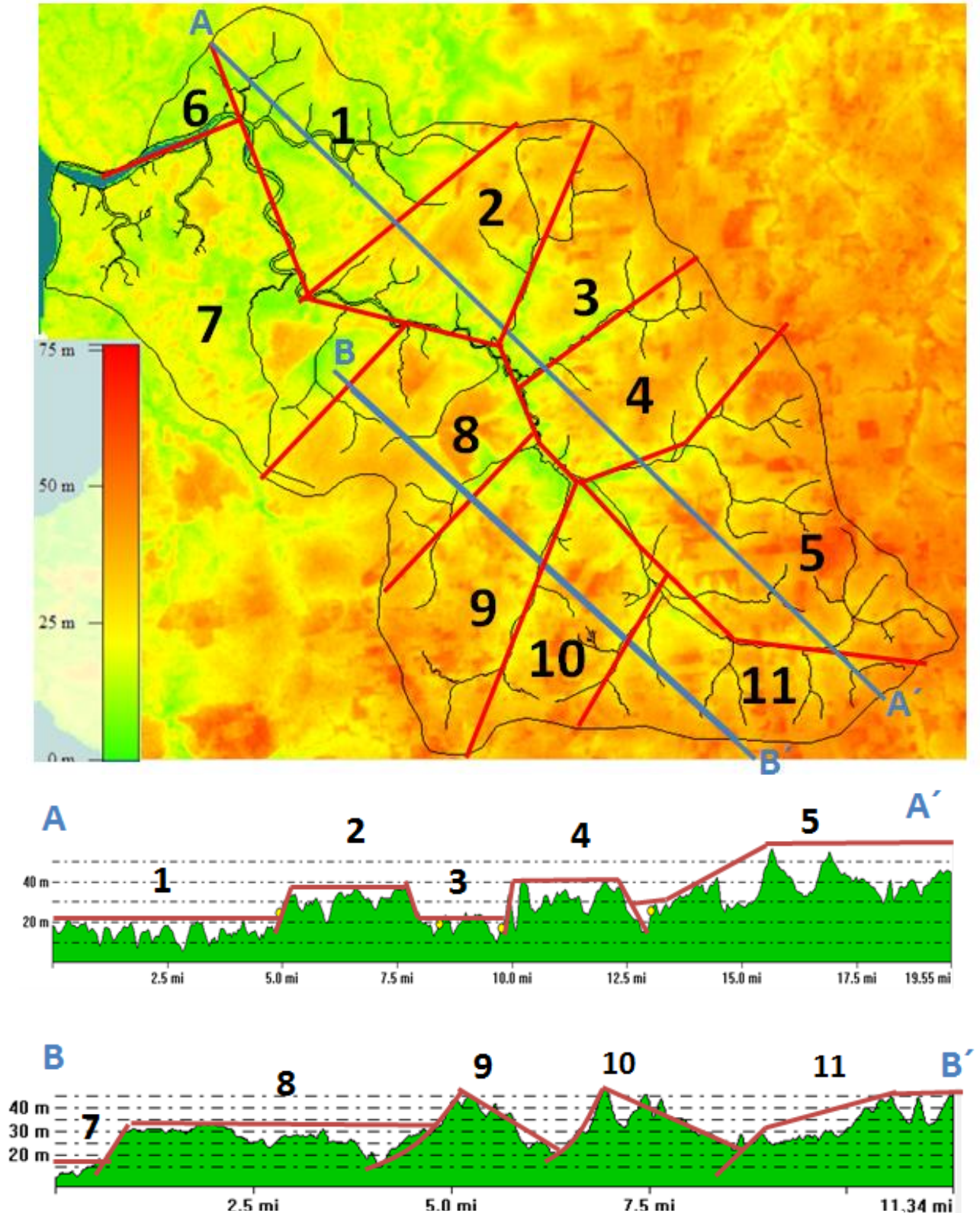
Figura 71 – Esquema comparativo das direções preferenciais das falhas que compartimentam às áreas de bacia do rio Tauá, a ilha de Mosqueiro (PALHETA 2008) e parte de Santa Isabel (BANDEIRA, 2008).



Fonte: Modificado de Palheta (2008) e Bandeira (2008).

Os limites morfoestruturais dos blocos definidos na bacia do rio Tauá e as estruturas em horsts, grábens e blocos basculados podem ser observadas nos perfis A-A' e B-B'.

Figura 72 – Seções transversais às direções preferências dos alinhamento de drenagem e relevo (NE-SW).



Fonte: Do autor.

9. ZONAS DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A integração da análise geomorfológica da rede drenagem e do relevo e a compartimentação da área da bacia do rio Tauá em blocos tectônicos contribuiu para a identificação de zonas de recarga dos aquíferos livres e para a caracterização das zonas de circulação de água entre os aquíferos.

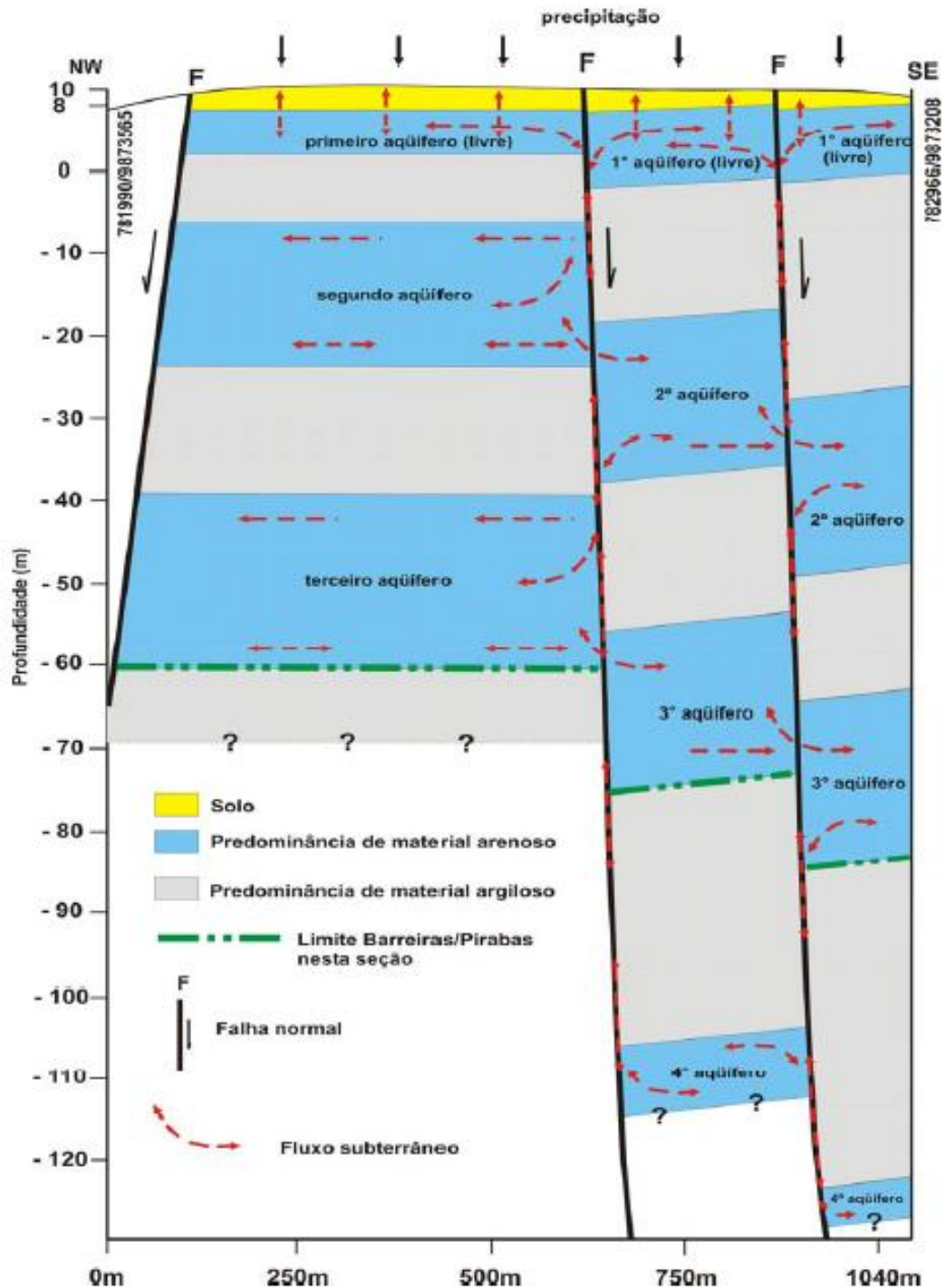
Palheta (2008) sugere que as estruturas identificadas e suas respectivas direções implicam na compreensão do arranjo geométrico-espacial de diversas camadas em subsuperfície. Sendo assim, estas estruturas interferem na posição dos diversos aquíferos, através de blocos soerguidos, rebaixados, deslocados e basculados, os quais influenciam fortemente no mecanismo de fluxo subterrâneo, nas condições de recarga dos aquíferos livres e no estabelecimento de zonas de circulação de água entre os aquíferos intermediários e profundos.

A recarga dos aquíferos livres ocorre por infiltração direta da precipitação pluviométrica, principalmente áreas de cotas topográficas mais elevadas. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre, preferencialmente, nos locais onde a formação portadora de água aflora à superfície.

No entanto, deslocamentos verticais, tanto de falhas normais quanto transcorrentes oblíquas provocam a justaposição de camadas aquíferas a outras impermeáveis, interrompendo parcial ou totalmente o fluxo horizontal. Ou, em outros casos, ocorre a comunicação de camadas aquíferas de profundidades diferentes (PALHETA, 2008). Desse modo, pode-se dizer que os aquíferos confinados podem ter interconexão com outros aquíferos por meios dessas zonas de circulação de água promovida pelas zonas de fraqueza (figura 73).

A existência dos blocos morfoestruturais limitados por falhas permite a mistura de água entre os aquíferos rasos, intermediários e profundos. Baseado nisso, Palheta (2008) considera a existência de um único sistema hidrogeológico regional com complexos mecanismos de circulação e de hidrodinâmica, em que os aquíferos estão, de certo modo, inter-relacionados.

Figura 73 – Modelo proposto por Palheta (2008) para a o mecanismo de recarga e fluxo subterrâneos dos aquíferos rasos (infiltração direta) e intermediários (infiltração controlada por falhas trativas).



Fonte: Palheta (2008).

O aquífero livre é o mais susceptível à contaminação, principalmente, por compostos nitrogenados, uma vez que a recarga ocorre de forma direta por infiltração da água da chuva no solo. A velocidade de infiltração dos agentes contaminantes diminui à medida que encontra lentes e camadas impermeáveis de

argila. No entanto, as zonas de falha que limitam os blocos morfoestruturais definidos neste trabalho podem permitir a circulação de água, localmente, entre o aquífero livre e o aquífero confinado transportando assim os agentes contaminantes para o aquífero confinado uma vez que os sistemas hidrogeológicos Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas encontram-se interligados por essas zonas de falhas, caracterizando, assim, um único sistema hidrogeológico.

10. DISCUSSAO

Quanto à Hidroquímica da água subterrânea na bacia hidrográfica do rio Tauá pode-se observar um comportamento hidroquímico distinto tanto no período seco quanto no período chuvoso. O pH das águas subterrâneas do aquífero livre é ácido com valores fora do recomendado pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (6,0 - 9,5).

Todas as amostras apresentam teores de cloreto dentro do estabelecido pelo Ministério da Saúde (< 250 mg/L). No período chuvoso, os poços 1,4 e 5 apresentam os maiores teores de cloreto, estando esses poços situados nas zonas de descarga.

As concentrações de sulfato no período chuvoso aumentaram em relação ao período seco, no entanto, todas as amostras analisadas em ambos os períodos estão dentro do permitido pelo Ministério da Saúde (< 250 mg/L), sendo que de todos os poços, os que apresentam os maiores valores de sulfato são os poços 1, 6, 12 e 13.

No período chuvoso, os poços 1 e 4 possuem teores de sódio maiores que 100 mg/L. Quanto aos teores de potássio, no período seco todas as amostras possuem concentração menor que 10 mg/L enquanto que no período chuvoso, os poços 1, 2, 4, 6 e 8 tiveram um aumento significativo.

O magnésio possui um comportamento similar aos íons de cálcio e potássio adquirindo concentrações maiores que 15 mg/L nos poços 1, 2, 4 e 6 no período chuvoso.

O cálcio apresenta teor menor que 5 mg/L na maioria das amostras analisadas no período seco, enquanto que no período chuvoso observou-se um

aumento significativo deste íons, principalmente, no poço 7 situado em uma zona de descarga.

Quanto à dureza, os poços 1, 2, 4 e 6 possuem concentrações maiores que 30 mg/L, no entanto, dentro do estabelecido pelo Ministério da Saúde (< 500 mg/L). Vale ressaltar que a dureza apresenta um comportamento similar ao magnésio, ou seja, aumento significativo nos mesmos poços.

A condutividade elétrica é um parâmetro que mede o grau de mineralização das águas, ou seja, quanto maior a presença e quantidade de cátions e ânions, oriundos de sais dissolvidos na água maior o valor de condutividade elétrica. De todos os poços analisados, o poço 4 é o que contém maior valor em relação a esse parâmetro e, conseqüentemente, a maior concentração de íons. Esse poço está localizado no centro urbano de Santo Antônio do Tauá, a qual tem influencia direta de esgoto sanitário e fossas sanitárias.

Em relação aos compostos nitrogenados, pode-se demonstrar graficamente a ocorrência do processo de nitrificação (oxidação do amônio em nitrato) em 40% dos poços analisados (poços 2, 4, 5, 9, 10, 15, 18, 20, 21, 22 e 23). Dentre eles, os poços 9 e 10 estão situados na porção sudeste da bacia do rio Tauá, na propriedade da fazenda da SOCOCO, a qual tem um plantio de coqueiro. Os teores elevados de nitrato estão, provavelmente, relacionados ao uso de fertilizantes com nitrato em sua composição.

A Bacia do Rio Tauá tem como principais atividades econômicas a agricultura de subsistência nas comunidades locais, cultivo de coqueiros (fazenda SOCOCO) e de dendê (CODENPA, DENTAUÁ e DENPASA) e criação de frangos, na porção sudeste da área (Granja Nossa Senhora de Fátima). O uso de fertilizantes, a liberação de dejetos de criações de aves e outros animais somados à liberação de esgoto e perfuração de pocos e fossas fora das normas técnicas da ABNT são as principais fontes de contaminação, principalmente, por nitrato da água subterrânea na bacia do rio Tauá.

Além disso a presença de sedimentos inconsolidados e arenosos, aflorantes em toda a extensão da bacia contribuem para o aumento na taxa de infiltração e veiculação de contaminantes no solo, principalmemente, no período chuvoso. A

pluma de contaminação de Nitrato foi mapeada levando-se em consideração os poços que apresentaram concentração de nitrato maior 10 mg/L. Esta pluma tem influencia direta no poço 6, localizado na granja, já que esta área consiste em um baixo topográfico e zona de descarga do aquífero, recebendo íons e contaminantes de outras porções da bacia.

Foram identificados três áreas de recarga e quatro áreas de descarga do aquífero livre. Vale ressaltar que, todos os parâmetros analisados estão concentrados em pelo menos uma das zonas de descarga. As águas da bacia do rio Tauá foram classificadas, predominantemente, como bicarbonatadas cálcicas.

A bacia hidrográfica do rio Tauá é classificada de acordo com Strahler (1952) como uma bacia de 4º ordem. Segundo as classificações de Soares e Fiori (1976) em relação ao padrão textural, densidade, sinuosidade, angularidade, tropia, assimetria e tipos de formas anômalas, a bacia do rio Tauá foi dividida em três zonas homólogas (A, B e C). Sendo possível identificar altos e baixos topográficos a partir da análise da assimetria (comprimento das vertentes).

Canais retilíneos estão sobre controle estrutural, ou seja, consistem em limites de blocos morfotectônicos. A rede de drenagem possui alinhamentos com direções NE-SW e NW-SE, assim como as lineações de relevo. Essas mesmas direções preferências foram descritas por Palheta (2008) e Bandeira (2008) que realizaram estudos geomorfológicos e neotectônicos na Ilha de Mosqueiro e numa parte de Santa Isabel, respectivamente, ambos compartimentaram suas áreas de estudo em blocos neotectônicos, com direções de falhas NE-SW e NW-SE, similar às obtidas neste trabalho por meio da análise geomorfológica da drenagem e do relevo.

A bacia do rio Tauá foi compartimentada em onze blocos tectônicos, divididos em blocos basculados (blocos 9 e 10), grábens (blocos 1, 3 e 7) e horts (blocos 2, 4, 5 e 8). A existência desses blocos morfoestruturais limitados por falhas pode permitir a mistura de água entre os aquíferos rasos, intermediários e profundos. Os deslocamentos verticais ocasionados por falhamentos promovem a justaposição de camadas aquíferas e camadas impermeáveis interrompendo parcial ou totalmente o

fluxo horizontal. Ou, pode ocorrer a interconexão entre aquíferos, ou seja, a comunicação de camadas aquíferas de profundidades diferentes.

Baseado nisso (PALHETA, 2008), considera a existência de um único sistema hidrogeológico regional, uma vez que os aquíferos confinados podem ter interconexão com outros aquíferos por meios dessas zonas de circulação de água promovida pelas zonas de fraqueza.

Pode-se dizer então, que a bacia do rio Tauá está inserida no contexto de um sistema hidrogeológico regional o qual além de ter três zonas de recarga direta (infiltração de água da chuva), tem também uma série de zonas estruturais correspondentes aos limites entre os blocos morfotectônicos que podem permitir a circulação e comunicação entre o aquífero livre e os demais aquíferos (intermediários e confinados).

11. CONCLUSÕES

- Em relação à qualidade das águas subterrâneas da bacia do rio Tauá, estas se encontram aptas para o consumo humano no período de estiagem, uma vez que todos os parâmetros, exceto o pH se encontram dentro do estabelecido pelo Ministério da Saúde. No entanto, essa acidez é característica das águas da região amazônica.
- No entanto, durante o período chuvoso há um aumento significativo na concentração da maioria dos íons analisados neste trabalho, principalmente, em relação aos compostos nitrogenados, tornando-as imprópria para o consumo.
- No período chuvoso há o aumento da concentração de nitrato e diminuição da concentração de amônio devido às reações de nitrificação, ou seja, oxidação do amônio em nitrito e, posteriormente, nitrato.
- O uso de fertilizantes, a liberação de dejetos de criações de aves e outros animais somados à liberação de esgoto e perfuração de pocos e fossas fora das normas técnicas da ABNT são as principais fontes de contaminação, principalmente, por nitrato da água subterrânea na bacia do rio Tauá.

- Outro fator que contribuiu para o aumento significativo na concentração de nitrato e dos demais íons no período chuvoso está relacionado à litologia permo-porosa do terreno, a qual consiste de depósitos de areia branca, sedimentos inconsolidados e predominantemente arenosos pertencentes às Formações Pó-Barreiras e Barreiras, respectivamente.
- As águas da bacia do rio Tauá são classificadas predominantemente como bicarbonatadas cálcicas.
- Baseada nas análises Geomorfológicas de drenagem e relevo, a bacia hidrográfica do rio Tauá foi compartimentada em onze blocos morfotectônicos com direções preferencias NE-SW e NW-SE, concordantes com os quadros paleotectônicos e neotectônicos atuantes na região, referentes à compartimentação da região amazônica em blocos tectônicos com zonas de fraqueza nas direções NE-SW e NW-SE durante o Arqueano/Proterozóico, e à compartimentação transtensiva do nordeste do Pará sob influência de falhas mestras orientadas nas direções NW-SE, respectivamente.
- A bacia do Rio Tauá possui três zonas de recarga direta do aquífero livre, situadas em altos topográficos. A recarga direta ocorre por infiltração da água da chuva. Somado a isso, este estudo identificou os limites dos blocos morfotectônicos como potenciais zonas de circulação e, conseqüentemente, mistura e comunicação do aquífero livre com os demais aquíferos (intermediários e profundos).
- É necessário que haja a conservação e proteção das zonas de recarga da bacia do rio Tauá e como possível solução para a variação da concentração de nitrato e dos demais íons sugere-se a perfuração de pocos dentro das normas técnicas (ABNT) que atinjam aquíferos intermediários e/ou confinados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. P. **Variações sazonais dos componentes nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará, nordeste do estado do Pará.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 2001.

ALMEIDA, F.F.M. A evolução dos cratões Amazônico e do São Francisco comparada com seus homólogos do Hemisfério Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 30., 1978 Recife. **Anais...** Recife: SBG.v.6, p.2293-2407. 1978.

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências – USP.** v.6, n. 2, p. 1-6. 2006.

BANDEIRA, I. C. N. **Neotectônica e estruturação dos sistemas hidrogeológicos da região de Castanhal/PA.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 2008.

BARBOSA, C. F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica – RJ.** 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Contaminação de água para consumo humano com nitrato.** Parecer técnico. 2008.

BRASIL: **Lei Federal nº 9.433** - Política Nacional dos Recursos Hídricos, de 08 jan. 1997. Disponível: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em 17 de abril de 2011.

BEZERRA, P. E. L. **Neotectônica e morfogênese da região de Carolina (MA, TO) Bacia do Parnaíba.** 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 1996.

CAMPOS, T. S.; ROHLFS, D. B. **Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás.** 2010. Programa de Pós-graduação em Biociências forenses. 2010.

CAVALCANTE, L.M. **Neotectônica na área do Tiracambú (NE do Estado do Pará, NW do Estado do Maranhão).** 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém, 2000.

CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMENTO BÁSICO (CETESB): **Águas subterrâneas.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em março de 2013.

COSTA, JBS; BEMERGUY, R. L; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; JUNIOR, C.R.P.F.;

BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v.4, n. 2, p.23-44. 1996.

COSTA, M.L da; ANGELICA, R. S. **Contribuições a geologia da Amazônia**. Belém: FINEP SBG-NO, 1997. p 21-72.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y. Aspectos fundamentais do Proterozóico Médio da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n.4, p. 87-492. 1992.

COSTA, JBS; IGREJA, H.L.S; BORGES, M. S; HASUI, Y. O quadro tectônico regional do Mesozóico na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DA GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. **Anais...** Belém: SBG. p.166-178. 1991.

COSTA, JBS; HASUI, Y. O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3. Rio Claro. **Boletim de resumos expandidos**. Rio Claro: UNESP/ SBG. p.142-145. 1991.

COSTA, M. L. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: MARINI, O. J.; RAMOS, B. W.; FORTES, C. R. (Coord.). **Evolução da paisagem, lateritização e depósitos minerais associados**. 2. ed. Brasília, DF: ADIMB, 2008. p. 59. (EXMIN 2008 - Cursos de aperfeiçoamento em exploração mineral).

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, 1998. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/5150>>. Acesso: 02/02/21013.

HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: SIMPÓSIO DA GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Belém. **Boletim de resumos expandidos**. Belém: SBG. p.31-34. 1996.

HASUI, Y. **Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil**. In: workshop sobre neotectônica e sedimentação Cenozóica continental no sudeste brasileiro, 1., Belo Horizonte: SBG/MG. p. 1-31. 1990.

HASUI, Y.; ABREU, F.A.M.; VILLAS, R.N.N. **Província Paraíba**. In: ALMEIDA, F.F.M de ; HASUI, Y. (Coordenadores.). O Pré-Cambriano no Brasil. São Paulo: Edgard Blucher. 984. p.36-46. 1984.

FEITOSA, F. A. C. **Hidráulica de poços**. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL F. J. Hidrogeologia : conceitos e aplicações. Fortaleza PE: CPRM. p. 243-292. 1997.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3° ed. Ver. E ampl. – Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 812p. 2008.

FERREIRA, F.: **Determinação de nitrato em águas minerais pelo método simplificado do salicilato. Artigo, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. 2002**

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. CEPIS-PAHO / WHO. Lima. 78 p. 1988.**

GADELHA, F. J. S.; DOMINGOS, M. S. C.; NOGUEIRA, M. F. L.; SILVA, M. F. L.; MACEDO, R. E. F.; SOUZA, G. C. & NESS, R. L. L. Verificação da presença de nitrito em águas de consumo humano da comunidade de várzea d cobra em Limoeiro do norte-CE. **Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC**. Fortaleza: Julho, 2005.

INSITITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA (INMET): **Previsão do tempo**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em dezembro de 2012.

JADOSKI, S. O. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. 2010 **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1008/1056>>. Acesso em 08 de Fevereiro de 2013.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Belém. 2002.

OLIVEIRA, J.G. F; SILVA, R. C. S. **Geologia e recursos minerais da folha Belém – sa.22-x-d-iii, Estado do Pará, escala 1:100.000**: Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Projeto Cartografia da Amazônia. CPRM. 2011.

PALHETA, E. S. M. **Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da ilha de Mosqueiro - Pará empregado no conhecimento hídrico subterrâneo**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 2008.

PARANHOS, P.F. **Caracterização Hidroquímica dos aquíferos Pirabas na região de Icoaraci-Pa**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 2008.

REDDY, T.V. K.; HAYUDU, P. T: **Groundwater quality in the Niva River basin, Chittoor district, Andha Pradesh, India**. 1997

ROSSI, P.; MIRANDA, J H. & DUARTE, S. N. Curvas de distribuição do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas. Artigo (graduação) – **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP**, Piracicaba. 2007.

SÁ, J. H. S. **Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região bragantina, Estado do Pará**. Bol. Inst. Geologia, n. 3, p. 21-36, 1969.

SANTOS, J. M. & LIMA, K. C. Análise da rede de drenagem em bacias hidrográficas tropicais: bacia do Riacho Grande - Bahia/Brasil. **Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, Volume VI, APGEOM, Braga, p. 77-82. 2009.

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M. The Tortonian unconformity: its relation to the stratigraphic framework of the Barreiras Group (Brazilian coastal Cenozoic deposits). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. Rio de Janeiro. **Abstracts**. 2000.

SHUQAIR, S. M. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos da mina de carvão de Figueira no estado do Paraná**. 2002. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo. 2002.

SILVA, C. F.; LOWENSTEIN, P. Contribuição à geologia da folha de São Luís (SA-23), no estado do Pará: II novas localidades e razão magnésio/calcário do calcário Pirabas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Nova Série Geologia**, n. 13, p. 1-17, 1968.

SOARES, P.C; FIORI, A.P.: Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Campinas, **Notícia Geomorfológica**, v.16 n.32 p.71-104. 1976.

SOARES P. C.; LUZ, M.E.R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S.M.S. **Análise morfoestrutural em fotografias aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná**. São Paulo: PAULIPETRO (Consórcio CESP/IPT), 18p. 1982.

SOUZA JUNIOR, C. M.; QUADROS, M. L. E. S.; BEZERRA, O. V. **Estágio de campo III. Relatório final: município de Castanhal**. 163p. Belém: UFPA, 1992.

STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America**, Bulletin, v. 63 p.1117-1142. 1952.

VIANA, A. R.; CASTRO, D.; KOWSMANN, R. O. A discordância do Mioceno médio/superior: um marco regional no talude da bacia de Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal. **Anais...** Natal: SBG, v. 1, p. 313-323. 1990.