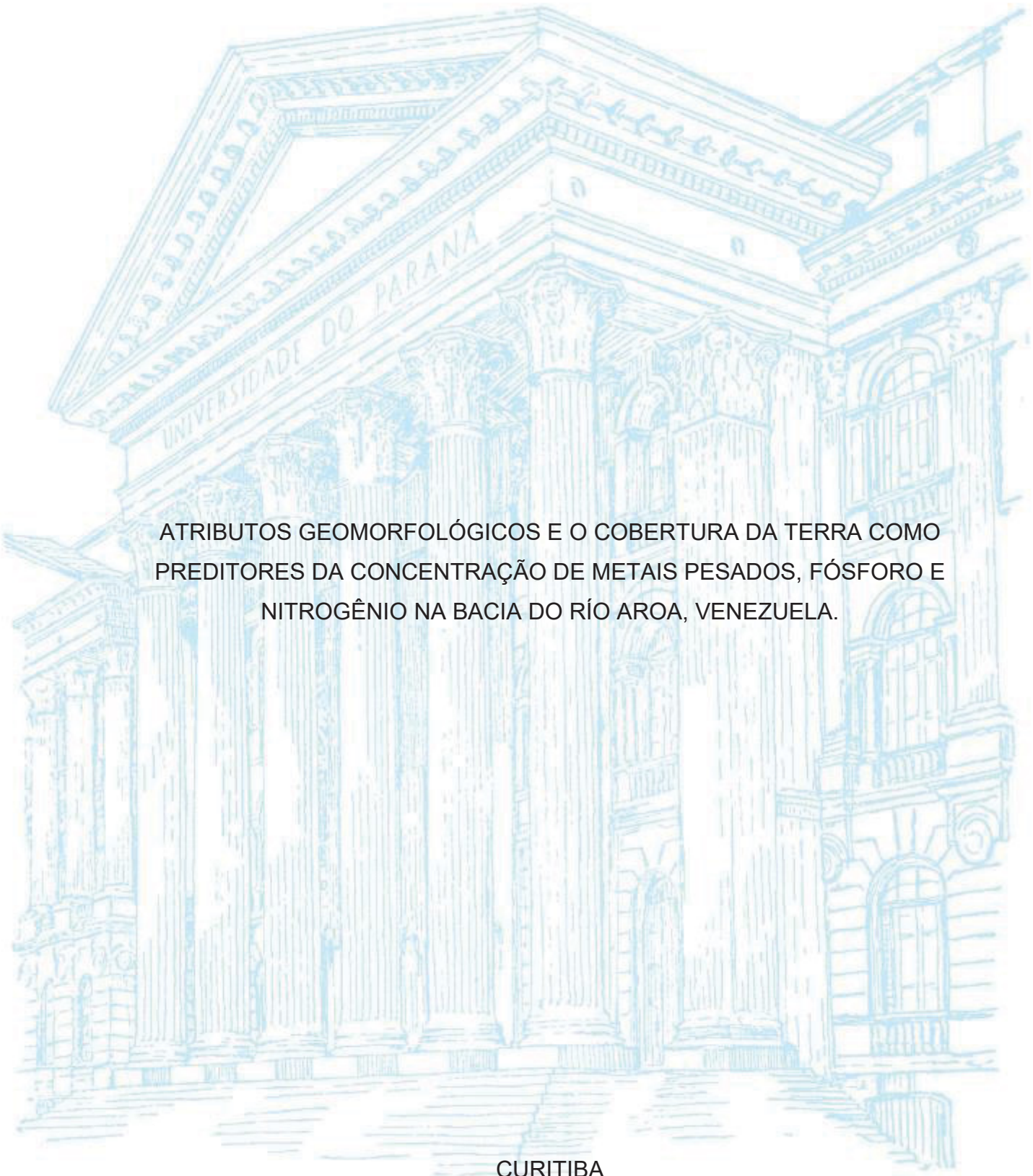


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ORLANDO JOSE CABRERA VIÑA



ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS E O COBERTURA DA TERRA COMO
PREDITORES DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS, FÓSFORO E
NITROGÊNIO NA BACIA DO RÍO AROA, VENEZUELA.

CURITIBA

2024

ORLANDO JOSE CABRERA VIÑA

ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS E O COBERTURA DA TERRA COMO
PREDITORES DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS, FÓSFORO E
NITROGÊNIO NA BACIA DO RÍO AROA, VENEZUELA.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Doutorado, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador:

Prof. Dr. Claudinei Taborda da Silveira

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Cabrera Viña, Orlando Jose

Atributos geomorfológicos e o cobertura da terra como preditores da concentração de metais pesados, fósforo e nitrogênio na bacia do rio Aroa, Venezuela / Orlando Jose Cabrera Viña. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Claudinei Taborda da Silveira

1. Geomorfologia. 2. Geoquímica. 3. Análise espacial. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Silveira, Claudinei Taborda da. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOGRAFIA -
40001016035P1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação GEOGRAFIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ORLANDO JOSE CABRERA VIÑA** intitulada: **ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS E O COBERTURA DA TERRA COMO PREDITORES DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS, FOSFORO E NITROGÊNIO NA BACIA DO RÍO AROA, VENEZUELA.**, sob orientação do Prof. Dr. CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Dezembro de 2024.

Assinatura Eletrônica

19/12/2024 14:48:57.0

CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

18/12/2024 19:46:27.0

TAÍSA COMERLATO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

18/12/2024 23:00:53.0

MARCELO RENATO LAMOUR

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

19/12/2024 13:12:25.0

JULIO MANOEL FRANÇA DA SILVA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE)

Assinatura Eletrônica

19/12/2024 13:38:41.0

RICARDO MICHAEL PINHEIRO SILVEIRA

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pelo ensino público, gratuito e de excelência.

Ao professor Dr. Claudinei Taborda da Silveira, orientador que a vida presenteou como colega e amigo, pela confiança e apoio irrestrito no trabalho desenvolvido nos momentos mais complicados durante a pandemia, pela dedicação profissional e incentivo constante para continuar até terminar este desafio.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos; e às políticas públicas de educação e inclusão social que possibilitaram minha formação acadêmica e a consequente entrega desta tese à sociedade brasileira e venezuelana.

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGGEO/UFPR), em sua totalidade: docentes, funcionários e colegas discentes.

À minha família, em especial à minha mãe, irmã, tia e sobrinha por sua coragem e luta de vocês para superar a doença durante a pandemia a quem, com muito amor, dedico este trabalho.

À minha linda Madison Gonzalez que me motivou e fez todo o possível para me levar ao Brasil para enfrentar esta aventura acadêmica, agradeço e dedico este trabalho; à sua mãe Zulay e ao Alfonso que me tornaram parte de sua família no Brasil.

À Simone pelo apoio, pela amizade, pelas aulas de língua portuguesa e cultura curitibana, pelos momentos de uísque e tabaco, por todo amor e apoio durante a pandemia e pelas lembranças deixadas.

RESUMO

O presente estudo é resultado da análise realizada na região central do estado do Yaracuy, especificamente na Bacia Hidrográfica do Rio Aroa, que é uma área de baixo desenvolvimento, impulsionado principalmente pela produção agrícola e possui poucas pesquisas de análise ambiental. Nesta tese procura-se o conhecimento das relações entre as características geomorfológicas e como as formas de relevo fluvial incide no controle das acumulações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do leito fluvial. A hipótese que norteia a presente pesquisa é de que as condições geomorfológicas e a cobertura da terra interferem diretamente na distribuição de elementos químicos nos sedimentos de fundo dos rios, que resulta na concentração de metais pesados, fósforo e nitrogênio, segundo a tipologia do canal fluvial e em acordo com a configuração do relevo à montante dos locais de amostragem de sedimento, pois o predomínio de encostas côncavas tem maior disponibilidade de solutos e de compostos químicos. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo geral o emprego dos atributos geomorfológicos e da cobertura da terra como preditores da distribuição de metais pesados, nitrogênio e fósforo nos sedimentos de fundo da bacia do rio Aroa, Venezuela. Para o desenvolvimento dos objetivos específicos, foram realizadas análises estatísticas de correlação entre as variáveis geomorfológicas e a cobertura da terra, com os registros geoquímicos nos sedimentos de fundo do rio, com o propósito de estabelecer a correspondência entre as feições das vertentes e do meio fluvial da bacia com o conteúdo de metais pesados, fósforo e nitrogênio nos sedimentos de fundo do rio Aroa. Empregou-se ferramentas de SIG para a análise dos fatores geomorfológicos, como controladores do processo de transporte e acumulação de elementos químicos. As técnicas de estatísticas multivariadas de Análise de Correspondências (AC), Análise de Correspondências Multiplex (ACM) e Análise de Componentes Principais (ACP) foram utilizadas de duas maneiras: primeiro, para determinar as possíveis relações entre as características geomorfológicas e cobertura da terra das fontes e as quantidades de elementos químicos no fundo do rio e, segundo, para identificar a correlação dos tipos de canais fluviais com a concentração das datas de compostos químicos. Em geral, a classificação do relevo fluvial e suas características granulométricas do fundo, constitui uma valiosa ferramenta para demonstrar que a geomorfologia tem alta incidência na captação de metais pesados nos diferentes setores da bacia do rio Aroa. Destaca-se o fato que as formas de canal fluvial cujas características impõem controle na acumulação das maiores quantidades residuais de metais pesados correspondem com os de Tipo B4, C5 e C6. No caso do resultado no acúmulo de maiores quantidades de fósforo, nitrogênio e carbono nos sedimentos, os canais do Tipo B4 e B5, C4, C5 e D4 são os que mais retêm.

Palavras-chave: Geomorfologia. Geoquímica. análise espacial. SIG.

ABSTRACT

This study is the result of the analysis carried out in the central region of the Yaracuy state of Venezuela, specifically in the Aroa river hydrographic basin, which is an area of low development of agricultural production. This attempt seeks to establish the relationships between the geomorphological characteristics and how the forms of fluvial relief affect the control of the accumulation of chemical elements in the sediments of the riverbed. The hypothesis that guides this research is that geomorphological conditions and land cover directly interfere in the distribution of chemical elements in the bottom sediments of rivers, which results in greater concentrations of heavy metals, phosphorus and nitrogen depending on the type of river channel, as well as depending on the configuration of the relief upstream of the sediment sampling sites, since the predominance of concave slopes has greater productivity of solutes and chemical compounds. In this sense, the work aimed to use geomorphological attributes and land cover as predictors of the distribution of heavy metals, nitrogen and phosphorus in the bottom sediments of the Aroa River basin. To develop the objectives, statistical correlation analyzes were carried out between geomorphological variables and land cover, with geochemical records in the river bottom sediments, with the purpose of establishing the correspondence between the features of the slopes and the river environment of the basin. with the content of heavy metals, phosphorus and nitrogen in the bottom sediments of the Aroa River. GIS tools were used to analyze geomorphological factors, as controllers of the transport process and accumulation of chemical elements. The multivariate statistical techniques of Correspondence Analysis (CA), Multiplex Correspondence Analysis (ACM) and Principal Component Analysis (PCA) were used in two ways: 1) to determine the possible relationships between geomorphological and land use characteristics and vegetation cover of the sources and the amounts of chemical elements in the river bottom and 2) to identify the correlation of the types of river channels with the dates of chemical compounds. In general, the classification of the river relief and its granulometric characteristics of the bottom constitutes a valuable tool to demonstrate that geomorphology has a high incidence in the capture of heavy metals in the different sectors of the Aroa River basin. It is worth highlighting the fact that the river channel forms whose characteristics impose control on the accumulation of the largest residual amounts of heavy metals definitely correspond to types B4, C5 and C6. In the case of resulting in the accumulation of greater amounts of phosphorus, nitrogen and carbon in sediments, channels of Type B4 and B5, C4, C5 and D4 are those that retain the most.

Key-words: Geomorphology. Geochemistry. spatial analysis. GIS.

INDICE DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – Localização da área de estudo | 17 |
| FIGURA 2 – Modelo de declividade segundo BRIDGES e RUHE, 1975. | 26 |
| FIGURA 3 - Classificação dos tipos de canais vista longitudinal secção trasversal e vita em plano..... | 28 |
| FIGURA 4 – Tipos de canais nos locais de amostragem | 29 |
| FIGURA 5 – Reconstrução do Triássico Tardío - Jurássico Inferior..... | 42 |
| FIGURA 6 – Evolução tectônica durante o Neocomiense (125Ma)..... | 43 |
| FIGURA 7 – Evolução tectónica durante o Albiense Tardío (100 Ma) | 44 |
| FIGURA 8 – Reconstrução do Eoceno (40 Ma) | 44 |
| FIGURA 9 – Reconstrução do Oligoceno Tardio..... | 45 |
| FIGURA 10 - Reconstrução do Mioceno Tardio | 46 |
| FIGURA 11 - Mapa neotectonico da regio de Yumare - Aroa | 46 |
| FIGURA 12 - Falhas principais da área..... | 47 |
| FIGURA 13 - Geologia da bacia do rio Aroa | 49 |
| FIGURA 14 - Hipsometria da bacia do rio Aroa..... | 52 |
| FIGURA 15 - Declividade da bacia do rio Aroa | 52 |
| FIGURA 16 – Taxonomia do relevo da bacia do rio Aroa | 53 |
| FIGURA 17 - Unidades geomorfológicas de paisagem da bacia do rio Aroa..... | 54 |
| FIGURA 18 - Fluxograma metodológico da pesquisa | 58 |
| FIGURA 19 - Indice de mapas tograficos a escala 1:25.000 empregados..... | 59 |
| FIGURA 20 – MDE e imagem TIN da bacia do rio Aroa | 60 |
| FIGURA 21 - Criterio de definição das categorias de declividade..... | 60 |
| FIGURA 22 - Tipos de vertentes, atributos e simbologia para a classificação | 61 |
| FIGURA 23 – Exemplo de delimitação de formas de relevo de encostas côncavas em cor verde e encostas convexas em marrom..... | 62 |
| FIGURA 24 – Microbacias que atuam como áreas de captação direta dos locais de amostragem | 63 |
| FIGURA 25 – Distribuição dos locais de amostragem de sedimentos | 67 |
| FIGURA 26 – Cobertura da terra na bacio do rio Aroa..... | 71 |
| FIGURA 27 – Tipos de relevo na bacia do rio Aroa | 73 |
| FIGURA 28 – Canais do Tipo A3 nos locais PH-015 e PH-021 | 75 |
| FIGURA 29 – Canais do Tipo B3 nos locais PH-026 e PH-027 | 75 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 30 – Canal Tipo B3 em PH-028 e canal Tipo B4 em PH-002 | 76 |
| FIGURA 31 – Canais do Tipo B4 nos locais PH-012 e PH-013 | 76 |
| FIGURA 32 – Canais do Tipo B4 nos locais PH-019 e PH-020 | 77 |
| FIGURA 33 – Canais do Tipo B5 nos locais PH-009 e PH-022 | 77 |
| FIGURA 34 – Canal do Tipo B5 em PH-025 e canal do Tipo C4 em PH-001 | 78 |
| FIGURA 35 – Canais do Tipo C4 nos locais PH-003 E PH-016..... | 78 |
| FIGURA 36 – Canais do Tipo C4 nos locais PH-033 e PH-034 | 79 |
| FIGURA 37 – Canais do Tipo C5 nos locais PH-007 e PH-018 | 79 |
| FIGURA 38 – Canal do Tipo C5 em PH-029 E canal do Tipo C6 em PH-037 | 80 |
| FIGURA 39 – Canais do Tipo E5 nos locais PH-011 e PH-030 | 80 |
| FIGURA 40 – Canais do Tipo D4 em PH-017 | 81 |
| FIGURA 41 – Resumo do grupo de canais nos locais de amostragem segundo ROGSEN, 1994..... | 81 |
| FIGURA 42 - Variação de cromo (CR) | 83 |
| FIGURA 43 - Variação do vanádio (V) | 83 |
| FIGURA 44 - Variação do manganês (Mn)..... | 84 |
| FIGURA 45 - Variação do chumbo (Pb)..... | 84 |
| FIGURA 46 - Variação do níquel (Ni) | 85 |
| FIGURA 47 - Variação do cádmio (Cd)..... | 85 |
| FIGURA 48 - Variação do cobre (Cu)..... | 86 |
| FIGURA 49 - Variação do zinco (Zn)..... | 87 |
| FIGURA 50 - Variação do ferro (Fe)..... | 87 |
| FIGURA 51 - Variação do nitrogênio total (NT) | 91 |
| FIGURA 52 - Variação do fósforo total (PT)..... | 91 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1 – Concentração de MO, CT, CO, Cl, NT em (%), PT (ppm) e STD | 43 |
| TABELA 2 – Concentrações residuais de metais pesados (mg/Kg)..... | 44 |
| TABELA 3 – Distribuição da fração granulométrica dos sedimentos de fundo nos locais de amostragem na bacia do rio Aroa..... | 72 |
| TABELA 4a – Matriz de atributos quantitativos dos elementos químicos e formas de relevo para a análise de correspondência e análise de componente principais..... | 96 |
| TABELA 4b – Matriz de atributos quantitativos dos elementos químicos e cobertura de rochas para a análise de correspondência e análise de componente principais..... | 96 |
| TABELA 5a – Matriz de atributos quantitativos das concentrações de metais pesados e formas de relevo para a análise de correspondência e análise de componentes principais..... | 100 |
| TABELA 5b – Matriz de atributos quantitativos das concentrações de metais pesados e grupos de rochas para a análise de correspondência e análise de componentes principais..... | 101 |
| TABELA 6 – Matriz de atributos quantitativos para a análise de correspondência e análise de componentes principais com dados granulométricos..... | 106 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| QUADRO 1 – Descrição dos atributos gerais das bacias, mapas e variáveis..... | 52 |
| QUADRO 2 – Resultado da litologia e associação mineralógica das rochas..... | 65 |
| QUADRO 3a – Matriz de atributos qualitativos das concentrações de elementos químicos e formas de relevo para a análise de correspondências multiplex em dados de N – P – C..... | 97 |
| QUADRO 3b – Matriz de atributos qualitativos das concentrações de elementos químicos e grupo de rochas para a análise de correspondências multiplex em dados de N – P – C..... | 97 |
| QUADRO 4a – Matriz de atributos qualitativos das concentrações de metais pesados e formas de relevo para o analise de correspondências multiplex em dados de metais pesados..... | 101 |
| QUADRO 4b – Matriz de atributos qualitativos das concentrações de metais pesados e grupo de rochas para o analise de correspondências multiplex em dados de metais pesados..... | 101 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| GRAFICO 1 - Tipos de canais e concentrações de MO, CO, CI, CT, NT E PT | 91 |
| GRAFICO 2 - Litologia predominante nas áreas de influência dos locais de amostragem e concentrações (%) DE MO, CO, CI, CT, NT E PT (PPM) | 92 |
| GRAFICO 3 - Formas de relevo predominante nas áreas de influência do local de amostragem e concentrações (%) de MO, CO, CI, CT, NT e PT (PPM) | 93 |
| GRAFICO 4 - Tipo de canais nos locais de amostragem e concentrações de metais pesados nos sedimentos do rio Aroa..... | 94 |
| GRAFICO 5 - Litologia predominante nas áreas de influência do local de amostragem e concentrações de metais pesados nos sedimentos do rio Aroa..... | 94 |
| GRAFICO 6 - Formas de relevo predominante nas áreas de influência dos locais de amostragem e concentrações de metais pesados..... | 95 |
| GRÁFICO 7 - AC entre rochas e concentrações totais de C, F e N..... | 98 |
| GRÁFICO 8 - AC entre o relevo e concentrações totais de C, F N..... | 98 |
| GRÁFICO 9 - ACP entre rochas e concentrações totais de C, P e N..... | 99 |
| GRÁFICO 10 - ACP entre relevo e concentrações de C, P e N..... | 99 |
| GRÁFICO 11 - AC entre o tipo de rocha e concentração de metais pesados..... | 103 |
| GRÁFICO 12 - AC entre o tipo de relevo e concentração de metais pesados..... | 103 |
| GRÁFICO 13 - ACM entre tipo de canais e concentração de Mn, Cr, V..... | 104 |
| GRÁFICO 14 - ACM entre canais e concentração de Pb, Cd e N..... | 104 |
| GRÁFICO 15 - Tipo de canais dos locais de amostragem e concentrações residuais de metais pesados | 104 |
| GRÁFICO 16 - Litología nas áreas de captação dos locais de amostragem e concentrações de metais pesados..... | 105 |
| GRÁFICO 17 - Resultado da análise de correspondência..... | 107 |
| GRÁFICO 18 - Resultado da análise de componentes principais..... | 108 |

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

| | |
|----------|---|
| AC | <i>Análise de Correspondência</i> |
| ACM | <i>Análise de Correspondências Multiplex</i> |
| ACP | <i>Análise de componentes Principais</i> |
| CI | <i>Carbono Inorgânico</i> |
| CO | <i>Carbono Orgânico</i> |
| CT | <i>Carbono Total</i> |
| FUNVISIS | <i>Fundação Venezuelana de Investigações Sismológicas</i> |
| IGVSB | <i>Instituto Geográfico da Venezuela Simón Bolívar</i> |
| INGEOMIN | <i>Instituto de Geologia e Minas</i> |
| INTI | <i>Instituto Nacional da Terra</i> |
| MINEC | <i>Ministério do Poder Popular para o Ecosocialismo</i> |
| MDE | <i>Modelo Digital de Elevação</i> |
| NT | <i>Nitrogênio Total</i> |
| PT | <i>Fósforo Total</i> |
| PAH | <i>Processo de Análise Hierárquico</i> |
| UCAB | <i>Universidade Católica Andrés Bello</i> |
| UCV | <i>Universidade Central de Venezuela</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPITULO I. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 16 |
| Objetivo geral | 16 |
| Objetivos específicos | 16 |
| 1.2 LOCALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA | 16 |
| CAPITULO II: REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 ATRIBUTO GEOMORFOLÓGICO | 18 |
| 2.2 GEOMORFOLOGIA NA MOBILIDADE DE ELEMENTOS QUÍMICOS | 24 |
| 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RELEVOS DE ENCOSTAS | 26 |
| 2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS CANAIS FLUVIAIS..... | 27 |
| 2.5 ASPECTOS MORFOSEDIMENTARES FLUVIAIS NA PRESENÇA DE ELEMENTOS QUÍMICOS | 29 |
| 2.6 MOBILIDADE GEOQUÍMICA DE N-P-C E METAIS PESADOS NOS RIOS..... | 31 |
| 2.7 TRANSFORMAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS NOS RIOS | 32 |
| 2.8 FATORES CONTROLADORES DA PRESENÇA E MOBILIDADE DE METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS..... | 34 |
| 2.9 MECANISMOS FÍSICOQUÍMICOS PRESENTES EM SISTEMAS AQUOSOS.. | 35 |
| 2.10 COBERTURA DA TERRA E PRODUÇÃO DE ELEMENTOS GEOQUÍMICOS | 37 |
| 2.11 ANÁLISE MULTICRITÉRIO | 38 |
| 2.12 ANÁLISES ESTATÍSTICAS..... | 39 |
| CAPITULO III. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO AROA | 41 |
| 3.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL DO NORTE DA VENEZUELA..... | 41 |
| 3.2 SISTEMA DE FALHAS DA ÁREA | 47 |
| 3.3 LITOLOGÍA DA ÁREA..... | 48 |
| 3.4 GEOMORFOLOGIA REGIONAL..... | 51 |
| 3.5 CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA BACIA DE AROA..... | 55 |
| CAPITULO IV. MATERIAIS E MÉTODOS | 57 |
| 4.1 FASES DA PESQUISA | 58 |
| 4.1.1 Fase I: Compilação das informações básicas e temáticas | 58 |
| 4.1.2 Fase II: Caracterização da bacia do rio Aroa | 59 |
| 4.1.2.1 Processamento cartográfico:..... | 59 |
| 4.1.3 Fase III: Análise das características geoquímica dos sedimentos. | 66 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.4 Fase IV: Trabalho de Campo | 68 |
| 4.1.4.1 Processamento em laboratório das amostras de sedimento..... | 69 |
| CAPÍTULO V. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 70 |
| 5.1 COBERTURA DA TERRA..... | 71 |
| 5.2 TIPOS DE RELEVO | 73 |
| 5.3 ATRIBUTOS MORFOSEDIMENTARES FLUVIAIS DA BACIA..... | 74 |
| 5.4 DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA BACIA DO RIO AROA..... | 82 |
| 5.4.1 Metais pesados na bacia..... | 82 |
| 5.4.2 Fósforo, nitrogênio e carbono na bacia | 90 |
| 5.5 CORRELAÇÕES ENTRE GEOMORFOLOGIA E PRESENÇA DE P - N - C..... | 94 |
| 5.6 CORRELAÇÕES ENTRE GEOMORFOLOGIA E METAIS PESADOS..... | 99 |
| CONCLUSÕES | 106 |
| REFERÊNCIAS..... | 108 |

CAPITULO I. INTRODUÇÃO

Há duas décadas, Venezuela sofreu um processo de transformação no âmbito político, econômico e social, cujo resultado foi o empobrecimento da sua população, ao ponto de se colocar como o país com o mais elevado nível de pobreza extrema da América Latina e como o segundo com maior número de migrantes do mundo para o ano 2020 segundo o trabalho da Universidade Católica Andrés Bello (2020, p.18), antes da pandemia do COVID-19. Neste sentido, devido aos problemas políticos, econômicos, sociais e às restrições que impactam a qualidade de vida da população, que se reflete na qualidade ambiental pelo uso de recursos naturais de maneira mais intensiva e sem planejamento, é importante o desenvolvimento desta pesquisa que contribui com o melhor entendimento dos processos de transporte e acúmulo de elementos químicos nos sedimentos de fundo do rio, sobre tudo nesta área com pouca disponibilidade de dados ambientais.

O cenário de empobrecimento na Venezuela resultou em severas restrições e dificuldades na capacidade operacional de captação, salvaguarda e consolidação de bancos de dados para o monitoramento ambiental (COLOTTI, 1999, p. 101). Por esse motivo torna-se necessário o emprego de técnicas de correlação estatística aplicadas às poucas informações geoambientais disponíveis para produzir informações para serem empregadas na análise ambiental, tal como no entendimento das relações entre os fatores condicionantes e/ou desencadeadores das concentrações e distribuição de elementos geoquímicos nos rios.

As condições de pobreza da população venezuelana, a falta de atendimento às suas necessidades básicas para qualidade de vida, são proporcionais à degradação da qualidade ambiental, exemplo é que a dificuldade de acesso ao gás propano, o que ocasiona um aumento no desmatamento das bacias hidrográficas, tanto para o fornecimento de lenha para uso como fonte de energia para cozinhar, assim como para as práticas agrícolas, similar o que acontece no Haiti (CHARLES *et al.*, 2020, p. 34), o que resulta num maior transporte, por escoamento hídrico, de compostos nitrogenados e fosforosos (MEDINA *et al.*, 2013, p. 52), bem como de metais pesados que entram na rede fluvial, os quais, são potencializados pelas características geomorfológicas da região e que podem representar uma ameaça potencial à saúde humana, devido à concentração de poluentes nos sedimentos do

leito do rio (MONROE *et al.*, 2008, p. 85), o que também vai depender das afinidades pela granulometria, pois há parcelas que não retem contaminantes.

Um dos modos de deterioração do ambiente é por meio do impacto na qualidade da água do ambiente fluvial que está associada concentração de metais pesados, fósforo e nitrogênio (MEDINA *et al.*, 2013). Esses elementos geoquímicos estão associados à deposição a partir da área fonte, portanto, as condições geomorfológicas do ambiente vão interferir não só no transporte, mas também na sua distribuição no meio fluvial. Existem estudos que mostram como o uso da terra contribui na concentração de compostos nitrogenados e fosforosos nas águas e sedimentos dos rios, o que é um fator comum na presença de altas concentrações de nitrogênio e fósforo em rios cujas bacias hidrográficas têm práticas agrícolas intensivas (GARZÓN; CÁRDENAS, 2013; MEDINA *et al.*, 2013). Outros estudos correlacionam o fator litológico com a presença de metais pesados em depósitos sedimentares aluviais (DOMINGUEZ, 2015; CRIADO *et al.* 2018).

A concentração de metais pesados nos sedimentos dos rios, bem como nos compostos de fósforo e nitrogênio, constitui um indicador do grau de contaminação de suas águas e pode ser utilizada como um marcador do nível de intervenção a que estão sujeitas as bacias (VOGEL *et al.* 2005; SCHWARZ *et al.* 2006), no caso venezuelano quando as quantidades destes elementos químicos superam os valores máximos permitidos na normativa legal que regula a qualidade das águas na Venezuela (Gaceta Oficial da República de Venezuela, N° 5021, 1995). Portanto, as concentrações desses elementos químicos, contidos nos sedimentos de fundo, constituem uma medida da qualidade da água e da saúde dos ecossistemas fluviais, bem como dos corpos de água localizados à jusante (WEN *et al.* 1999, p. 56-57).

Desse modo, é necessário encontrar formas de compreender a distribuição de elementos químicos na paisagem com um número reduzido de amostras. Nesse sentido, parte-se da hipótese de que a partir da análise geomorfológica, aliada a análise da cobertura da terra, é possível estabelecer as relações e padrões de distribuição dos elementos químicos, compondo assim um método de predição das concentrações de desses elementos. Com base ao conhecimento do papel do substrato litológico e da cobertura da terra, na liberação, disponibilidade e concentração de elementos químicos nos sedimentos presentes nos corpos de água e solo, surge a importância do estudo das relações que tem os atributos geomorfológicos como fator de controle nos processos de mobilidade de elementos químicos nos rios e sua

deposição em setores específicos da paisagem fluvial, os quais são categorizados segundo a tipologia proposta por Rognsen (1994, p. 68) quem fase uma classificação segundo a combinação da sinuosidades dos canais, perfil transversal, características granulométricas do leito dos rios e cobertura vegetal em seus margens.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Demonstrar as relações dos atributos geomorfológicos e da cobertura da terra como fatores de controle nos processos de mobilidade e acumulação de elementos químicos nos sedimentos do relevo fluvial do rio Aroa localizado na Venezuela.

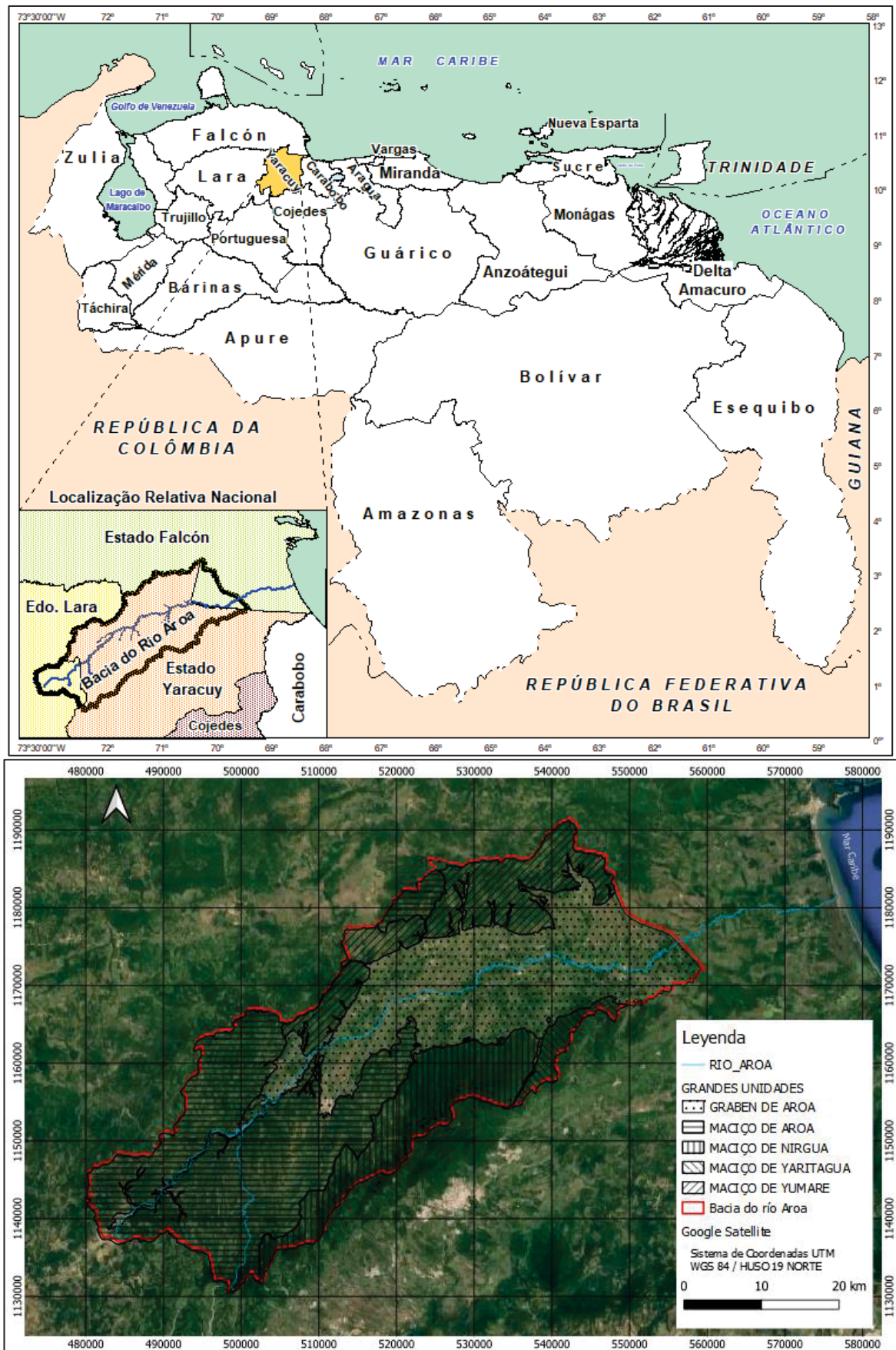
Objetivos específicos

1. Identificar as condições geológicas, geomorfológicas e da cobertura da terra que têm incidência na presença de metais pesados, fósforo e nitrogênio na bacia do rio Aroa.
2. Analisar a ocorrência de elementos químicos e suas relações entre as características dos canais do ambiente deposicional do rio Aroa.
3. Construir uma categorização de formas de relevo que têm influência com a incidência de metais pesados, fósforo e nitrogênio.

1.2 LOCALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A bacia do rio Aroa tem uma área de 2.294 km² e se localiza entre a faixa costeira da depressão de Yaracuy e o maciço de Aroa, Venezuela (FIGURA 1). A importância e justificativa da pesquisa, fundamenta-se na compreensão de que os elementos geomorfológicos têm efeito controlador na origem de compostos químicos e na sua acumulação, o que constitui uma ferramenta útil para melhorar as capacidades de previsão das concentrações de químicos nos leitos dos rios contribui com ações voltadas ao planejamento, na utilização de recursos e na conservação ambiental. Adicionalmente, destaca-se a importância deste trabalho que pode ser usado para as atividades de exploração e definição das áreas com potencial concentração de minerais em ambientes fluviais e zonas aluviais com pouca disponibilidade de informação geoambiental.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2024)

CAPITULO II: REFERENCIAL TEÓRICO

Em primeiro lugar, parte-se da seguinte reflexão própria sobre como a geomorfologia é entendida, como uma ciência da paisagem, que consegue entrelaçar fatores (endógenos e exógenos), processos (erosivos, transicionais e/ou sedimentares) em suas diferentes escalas de observação, dinâmica (gravitacional, fluvial, eólico, glacial, costeira ou cárstica) e história, cujo resultado final se traduz na configuração natural do território sobre o qual o homem atribui ou prevê o uso da terra.

Nesse sentido, a subjetividade do geomorfólogo, derivada de sua formação, experiência e nível de síntese, afeta a adição ou exclusão de atributos que se estabelecem formalmente como norma na elaboração de um mapa geomorfológico. No entanto, a realidade atual merece numa precisão cada vez mais concreta do objeto de estudo geomorfológico, visto que a sua abrangência depende da disponibilidade de recursos financeiros e do tempo de execução dos trabalhos, sendo ambos os fatores que definem o resultado final; que não é outro que a interpretação da paisagem para uma finalidade de uso da terra atual ou potencial, como se inclui nos planos de ordenamento do território. É assim que a cartografia geomorfológica torna-se um poderoso instrumento de planejamento das paisagem, que se traduz no zoneamento de áreas com potencialidades e / ou restrições, implicando tacitamente um custo econômico, político e social.

Nesta consideração e para fundamentar a abordagem sobre a dinâmica ambiental e os aspectos metodológicos que orientem o desenvolvimento da pesquisa e relacionamento dos atributos geomorfológicos com a concentração de metais pesados, fósforo e nitrogênio nos sedimentos de fundo do rio Aroa, portanto, foi realizado um estudo bibliográfico que orienta no aprimoramento da abordagem científica.

2.1 ATRIBUTO GEOMORFOLÓGICO

Ao contrário de outras disciplinas científicas, a geomorfologia ainda não possui um sistema taxonômico aceitado de uso internacional para classificar formas de relevo, denominado pela palavra *geoforma*. Existe algum consenso em quanto ao agrupamento de geoformas por famílias de processos que operam em certos tipos de rochas ou em certas zonas bioclimáticas (ZINCK, 2012).

Geoforma é o conceito genérico que designa todos os tipos de formas de relevo independentemente da sua origem, dimensão e nível de abstração, à semelhança da utilização do conceito de solo na pedologia (ZINCK; VALENZUELA, 1990). O termo *geoforma*, com um significado genérico, foi recentemente introduzido na Guia de Descrição do Solo da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2009).

Nesse sentido, um sistema de classificação de *geoformas* deve necessariamente combinar critérios de percepção da realidade geomorfológica e critérios taxonômicos propriamente ditos, baseados em atributos diagnósticos. As *geoformas* podem ser percebidas pela visão humana ou por sensores artificiais, pois apresentam uma aparência fisionômica na superfície terrestre (geo-paisagem). Graças à sua expressão paisagística, as *geoformas* são os elementos estruturantes do terreno mais diretamente, e ainda maior do que qualquer outro objeto ou elemento natural (ZINCK, 2012).

As primeiras tentativas de caracterização morfométrica do relevo datam de meados do século XIX nos países germânicos, mas só a partir da Segunda Guerra Mundial é que se faz o uso sistemático de técnicas morfométricas para descrever características da topografia, parâmetros da hidrografia, densidade de drenagem e outras características mensuráveis do relevo (TRICART, 1965).

Nas últimas décadas, a tecnologia de modelos digitais de elevação (MDE) deu um novo impulso à morfometria e à extração automatizada de informações morfométricas (HENGL; MACMILLAN, 2009). Os MDE permitem a medição e extração de atributos que descrevem as feições topográficas da paisagem de encostas (HUTCHINSON; GALLANT, 2000).

Os parâmetros morfométricos medidos com mais frequência incluem altitude, declive, exposição, curvatura e rugosidade do relevo, entre outros. A distribuição espacial desses parâmetros permite inferir a variabilidade dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos na paisagem (OLAYA, 2009). A combinação de dados derivados de MDE e imagens de satélite contribui para o aprimoramento dos modelos preditivos da estabilidade de relevo de encostas (DOBOS *et al.*, 2000, p. 36-37).

Existem tentativas de classificar formas de relevo e modelagem da paisagem usando parâmetros morfométricos que são úteis para o cartografiado geomorfológico e classificação do relevo (NELSON; REUTER, 2012). A implementação de algoritmos

automatizados para classificar formas de relevo levou à determinação e mapeamento de elementos de formas e classes de relevo (MACMILLAN; SHARY, 2009).

De acordo com Ventura e Irvin (2000), os diferentes métodos de classificação automatizada de formas de relevo para estudos do paisagem pedológico, basicamente estão limitados a relevos de encosta de acordo com os modelos clássicos de Bridges e Ruhe (BRIDGES; RUHE, 1977).

A análise do relevo com base no MDE leva a uma classificação das feições topográficas do relevo e contribui para a caracterização morfométrica paisagens, mas não gera uma classificação das geoformas no sentido geomorfológico do conceito. A classificação das facetas do relevo pela forma e gradiente é essencialmente uma classificação descritiva que não informa sobre a origem do relevo (ZINCK, 2012). No entanto, esse tipo de classificação representa uma organização de feições do relevo que permite hipóteses sobre sua origem (SMALL, 1970).

A classificação etnogeomorfológica dos indígenas de comunidades tradicionais, usam critérios topográficos para identificar nichos ecológicos adequados para certas culturas e práticas de manejo (ZINCK, 2012). Sua abordagem para segmentar um declive em unidades de relevo assemelha-se aos modelos de faceta de declive (BRIDGES; RUHE, 1977; CONACHER; DALRYMPLE, 1977, p. 56). Da mesma forma, em ambientes deposicionais, onde as variações topográficas são mais sutis, os habitantes diferenciam claramente uma variedade de posições na paisagem, como o trio *banco-bajío-estero* para manejo de pastagens nos Llanos da Venezuela (ZINCK *et al.*, 2015, p. 245-246).

Para classificar uma unidade geo-paisagística (ou subdivisão dela) como uma entidade que pode ser reconhecida por sua configuração e composição, o termo mais comum usado na literatura geomorfológica de língua inglesa é *landform*. Este termo é usado indistintamente por geomorfólogos, geólogos, pedólogos, agrônomos, ecologistas (de paisagens), arquitetos (de paisagens), planejadores, usuários ativos e contemplativos do campo, entre outros, mas não existe uma definição padrão aceita por todos (ZINCK, 2012).

Uma definição bastante satisfatória é fornecida por Way (1973, p.62), "Landforms são características do terreno formadas por processos naturais, que têm uma composição definida e uma gama de características físicas e visuais que ocorrem onde quer que a forma seja encontrada numa região geográfica".

A terra na ecologia da paisagem inclui não só as características físicas da paisagem, mas também a biota e as atividades humanas (ZONNEVELD, 1989).

O termo relevo é mais apropriado para designar formas elementares e geoforma como um conceito genérico para abranger as unidades geomorfológicas de todos os níveis categóricos (ZINCK, 2012). Nesse sentido, os objetos que são classificados correspondem com as geoformas ou unidades geomorfológicas, que são identificadas com base em suas próprias características, e não por referência aos fatores de formação. As classes de geoformas são ordenadas hierarquicamente para refletir seu nível de associação na paisagem geomorfológico. Por exemplo, um *albardón de orilha* é um membro de uma *vega*, que é um membro de uma paisagem de vale. Portanto, *albardón*, *vega* e vale devem aparecer em diferentes níveis categóricos em um sistema hierárquico, porque correspondem a diferentes níveis de abstração. Da mesma forma, as facetas de vertente (crista, ombro, encosta e saia) são membros de uma montanha, que é membro de uma paisagem homônima (ZINCK, 2012).

Como corpo fundamental que estrutura o sistema de classificação geomorfológica utilizado no estudo de ZINCK (2012), o marco conceitual em que se baseia é a Taxonomia de Solos do USDA (FRANZEN, *et al.* 2002), respeito aos conceitos de categoria, classe e atributo. Na mesma linha, Arnold (1968), aponta que os três elementos básicos de um sistema de classificação hierárquica indutiva que resultam do efeito da generalização são (categoria, classe e atributo):

- As categorias são os níveis hierárquicos que dão estrutura ao sistema de classificação (ARNOLD, 1968). Uma categoria é identificada por um conceito genérico que caracteriza todas as classes presentes neste nível. Por exemplo, a paisagem do vale, a *vega* e o *albardón de orilla* são objetos de diferentes níveis de abstração. O *albardón* é membro da *vega*, que por sua vez é membro do vale (ZINCK, 2012).
- As classes são grupos de objetos que têm uma ou mais características diferenciadoras em comum (ARNOLD, 1968). Uma classe pode ser determinada por dois tipos de conceitos: (1) o limite de variação de um atributo diagnóstico ou, (2) o conceito central de classe em relação a outras classes. Por exemplo, o grau de declive dos estratos de rocha permite separar as classes de relevo monoclinal (ZINCK, 2012).

- Os atributos são características dos objetos (ARNOLD, 1968). O atributo é uma variável que serve para estabelecer os limites das classes que compõem o sistema e para implementar esses limites na descrição e classificação dos indivíduos (ZINCK, 2012). O mesmo autor reconhece vários tipos de atributos:
 - a) Dicotômico: por exemplo presença ou ausência de movimentos de massa, erosão ou acréscimo.
 - b) Multiestado sem intervalos: por exemplo tipos de estrutura rochosa, o de estrutura sedimentar.
 - c) Multiestado com intervalos: por exemplo relevo topográfico, curvatura do canal.
 - d) Variação contínua: por exemplo grau de declividade, textura do sedimento.

Zinck (2012) identifica dois classes entre os tipos de atributos como:

- Atributos diferenciadores, como aqueles que permitem distinguir um tipo de geoforma de outro em um determinado nível taxonômico. Conseqüentemente, uma variação no status do atributo, leva a uma mudança na classificação de uma geoforma. Um atributo que possui esta propriedade é considerado um atributo diagnóstico e a união de diversos atributos diferenciadores contribui para a identificação e classificação das geoformas. Por exemplo; uma faceta de vertente deve ser côncava para ser classificada como uma saia de vertente. Nesse caso, o perfil topográfico é o atributo diferenciador e "côncavo" é o estado do atributo.
- Atributos acessórios: são aqueles que fornecem informações adicionais para a descrição e caracterização da geoforma. Este tipo de atributo pode ser usado para criar fases de unidades taxonômicas com propósito de mapeamento e separação de unidades cartográficas (por exemplo, classes de declive ou altura relativa).

Para Zinck (2012) os atributos são indicadores descritivos e funcionais que tornam operacional o sistema multicategoria de geoformas. Isso implica atender com dois requisitos: (1) selecionar atributos descritivos que permitem a identificação da geoformas e, (2) selecionar atributos diferenciadores que permitem classificar as geoformas em vários dos níveis categóricos do sistema taxonômico. Para tanto, são utilizadas quatro classes de atributos, que Tricart (1965) define como:

- Atributos geomorfográficos, para descrever a geometria das geoformas em termos topográficos e planimétricos. Eles são comumente usados para a identificação automática de certas características das geoformas do MDE (HENGL, 2003). A configuração da geoforma, o desenho dos seus contornos, o padrão de drenagem e as condições do meio envolvente são os principais atributos descritos para este fim e têm uma estreita relação semântica e cartográfica com os conceitos utilizados na ecologia da paisagem, como o mosaico, matriz, corredor e mancha (FORMAN; GORDON, 1986).
- Atributos geomorfométricos, para medir as dimensões das geoformas, derivadas de uma representação numérica da topografia (PIKE, 1995). Dos MDEs, podem ser extraídos alguns parâmetros morfométricos locais e regionais, incluindo inclinação, hipsometria, orientação, exposição visual, insolação, curvatura tangencial, curvatura do perfil, características da bacia hidrográfica (superfície, altura, inclinação) e rugosidade (WILSON; GALLANT, 2000, p. 36).

Com os elementos morfométricos que definem uma bacia, pode-se calcular uma série de parâmetros que permitem inferir a morfodinâmica e a hidrologia do sistema, as quais, juntamente com a interação das variáveis exodinâmicas, são responsáveis de originar e / ou ativar processos geomorfológicos. Entre os parâmetros que podem ser calculados usando as características que definem a forma estão a área da bacia, o perímetro representado pelo comprimento na projeção horizontal da divisão da água que circunda a bacia e o índice de compactação (K_c) ou Gravelius, que é definido como o quociente entre o perímetro da bacia e o comprimento de uma circunferência da área igual à área da bacia (STRALER, 1985).

- Atributos geomorfogenéticos, correspondem àquelas características que refletem processos e, portanto, podem ser usados para reconstruir a evolução morfogenética ou a dinâmica das geoformas de uma área ou condições ambientais passadas.
- Atributos geomorfocronológicos, para circunscrever o contexto temporal em que se originam.

Em geomorfologia, o uso desses critérios taxonômicos básicos requer o seguinte: (1) o inventário de geoformas conhecidas e sua ordenação em um sistema hierárquico e, (2) a seleção, categorização (diagnóstico ou não), classificação e medição dos atributos que permitem a identificação e descrição das geoformas. Para

determinar uma geoforma, é necessário realizar as seguintes operações sequencialmente: a) Descrição e medição para caracterizar propriedades e constituintes; b) Identificação, para comparar as geoformas a serem determinadas com os tipos de referência estabelecidos e, c) Classificação, para colocar as geoformas a serem determinadas no sistema taxonômico (ZINCK, 2012).

2.2 GEOMORFOLOGIA NA MOBILIDADE DE ELEMENTOS QUÍMICOS

Basu *et al.* (2010, p. 42-43), apontam que um regime de exportação e acumulação quimodinâmica pode ser o resultado de uma conectividade variante ao longo do tempo e relações entre as áreas onde os solutos são armazenados e as áreas geradoras de descarga dentro da bacia. O comportamento da exportação quimodinâmica também foi descrito para sólidos em suspensão e substâncias fortemente absorvidas por partículas sólidas (por exemplo, fósforo). Em geral, esses estudos sugerem que as exportações de solutos das bacias exibem padrões consistentes com a disponibilidade de solutos, e sua distribuição espacial na bacia está associada à conectividade hidrológica nas áreas onde ocorre acúmulo de solutos.

Fujimoto *et al.* (2011, p. 1879), indicam que as propriedades topográficas das encostas também são importantes na determinação da geração de escoamento superficial. As encostas com topografia diferente, isto é, inclinações planas ou convergentes, devem exibir diferentes processos de escoamento. Fujimoto *et al.* (2008, p. 2592–2593), também descrevem o efeito da topografia nas vertentes nas respostas hidrológicas com base em observações hidrológicas e hidroquímicas para dois tipos de encostas: um tipo convergente e um tipo plano e / ou divergente.

Lin *et al.* (2016, p. 29-30), indicam que a geomorfologia do canal pode afetar diretamente a dinâmica dos nutrientes através de processos físicos em um rio, por exemplo, influenciando a retenção de fósforo através da modificação da profundidade e velocidade de fluxo no canal. Doyle *et al.* (2003, p. 103), descrevem que a geomorfologia também pode modificar a dinâmica do nitrogênio indiretamente criando variabilidade espaço-temporal de comunidades aquáticas (por exemplo, bancos de rochas dominados por macrófitas aquáticas emergentes e piscinas dominadas por algas, fitoplâncton) e seus processos biológicos associados (desnitrificação). O canal fornece habitats e nutrientes para as comunidades aquáticas e, enquanto isso, as comunidades aquáticas afetam a dinâmica do nitrogênio ao assimilar o nitrogênio em

sua biomassa, ou seja, captação de nutrientes (LIN *et al.*, 2016, p. 32). A influência da geomorfologia dos rios nas comunidades aquáticas pode ser tanto estática quanto dinâmica. As influências estáticas incluem a estrutura física do habitat que controla a abundância e a composição das comunidades biológicas (MONTGOMERY, 1999). As influências dinâmicas incluem distúrbios e regimes de fluxo associados à geomorfologia regional (*províncias geomórficas*) e processos geomórficos locais (MONTGOMERY, 1999).

Lin *et al.* (2016, p. 33), apontam que a dinâmica do transporte hidráulico do soluto varia com a mudança na geomorfologia do canal, o que permite rastrear diretamente o tempo de viagem e a absorção do soluto, bem como o destino e o ciclo de cada soluto. (LIN *et al.*, 2016, p. 30), testaram a hipótese o que: unidades geomórficas (mais especificamente, piscinas e bancos de rochas), incluindo suas comunidades aquáticas associadas, afetam a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes, bem como a retenção e remoção de nitratos em canais fluviais.

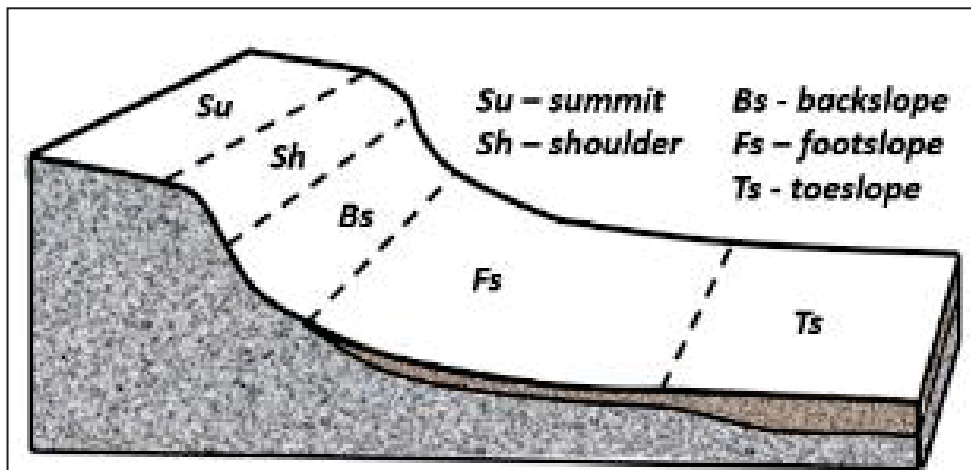
De acordo com Martí e Sabater (1996), existe uma variabilidade espacial e temporal significativa dos processos biogeoquímicos, dependendo do tipo de unidade geomórfica. Organismos a montante que usam nitrato na água afetam a dinâmica da taxa a jusante, bem como a abundância de organismos a jusante. As comunidades de macrófitas a montante e no canal médio também podem diminuir a abundância de fitoplâncton a jusante, reduzindo a disponibilidade de nutrientes a jusante, resultando em menor densidade de fitoplâncton. O que refere e incide na quantidade de nitrogênio que pode ser bioacumulado ou biogenerado nos corpos de água segundo a tipologia dos canais fluviais.

A ênfase na diferenciação dos tipos de nascentes se deve ao papel que essas unidades têm na captação e retenção de água, segundo Fujimoto *et al.* (2011, p. 1878), eles indicam que as propriedades topográficas das encostas também são importantes na determinação da geração de escoamento superficial. As encostas com topografia diferente, isto é, inclinações planas ou convergentes, devem exibir diferentes processos de escoamento. Fujimoto *et al.* (2011, p. 1878), descrevem o efeito da topografia nas vertentes nas respostas hidrológicas com base em observações hidrológicas e hidro químicas para dois tipos de encostas: um tipo convergente e um tipo plano e / ou divergente.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RELEVOS DE ENCOSTAS

Para classificar geformas no nível da forma do terreno, o conceito mais conveniente para subdividir uma montanha, crista ou relevo de morro (colina) é o de uma faceta de vertente (encosta). Para isso, podem ser implementados modelos de vertente existentes, como o modelo de cinco facetas (BRIDGES; RUHE, 1975), que utiliza as relações entre faceta de vertente, perfil topográfico e dinâmica morfogenética dominante (FIGURA 2). É digno de nota que a faceta de pé de vertente não é realmente uma faceta da vertente; é uma unidade pertencente ao vale anexo, com declive perpendicular ao do talude e com depósitos longitudinais.

FIGURA 2 – MODELO DE DECLIVIDADE SEGUNDO BRIDGES E RUHE, 1975.



Su = topo, Sh = ombro, Bs = encosta, Fs = saia, Ts = pé de vertente (o último com depósitos longitudinais).

FONTE: Modificado (BRIDGES; RUHE, 1975).

Os modelos são generalizações convenientes de situações reais, neste caso, o modelo geral de vertente com perfil convexo-côncavo pode ser perturbado por irregularidades (ZINCK, 2012). Essas complicações podem derivar da heterogeneidade do substrato geológico local ou da morfodinâmica local. Uma vertente (encosta) convexo-côncava pode ser interrompida por cristas e escarpas que refletem a influência tectônica local ou mudanças litológicas. Da mesma forma, o perfil topográfico geral pode ser perturbado localmente ou modificado pela erosão hídrica ou por movimentos de massa JAIMES e ELIZALDE (1991, p.54).

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS CANAIS FLUVIAIS

Rosgen (1994), classifica os tipos de canais considerando diferentes atributos como geometria em plano, geometria transversais, declividade e granulometria predominante nas margens e no fundo (FIGURA 4). No sistema de classificação de Rosgen (1994), a dimensão, o padrão e o perfil de um riacho são medidos usando proporções adimensionais para classificar o riacho, independentemente de seu tamanho (FIGURA 5). Posteriormente, medições como razão de altura do banco, taxa de erosão e competência de sedimentos são usadas para avaliar se o canal está em um estado estável ou de transição (ou seja, evoluindo para outro tipo de canal). Quando os componentes de uma bacia hidrográfica saudável são alterados, ocorrem mudanças sucessionais nos rios para se adaptar às novas condições. Normalmente, esses ajustes impactam o habitat e a qualidade da água devido ao desequilíbrio no fornecimento e transporte de sedimentos e carga do leito que resulta em danos bióticos (ROSGEN, 1994).

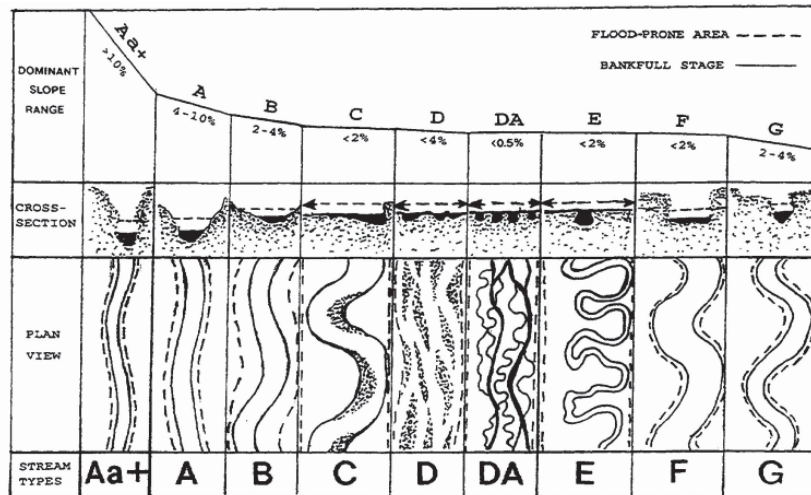
Em geral, o padrão do rio é classificado por Rosgen (1994) de acordo com sua morfologia vista em planta como: relativamente reto (tipo de fluxo A), baixa sinuosidade (tipo de fluxo B), meandros (tipo de fluxo C) e meandros sinuosos (tipo de fluxo E). Padrões de fluxo complexos são encontrados em tipos de fluxo de canal múltiplo, encajado (D) e anastomosado (DA). A sinuosidade pode ser calculada a partir de fotografias aéreas e imagens de satélite, frequentemente, como a inclinação, serve como um bom delineamento inicial dos tipos principais. Esses padrões de rios integraram muitos processos para derivar sua forma atual e, portanto, fornecem interpretações de sua morfologia associada. Enquanto a morfologia da seção transversal do rio que indicaria uma corrente estreita e profunda em oposição a uma ampla e rasa pode ser inferida neste nível amplo. A forma como o canal é escavado em seu vale também pode ser inferidos neste nível, bem como informações sobre planícies aluviais, terraços, encostas coluviais, características de controle estrutural, confinamento (retenção lateral), entrincheiramento (retenção vertical).

O perfil longitudinal, que pode ser inferido dos mapas topográficos, serve de base para a divisão dos trechos do riacho em categorias de declividade que refletem a morfologia do perfil. Por exemplo: Os tipos de riachos **A** são muito íngremes (mais de 10%), com características de leito de lagoa com queda vertical e / ou remansos freqüentemente espaçados. Os riachos do Tipo **A** são íngremes (declive de 4 a 10%),

com características íngremes, em cachoeiras escalonadas. As correntes do Tipo **B** são dominadas por "corredeiras" e poças de limpeza próximas em curvas ou áreas de constricção. Os tipos de riachos **C**, **DA**, **E** e **F** são corredeiras com lagoas de gradiente suave. Os riachos do Tipo **G** são "ravinas" que normalmente são canais de fluxo / lagoas. Finalmente, os fluxos do Tipo **D** são canais de convergência / divergência torcida que levam a processos localizados, formas de leito frequentemente espaçadas de lavagem / sedimentação (ROGSEN, 1994).

Isso está em contraste com os riachos do Tipo **C**, onde o canal é mais largo e raso, com uma planície de inundação bem desenvolvida e um vale muito amplo. Os riachos do Tipo **E** têm um canal estreito e profundo (relação largura / profundidade rasa), mas têm uma planície de inundação muito ampla e bem desenvolvida. Os riachos do Tipo **F** têm canais largos e rasos, mas são um tipo de canal sinuoso com pouca ou nenhuma planície de inundação desenvolvida. Os canais do Tipo **G** têm canais de relação largura / profundidade rasos semelhantes aos córregos do Tipo **E**, exceto que eles são bem entrincheirados (sem planície de inundação), mais íngremes e menos sinuosos do que os fluxos do Tipo **E** (ROGSEN, 1994).

FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE CANAIS VISTA LONGITUDINAL SECÇÃO TRASVERSAL E VITA EM PLANO



FONTE: ROGSEN, 1994.

FIGURA 4 – TIPOS DE CANAIS NOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM

| Tipo de Canais | A | B | C | D | E | | |
|---|---|--------|-----|-----|-----|-------------------|--------------------|
| V i s u a l i z a ç õ e s | P l a n o | | | | | | Material Dominante |
| | T r a n s v e r s ã o | | | | | | 1 Rocha |
| | | | | | | | 2 Bloco |
| | | | | | | | 3 Seixo |
| | | | | | | | 4 Grânulo |
| | | | | | | | 5 Areia |
| Declive | 4 - 10% | 2 - 4% | <2% | <4% | <2% | 6 Silte/Argila | |

FONTE: Modificado de Rogsen (1994).

2.5 ASPECTOS MORFOSEDIMENTARES FLUVIAIS NA PRESENÇA DE ELEMENTOS QUÍMICOS

A forma da superfície da Terra pode afetar a migração lateral e o acúmulo de água, sedimentos e outros constituintes (CASANOVA, 2005). Zinck (2012) diz que, o transepto perpendicular a um vale aluvial geralmente apresenta uma sequência de posições construídas pelos transbordamentos do rio. A granulometria, ou distribuição granulométrica, bem como sua expressão sinótica de textura, é a propriedade mais importante do material geomorfológico, pois controla direta ou indiretamente uma série de outras propriedades.

Nesse sentido, a composição granulométrica do material permite inferir e interpretar características importantes da formação e evolução das geoformas, como os mecanismos de desagregação e alteração das rochas para formar regolito e material de origem do solo (ZINCK, 2012). Da mesma forma, a composição mineralógica das frações areia, silte e argila nos materiais não consolidados das formações superficiais permite determinar a dinâmica geoquímica do ambiente, relacionada ou controlada por processos morfogenéticos, e seguir as rotas de transporte de minerais traçadores.

As associações de minerais presentes nas formações de cobertura permitem fazer inferências como as seguintes: a) refletem as litologias dominantes nas bacias de produção de sedimentos e, b) refletem a influência da topografia na formação e redistribuição espacial dos argilominerais ao longo uma encosta formando um fluxo de minerais (ZINCK, 2012).

Sekely *et al.* (2002, p. 243–250), indicam que sedimentos suspensos e transportados em sistemas fluviais têm a capacidade de degradar a qualidade da água e causar impactos negativos a jusante conforme o material é depositado. Du Laing *et al.* (2009, p. 449–455), explicam que a ocorrência espacial de processos que afetam a mobilidade de metais e sua disponibilidade nas planícies de inundação é amplamente determinada pela topografia. Na interface óxido-anóxica e nos horizontes anóxicos dos solos da planície de inundação, ocorrem processos sensíveis à redução (redox), resultando principalmente na inclusão de metais em precipitados ou na dissolução de precipitados contendo metais.

A cinética desses processos é de grande importância para esses solos, pois a localização da interface oxo-anóxica está sujeita a alterações devido à flutuação nos níveis do lençol freático. Outros processos e fatores importantes que afetam a mobilidade do metal em solos de planícies aluviais, são os processos de adsorção / dessorção, salinidade, presença de matéria orgânica, enxofre, carbonatos, pH e crescimento de plantas.

Para Du Laing *et al.* (2009, p. 449–455), existem correlações altamente significativas entre a capacidade de troca catiônica, o conteúdo de argila ou matéria orgânica e o conteúdo metálico em solos das planícies de inundação. Também óxidos de ferro e manganês são os principais portadores de cádmio (Cd), zinco (Zn) e níquel (Ni) em condições óxicas, enquanto a fração orgânica foi mais importante para o cobre (Cu), independentemente disso, a granulometria é o principal fator que possibilita a acumulação e por isso é necessária a caracterização granulométrica dos sedimentos do fundo do rio Aroa.

Os solos que dominam as planícies de inundação são os fluvisols eutríficos (FAO, 2009). Por sua vez, Gleysols Eutríficos são solos característicos em canais de inundação, depressões e vales, muitas vezes submersos por mais tempo (FAO, 2009), e podem apresentar propriedades gléysicas, e frequentemente revelam altos teores de carbono orgânico (RINKLEBE, 2004). Devido à associação de metais com argila e matéria orgânica (DU LAING *et al.*, 2007, p. 449–455), seu acúmulo é

frequentemente maior nos solos dos canais de inundação, depressões e vales do que nos solos dos terraços superiores. Em solos com frequente inundação, a acumulação de carbono é geralmente maior que a de solos de terraço (RINKLEBE *et al.*, 2007, p.141-210).

2.6 MOBILIDADE GEOQUIMICA DE N-P-C E METAIS PESADOS NOS RIOS

Segundo Pinto (1996), a água do rio transporta produtos do intemperismo na forma de soluções iônicas ou dispersões coloidais de substâncias divididas em partículas. Além das substâncias inorgânicas dissolvidas, as águas superficiais contêm gases dissolvidos, principalmente nitrogênio, dióxido de carbono e oxigênio.

O material que é transportado pelos rios depende das características das rochas pela qual o rio mantém seu curso (MÉNDEZ, 2006). De acordo com Manahan (2001), a principal fonte de fósforo nos sedimentos origina-se da alteração das rochas que contêm o mineral apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$), minerais em forma de fosfato de ferro como a strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), e fosfato de alumínio no caso da variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Na forma amorfa, restos orgânicos, fixados por adsorção a partículas como argilas e húmus, e dissolvidos na forma de ortofosfatos (HPO_4^{2-} e H_2PO_4^-). Durante o intemperismo, uma grande parte do fósforo é liberada dos minerais e as soluções resultantes contêm fosfatos alcalinos e fosfato de cálcio dissolvido ou coloidal (MANAHAN, 2007).

O termo sedimento refere-se a todas as partículas sólidas produzidas pelo intemperismo de rochas e minerais preexistentes derivados de soluções contendo materiais dissolvidos durante o intemperismo químico (MONROE *et al.*, 2008, p. 3-30). Tarbuck e Lutgens (2005, p. 425), indicam que os sedimentos são partículas não consolidadas, que têm duas origens principais, por um lado, um sedimento pode ser uma fração sólida derivada do intemperismo mecânico. A segunda fonte de sedimentos é material solúvel produzido por intemperismo químico. Quando essas substâncias dissolvidas são precipitadas por processos orgânicos e inorgânicos, o material é conhecido como sedimento químico (TARBUCK; LUTGENS (2005, p. 432).

Segundo Schlesinger (2000), o transporte fluvial de compostos químicos pode ser dividido em duas frações: (1) aquele transportado na forma de íons dissolvidos e (2) aquele transportado na forma de partículas. A carga dissolvida provém principalmente da chuva e dos processos de lixiviação que ocorrem no solo. A carga

particulada vem dos produtos do intemperismo mecânico, que corresponde à erosão e transporte de sedimentos da superfície do solo. A carga particulada inclui materiais que viajam em suspensão e arrastam ao longo do fundo do leito (SCHLESINGER, 2000).

A carga natural de sedimentos em um rio é fornecida pelo intemperismo físico e bioquímico e é controlada por: (1) geoquímica, mineralogia e estrutura das rochas intemperizadas, (2) precipitação, (3) temperatura e (4) cobertura da terra. Por fim, todos eles são controlados pelo clima, topografia e uso da terra. O transporte de sedimentos nos rios é principalmente unidirecional, seguindo o caminho do fluxo dominante, porém pode ser influenciado por turbulências e fluxos secundários (PERRY, 2007).

2.7 TRANSFORMAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS NOS RIOS

O balanço de carbono na maioria dos pequenos rios é dominado por materiais alóctonos; isto é, carbono orgânico que é introduzido do ecossistema terrestre circundante, bem como compostos orgânicos dissolvidos, incluindo carboidratos solúveis e aminoácidos, que lixiviam de folhas em decomposição, raízes de plantas, ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo (SCHLESINGER, 2000).

O movimento do carbono orgânico dissolvido nas águas dos rios é fortemente controlado pela interação com os minerais argilosos do solo, quando esses minerais estão ausentes, os compostos orgânicos se movem livremente dos solos para as águas dos rios. As contribuições de material alóctono de carbono orgânico são divididas em formas dissolvidas (42%), formas particuladas (57%), enquanto a produção primária líquida de fitoplâncton e musgos representa apenas 0,2% do carbono orgânico disponível para ser respirado no rio (SCHLESINGER, 2000).

Schlesinger (2000), propõe que a maioria dos rios tem baixas concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NH_4^+ , NO_3^-) e fósforo (HPO_4^{2-}), que são ativamente absorvidos por plantas e microorganismos do solo, que por sua vez; são retidos nele. A mobilidade geoquímica dos elementos é moldada por ciclos que podem ser divididos entre os endógenos, que envolvem predominantemente o subsolo e rochas de vários tipos, e os ciclos exógenos que ocorrem na interação dos componentes atmosféricos e terrestres. A maioria dos ciclos biogeoquímicos pode ser

descrita como ciclos elementares que envolvem nutrientes como Carbono, Nitrogênio, Oxigênio, Fósforo e Enxofre (MANAHAN, 2007).

Todos os ciclos biogeoquímicos envolvem soluções salinas ou soluções de solo contendo substâncias dissolvidas lixiviadas de minerais intemperizados; essas substâncias podem ser depositadas como formações minerais, ou podem ser adsorvidas por organismos como nutrientes (MANAHAN, 2007).

Os ciclos de elementos como Nitrogênio, Carbono e Fósforo estão conectados em vários níveis desde o molecular até o ecossistêmico, os movimentos de **N**, **P** e **C** estão fortemente ligados através de sua biogeoquímica, como é o caso da taxa de acúmulo de N que geralmente é maior em solos com alto teor de P (SCHLESINGER, 2000). O ciclo do Fósforo é completamente sedimentar, na medida em que este elemento é liberado da rocha e se deposita tanto em sedimentos superficiais como em sedimentos marinhos profundos (MANAHAN, 2007).

Neste sentido, o sedimento pode ser composto por vários materiais desde a sua origem até à sua zona de acumulação, dentro dos quais podemos citar os sedimentos químicos ou não clásticos, que incluem o conteúdo de minerais neoformados pela carga dissolvida e os sedimentos biogênicos (compostos de fitoplâncton, zooplâncton e bactérias, restos de macrófitas, grandes organismos), que são precipitados ou preservados durante os mecanismos de sedimentação e incorporados desta forma como resíduos sólidos (MANAHAN, 2007).

A carga sedimentar que percorre nos rios é controlada por a litologia que determina a fração inorgânica proveniente da composição química das rochas alteradas, que é composta principalmente por oxihidróxidos, carbonatos, argilominerais, micas e quartzo (SIEGEL, 2002); o relevo que determina a intensidade da carga sedimentar transportável, em áreas de alta declividade ocorre maior intemperismo físico e transporte, pelo qual adquire carga dissolvida, suspensa e de fundo (fluxo turbulento), em áreas de baixa declividade ocorre o contrário e processos de intemperismo químico e sedimentação, de modo que a carga disponível será em maior proporção dissolvida, suspensa e quase nenhuma carga de fundo (RAMÍREZ, 2006).

Muitos dos metais pesados encontram-se nas estruturas dos diversos grupos minerais que constituem a crosta terrestre, razão pela qual podem ser aportados aos diversos sistemas naturais, pelo aporte de água e sedimentos de sistemas fluviais, sendo detectáveis em coloidal, fases particuladas ou dissolvidas, pois tendem a se

acumular na fração de menor tamanho de grão por ser a fração de maior reatividade associada a sua grande área superficial (BAUTISTA, 1999; COLIN, 2001).

2.8 FATORES CONTROLADORES DA PRESENÇA E MOBILIDADE DE METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS

Os fatores que controlam a mobilidade dos metais pesados em sistemas naturais dependem em grande parte de parâmetros físico-químicos e, não menos importante, das características texturais e composicionais do sedimento com o qual interage, que controlam as especiações nas quais esses metais transitam, como cátions dissolvidos, íons complexos, metais complexados com matéria orgânica ou sorvidos em argilominerais (SIEGEL, 2002). Esses fatores controlam as diferentes condições químicas dos sistemas naturais, sendo os mais importantes:

pH: é a medida da atividade do íon hidrônio, que reflete a acidez e basicidade dos meios aquosos, este parâmetro condiciona a solubilidade de espécies oxihidróxidos, carbonatos, metais, entre outros minerais, os quais podem ser dissolvido ou imobilizado (GONZÁLEZ, 1982).

Eh ou Potencial Redox: é o parâmetro que define as condições oxidantes ou redutoras de um ambiente, medido pela disponibilidade de elétrons presentes, onde os elementos irão preferir se mobilizar ou se imobilizar para conseguir maior estabilidade nas condições submetidas, seja, formando estável ou fases solúveis, comportamento emblemático da influência do Eh, no ferro (Fe) em condições oxidantes é imóvel formando $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$, em condições redutoras é móvel como cátion reduzido $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ e na presença de S^{2-} - imobilizado como pirita ($\text{FeS}_2(\text{s})$) (GONZÁLEZ, 1982; SIEGEL, 2002).

Salinidade: este parâmetro pode aumentar a mobilidade de metais alojados em posições de troca, exemplo: Na, K, Ca e Mg podem substituir metais pesados em sítios de adsorção, assim como o ânion cloreto pode formar ânions complexos solúveis com metais pesados como Zn, Cd e Hg (SIEGEL, 2002).

A temperatura: parâmetro fundamental em todos os processos de mobilização de espécies químicas, que influencia as taxas de reação química e a solubilidade das referidas espécies (SIEGEL, 2002).

2.9 MECANISMOS FÍSICOQUÍMICOS PRESENTES EM SISTEMAS AQUOSOS

Na dinâmica dos sistemas aquosos, diversos mecanismos físico-químicos são gerados em resposta às flutuações dos parâmetros descritos anteriormente para adaptação às novas condições permanentes ou transitórias; alguns deles são:

A troca catiônica, uma das características mais importantes dos sedimentos de fundo é sua capacidade de troca catiônica com o meio aquoso circundante. A capacidade de troca catiônica (CTC) mede a capacidade do sedimento de absorver cátions e varia com o pH e a salinidade (MANHAN, 2001).

Adsorção, os átomos, íons ou moléculas ficam retidos na superfície dos minerais; seja por forças intermoleculares ou por substâncias porosas, que podem ser adsorventes. Esse mecanismo depende muito do pH, onde algumas espécies, como os óxidos de Fe, podem apresentar cargas negativas em pH alto, e os cátions da solução são adsorvidos, caso contrário, ocorre quando o pH diminui (THOMBER, 1992).

A precipitação e a coprecipitação, são mecanismos responsáveis da formação de sólidos através do processo de nucleação, controlados por diversos fatores como a natureza dos elementos químicos e parâmetros físico-químicos do ambiente. Na coprecipitação, os compostos solúveis são separados da solução durante a formação de um precipitado, onde ocorrem processos de adsorção, formação de cristais mistos, oclusão e/ou aprisionamento mecânico; um exemplo disso é quando um metal pesado que está em solução co-precipita com carbonatos e hidróxidos de ferro (RAYNER-CANHAM, 2000).

A floculação, consiste na aglomeração de pequenas partículas através da neutralização de cargas que conseguem formar agregados maiores, por meios mecânicos, químicos e biológicos, em que as partículas floculadas conservam sua individualidade permitindo sua livre movimentação no meio aquoso (MANAHAM, 2001).

Óxido-Redução, são mecanismos que ocorrem simultaneamente, por um lado, óxidos insolúveis são formados por condições oxidantes na presença de oxigênio dissolvido em águas superficiais ou ambientes exógenos (SIEGEL, 2002); e, por outro lado, a redução ocorre em condições de saturação de água ou baixo potencial de oxidação (Eh), gerando sedimentos orgânicos com acúmulo de sulfetos (CASANOVA, 2005).

Complexação-Quelação, os quelatos são complexos organo-metálicos, nos quais um cátion metálico está ligado a vários ligantes (MANAHAM, 2001), por sua vez, essas reações são aquelas em que uma ou mais moléculas de um solvente são substituídas por outras espécies químicas, essas espécies ligadas ao íon central são denominadas ligantes (MANAHAM, 2001). Esse mecanismo permite que a matéria orgânica controle a mobilidade de espécies químicas em diferentes condições de intemperismo e sedimentação (MASON, 1960), especialmente metais pesados.

Quando se deseja estimar a mobilização de metais pesados presentes em sedimentos, é muito útil determinar as diversas formas químicas em que eles se encontram, além do tipo de substrato ao qual essas espécies estão associadas no sedimento. A técnica de especiação permite estabelecer o comportamento dos metais pesados em sistemas fluviais e sua mobilidade química. Quando um metal está fracamente ligado a uma espécie ou fração química, seu índice de biodisponibilidade será alto, pois o metal pode ser facilmente solubilizado com pequenas mudanças nas condições ambientais do sedimento, como diminuição de seu pH ou potencial Redox (GONZÁLEZ *et al.*, 2009, p. 15-22).

Porém, se o metal estiver fortemente ligado à fração, sua estabilidade será muito alta e mudanças drásticas nas condições ambientais seriam necessárias para passar para a fase solúvel, o que normalmente não ocorre em um sistema natural. Se a maior concentração de metais for encontrada nesta fração, isso indica uma biodisponibilidade muito baixa e, conseqüentemente, o perigo de toxicidade seria reduzido. Esta informação só pode ser obtida com um estudo de especiação seletiva (GONZÁLEZ *et al.*, 2009, p. 15-22).

Para realizar o estudo de especiação, são aplicadas várias extrações químicas sequenciais, consiste no uso racional de uma série de reagentes seletivos que permitem a solubilização sucessiva de diferentes frações químicas, consideradas responsáveis pela retenção de metais pesados com base em sua Natureza química.

Metais na forma de íons trocáveis podem ser facilmente liberados de sistemas aquosos por pequenas alterações ambientais; esta fração corresponde àquela com maior suscetibilidade para determinar o nível de contaminação por metais em um sistema natural (WEN *et al.*, 1999, p. 185-212).

Os metais associados aos carbonatos são considerados aquelas espécies que são liberadas ou solubilizadas quando os níveis de pH nos sedimentos diminuem, exatamente quando ocorre a dissolução do carbonato (WEN *et al.*, 1999, p. 185-212).

Os metais associados aos óxidos de ferro e manganês serão solubilizados nas áreas onde o sedimento estiver sob condições redutoras. Esses óxidos são substâncias com alto poder de adsorção e são termodinamicamente instáveis em condições de baixo potencial Redox (Eh) ou anóxico (WEN *et al.*, 1999, p. 185-212).

Os metais associados à matéria orgânica representam a fração que seria liberada ao passar para condições oxidantes (WEN *et al.*, 1999, p. 185-212).

Por fim, há a fase residual que corresponde aos metais associados às fases minerais primária e secundária (principalmente silicatos e aluminossilicatos), que fazem parte das estruturas da rede cristalina (WEN *et al.*, 1999, p. 185-212).

2.10 COBERTURA DA TERRA E PRODUÇÃO DE ELEMENTOS GEOQUÍMICOS

Com relação à interferência nos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio e do fósforo, Artaxo (2014) descreve que a utilização em larga escala de fertilizantes, que permitiu o aumento da produtividade agrícola, também interfere de maneira negativa, uma vez que a utilização em excesso de nitrogênio e fósforo pela agricultura, é maior que a capacidade de ciclagem natural destes elementos. Além da eutrofização nos corpos hídricos, estes elementos estão atingindo, até mesmo regiões pouco perturbadas como a Amazônia, por meio da deposição por aerossóis

Robertson e Saad (2014), ressaltam que as características do meio ambiente ajudam a explicar a variabilidade na entrega de N e P aos riachos, neste caso a densidade da drenagem da bacia, a fração da bacia com irrigação, precipitação, temperatura do ar e permeabilidade do solo, erodibilidade do solo, conteúdo de matéria orgânica do solo e excesso de escoamento superficial, são fatores envolvidos na acumulação de fósforo e nitrogênio.

Musolff *et al.* (2015, p. 133–146), apontam que a exportação de solutos das bacias hidrográficas é resultado de processos naturais como intemperismo químico, condições climáticas, bem como pelo uso intensivo da terra em atividades agrícolas. Eles também indicam que altas concentrações de nitrogênio e fósforo estão ligadas a processos de eutrofização em lagos, reservatórios e corpos de água marinha. Musolff *et al.* (2015, p. 133–146), recomendam que seja necessário entender, quantificar e generalizar a exportação de solutos para permitir melhores previsões de como as funções de captação, mobilização e retenção de nutrientes podem responder às mudanças de condições (por exemplo, mudanças climáticas e uso da terra).

Thompson *et al.* (2011, p. 1-20) argumentam que o gerenciamento intensivo de atividades agrícolas aumenta as reservas de nitrato na bacia, resultando em transporte e exportação de nitrato mais previsíveis. Da mesma forma, bacias com altas contribuições de solutos como Na, Cl e SO₄ de fontes exógenas (por deposição atmosférica) podem levar ao acúmulo de reservas herdadas e, portanto, de maneira semelhante ao comportamento quimiostático dessas substâncias.

Robertson e Saad (2014), avaliaram uma variedade de especificações do modelo SPARROW, usando o conhecimento das principais fontes e esforços de modelagem anteriores, eles descobriram que as fontes de N e P são estatisticamente significativas: efluentes de esgoto, fertilizantes agrícolas, esterco total (para P) e esterco de animais confinados (para N), insumos agrícolas adicionais de leguminosas (incluindo fixação), áreas urbanas e desenvolvidas, deposição atmosférica, florestas e pântanos, erosão de solos profundos e erosão de canais de grandes rios.

Musolff *et al.* (2015, p. 133–146), afirmam que, até o momento, as medidas realizadas para caracterizar a exportação de solutos se concentraram nas semelhanças entre o comportamento de exportação de nutrientes e solutos geogênicos em diversas bacias. No entanto, faltam estudos que explorem as diferenças no comportamento de exportação de solutos nas bacias, ou seja, a ligação entre o comportamento de exportação e os principais fatores que influenciam na disponibilidade e mobilização de solutos, como o uso da terra e a geologia.

Johnson *et al.* (1997, p. 193–208) e Jordan *et al.* (1997, p. 2579-2590), descreveram correlações positivas entre as concentrações médias anuais das espécies N e P e a fração das terras agrícolas. Na mesma ordem de ideias, Sliva e Williams (2001), mostraram que os ambientes geológicos e os tipos de solo estavam significativamente relacionados às cargas químicas anuais de nutrientes presentes nas águas superficiais. Correlações estatísticas significantes entre essas medidas e as características das bacias hidrográficas podem sugerir controles dominantes para as concentrações médias de soluto e que podem frequentemente estar relacionadas ao manejo agrícola e outros impactos antrópicos nas bacias hidrográficas. Por sua vez, as concentrações médias podem ser o resultado das características da bacia e, portanto, seriam preditores estatísticos.

2.11 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

No marco que serve de base ao desenvolvimento desta investigação geomorfológica, é necessário complementar as análises de causa-efeito com uso de técnicas de análise multivariada, visto que a natureza do estudo o justifica pela diversidade de variáveis que nele são abordadas. Neste sentido, Prado e Novo (2015), aplicam ferramentas de modelagem multicritério para mapear a distribuição espacial do potencial de contribuição da bacia para a poluição do reservatório de água, o que implica um transporte implícito de solutos.

O estudo de Prado e Novo (2015), contribuem com a demanda de informação sobre os fatores (critérios) que afetam o potencial de poluição das bacias de drenagem através da construção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com sua distribuição espacial ao nível de sub-bacia. Apesar da subjetividade envolvida no processo de ponderação, a análise multicritério utilizado nesta pesquisa mostrou ser uma importante ferramenta para simulação de cenários de proteção dos recursos hídricos.

2.12 ANALISES ESTATISTICOS

Vogel *et al.* (2005, p. 1081–1089), desenvolvem um modelo teórico estatístico que facilita o entendimento dos fatores que dão origem a maior ou menor variabilidade nas cargas de soluto e seus efeitos na qualidade da água. Muitos estudos documentaram uma relação linear entre o logaritmo das concentrações de sedimentos e o fluxo atual.

Vogel *et al.* (2005, p. 1081–1089), apontam a importância e validade do uso de estatísticas como estimadores de carga; no entanto, a maioria dos estudos levou a conclusões específicas do local que não puderam ser generalizadas além dos locais específicos. Este estudo incorpora um modelo logarítmico bivariado que é útil na descrição da estrutura mecânica e probabilística de concentração, descarga e cargas constituintes. Mesmo, que o modelo teórico seja uma representação simplista, ele fornece uma aproximação de primer ordem do comportamento probabilístico dos dados de qualidade da água. O modelo introduzido permite uma melhor compreensão da incerteza associada aos dados de qualidade da água e as interações entre fluxos, concentrações e cargas.

Robertson e Saad (2014), indicam que a principal fraqueza da abordagem de regressão é que ela não descreve explicitamente o longo prazo onde o

armazenamento ou remoção de nutrientes ocorre durante o transporte e, os processos que ocorrem em terra e em riachos não são separados, dificultando a identificação e rastreamento de fontes que contribuem para a carga total que chega à jusante.

Varanka *et al.* (2014, p. 1989-1999), aplicaram análises estatísticas, em particular métodos não paramétricos, como o teste de correlação de classificação de Spearman (RS), porque a distribuição dos dados mostrou comportamento não normal. Com a análise de correlação, eles determinaram a forte multicolinearidade entre variáveis geomorfológicas como preditores da qualidade da água. Para obter uma visão geral das relações entre variáveis geomorfológicas e qualidade da água.

Varanka *et al.* (2014, p. 1989-1999), realizaram análises de escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS), considerado um método robusto na análise multivariada e não possui requisitos de normalidade ou linearidade na ordenação de dados, que o que é uma grande vantagem sobre outros métodos (MCCUNE e GRACE, 2003). Como outras técnicas de gerenciamento, o NMDS pode ser usado para gerenciar a correlação em um conjunto de variáveis definidas. Também é adequado e relativamente robusto para fins de descrição para qualquer dado disponível (VARANKA *et al.*, 2014, p. 1989-1999).

Para Schwarz *et al.* (2006, p. 185-186), se os coeficientes estimados nas associados das variáveis colineares forem estatisticamente significativos na regressão, então a implicação é que houve um número suficiente de observações para separar estatisticamente esses coeficientes de zero. Neste caso, e por tratar-se de uma área que não apresenta abundância ou periodicidade de captação de dados físico-químicos de água e / ou sedimentos, a proposta deste estudo explora outras técnicas estatísticas como a análise de componentes principais (ACP), análise de correspondência (AC) e análise de correspondências múltiplas (ACM) para conhecer a correlação espacial das variações nas concentrações dos elementos químicos.

CAPITULO III. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO AROA

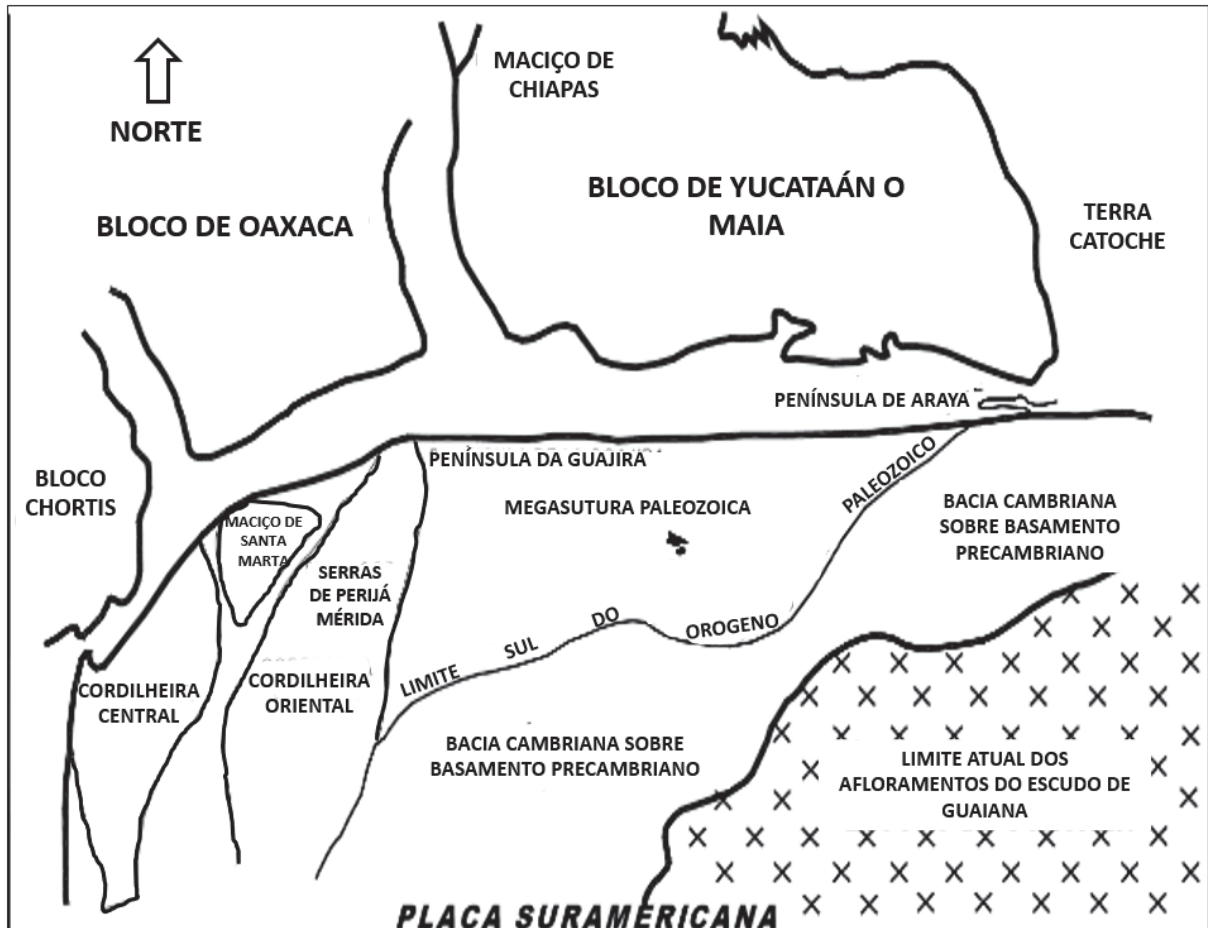
3.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL DO NORTE DA VENEZUELA

A evolução estrutural é necessária para entender o contexto tectono sedimentar da bacia do rio Aroa e a presença de metais pesados, por enquanto nos maciços de rochas ígneo metamórficas da serra de Aroa contem minerais metalogénicos que aportan estos elementos químicos. Neste sentido, a evolução morfotectônica do norte da Venezuela é muito complexa pois inclui a sucessão de processos de abertura cortical pré-Proterozóico, Triássico e subsequente a deformação e inversão tectônica dos antigos sistemas de graben Jurássico.

Nesta ordem de ideias, Ostos (1990) propõe um modelo de placas tectônicas para explicar a evolução do norte da América do Sul. Em seu modelo, os cinturões tectônicos Leste-Oeste do Norte da América do Sul são alóctones e foram deformados como resultado da colisão de um micro continente e um arco insular contra o Oeste-Noroeste da América do Sul durante o Neocomiense. Os cinturões foram inicialmente derrubados na margem Oeste-Noroeste da placa sul-americana, mas devido ao alto ângulo de obliquidade no limite da placa, os cinturões foram transportados de forma transpressional em direção ao Nordeste.

Entre o Triássico tardio e Jurássico inferior, o limite do escudo de Guiana e os blocos Maia – Oaxaca – Chortis, formou-se a bacia sedimentar paleozoica com a presença de terrenos alóctones que constituem o núcleo dos sistemas das cordilheiras Central, Santa Marta, Perijá, Mérida e Oriental (FIGURA 5).

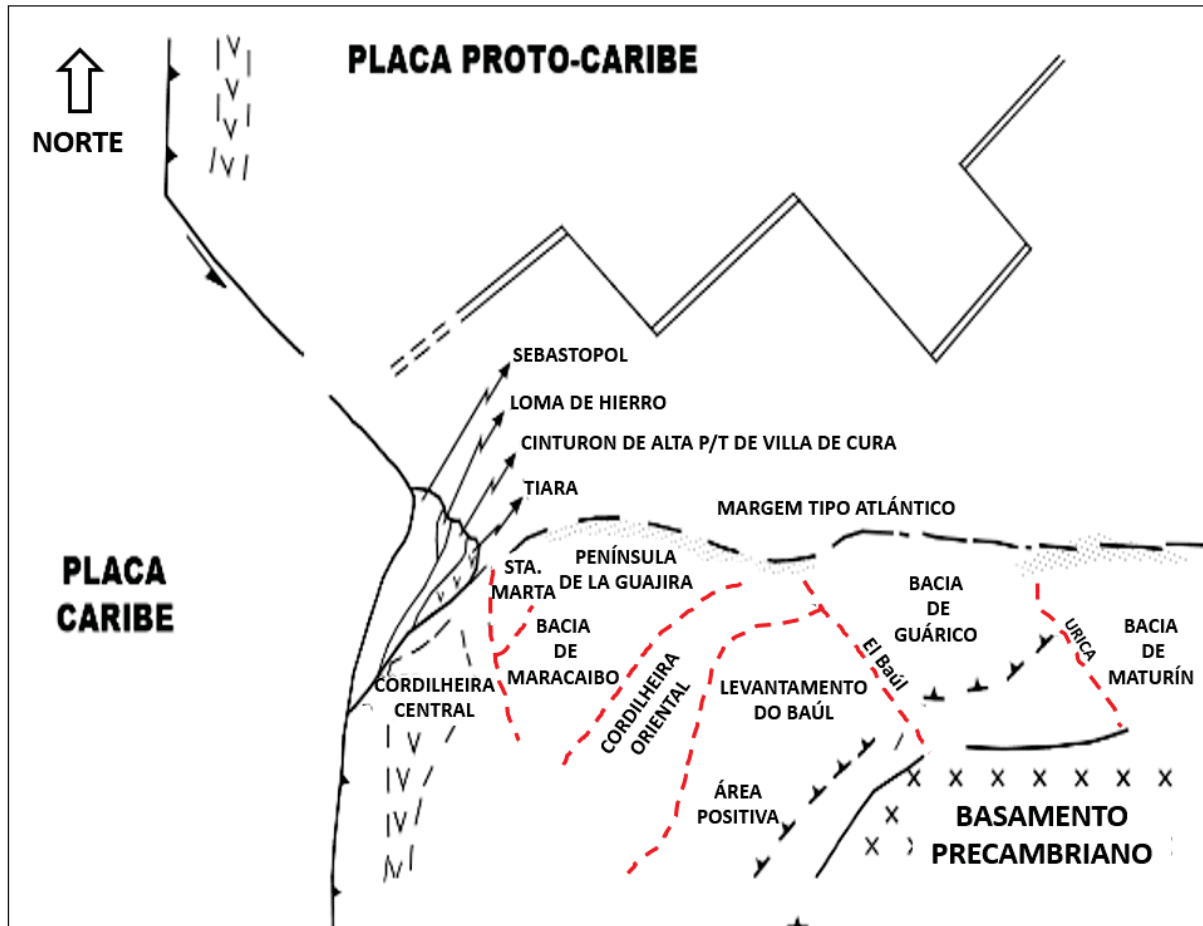
FIGURA 5 – RECONSTRUÇÃO DO TRIÁSSICO TARDÍO - JURÁSSICO INFERIOR



FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

Posteriormente a placa Proto – Caribe assim como o antigo arco de ilhas produziram uma etapa de colisão com os terrenos alóctones e pré-definem a configuração geométrica dos sistemas de cordilheiras. Para o Neocomiense (125 Ma), já estão pré-definidos os cinturões de rochas de Sebastopol, Loma de Hierro, Villa de Cura e Tiara, os quais foram deslocados pelo movimento em ângulo oblíquo das placas Proto – Caribe e Caribe, no momento no que está definido a margem tectónica do Norte da placa Sul-americana ao estilo Atlântico (FIGURA 6).

FIGURA 6 – EVOLUÇÃO TECTÔNICA DURANTE O NEOCOMIENSE (125Ma)

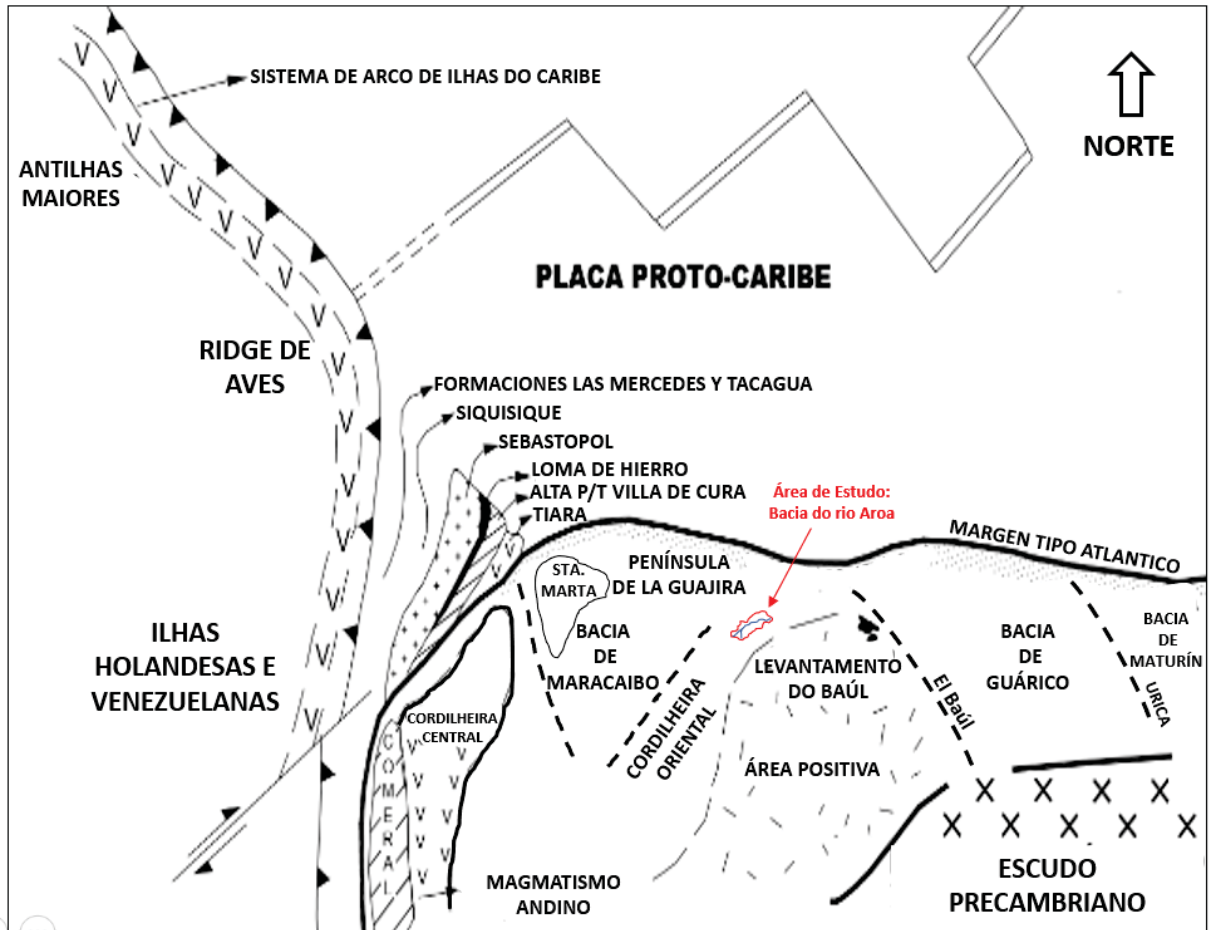


FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

No Albiense tardio (100 Ma), o sistema de Arco de ilha do Caribe das Antilhas Maiores, o Ridge do islã de Aves e o sistema de islãs Holandesas e venezuelanas já estão movendo-se e subductando com a borda noroeste da placa Sul - americana o que vai deslocando os terrenos das formações Las Mercedes e Tacagua, Siquisique, Sebastopol, Loma de Hierro, Villa de Cura e Tiara, processo que continua até o Eoceno inferior (FIGURA 7).

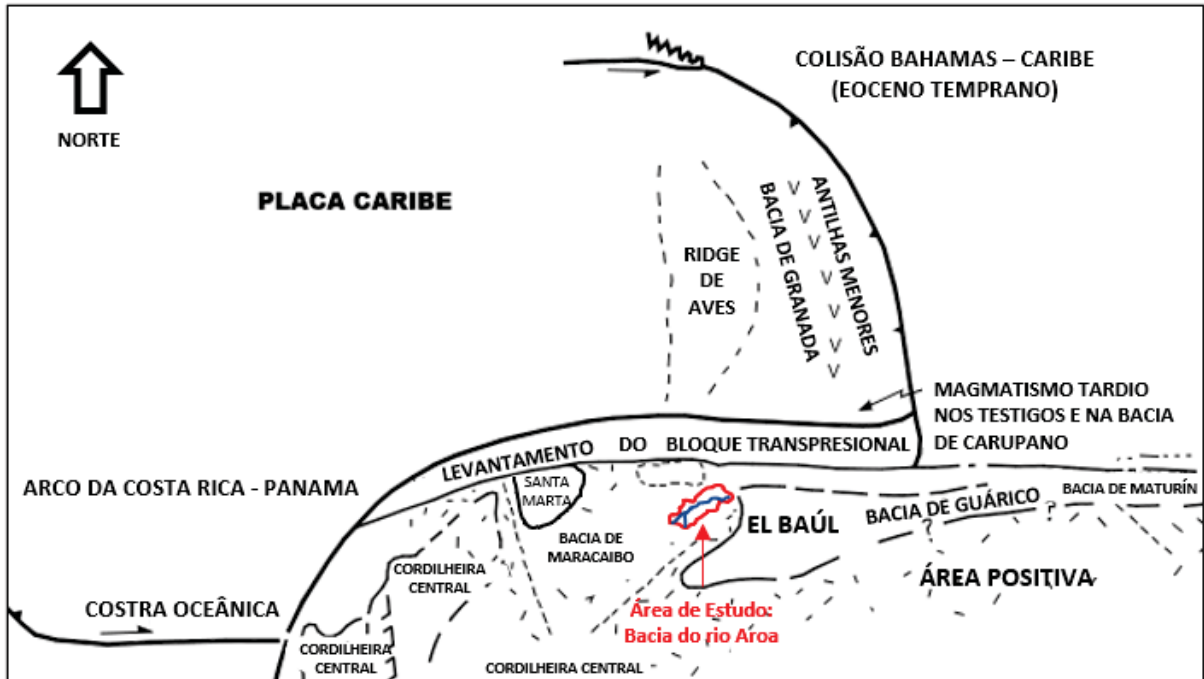
Para o Eoceno (40 Ma), o sistema de Arco de islã do Caribe das Antilhas Maiores, o Ridge do islã de Aves e o sistema de islãs Holandesas e venezuelanas já estão se movendo e subductando com o borde noroeste da placa Sud americana o que vai deslocando os terrenos das formações Las Mercedes e Tacagua, Siquisique, Sebastopol, Loma de Hierro, Villa de Cura e Tiara (FIGURA 8).

FIGURA 7 – EVOLUÇÃO TECTÓNICA DURANTE O ALBIENSE TARDÍO (100 Ma)



FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

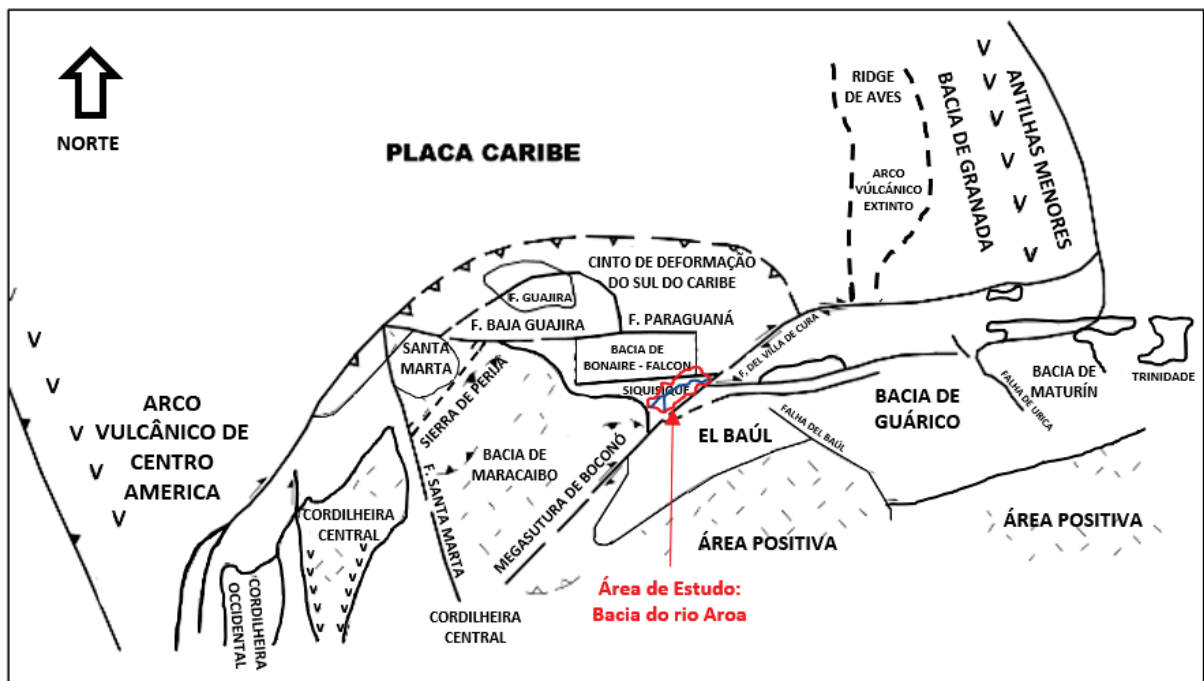
FIGURA 8 – RECONSTRUÇÃO DO EOCENO (40 Ma)



FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

Para o período do Oligoceno tardio, conforma-se o Arco de ilhas das Antilhas Menores ao Leste da fachada Caribenha da Venezuela, assim como a Bacia de Granada e o promontório De Aves. O processo tectônico neste período configurou o relevo dos Altos de Siquisique – Aroa – Yumare – Nirgua, o graben de Aroa, assim como os grandes sistemas de falhas de Santa Martha – Perijá, Falha da Baja Goajira (atualmente Falha Oca -Ancón) e a Mega Estrutura de Boconó (FIGURA 9).

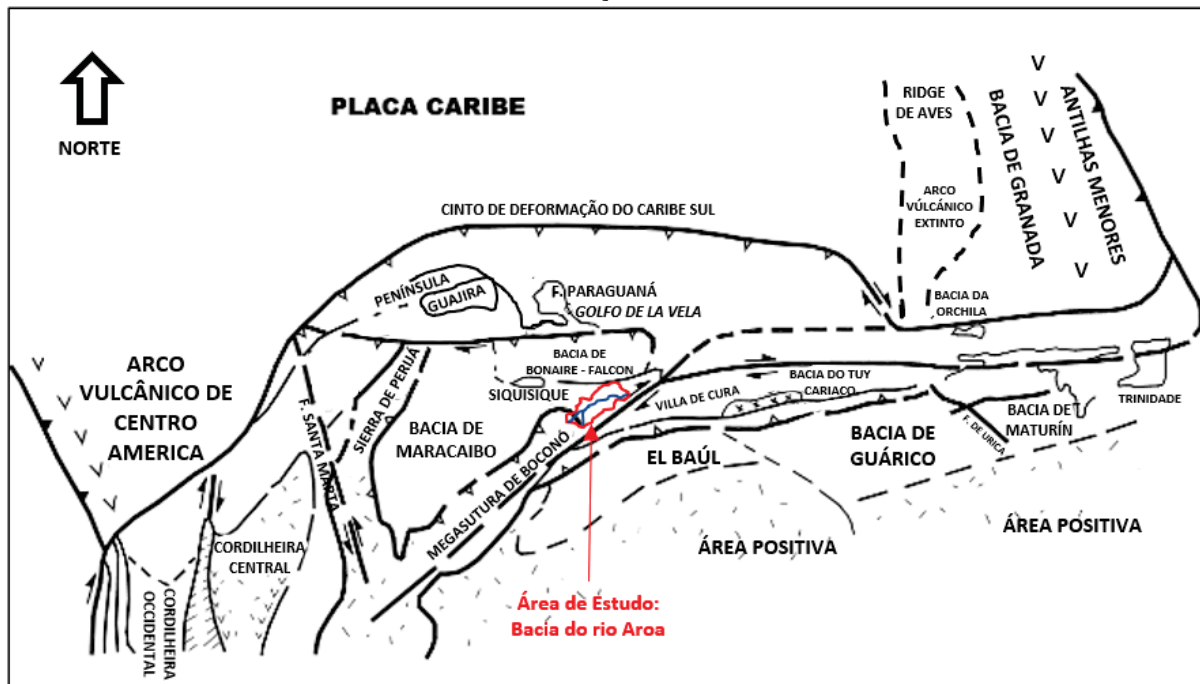
FIGURA 9 – RECONSTRUÇÃO DO OLIGOCENO TARDIO



FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

Para o período do Mioceno tardio, conforma-se a divisória do graben de Aroa com respeito nos sistemas de bacias de Maracaibo e Bonaire – Falcón. Continua o deslocamento ao Leste da Placa Caribe definindo a falhas de Villa de Cura (atualmente Sistemas de Falhas de San Sebastian e El Pilar), assim como o Cinto Deformado do Caribe Sul (FIGURA 10).

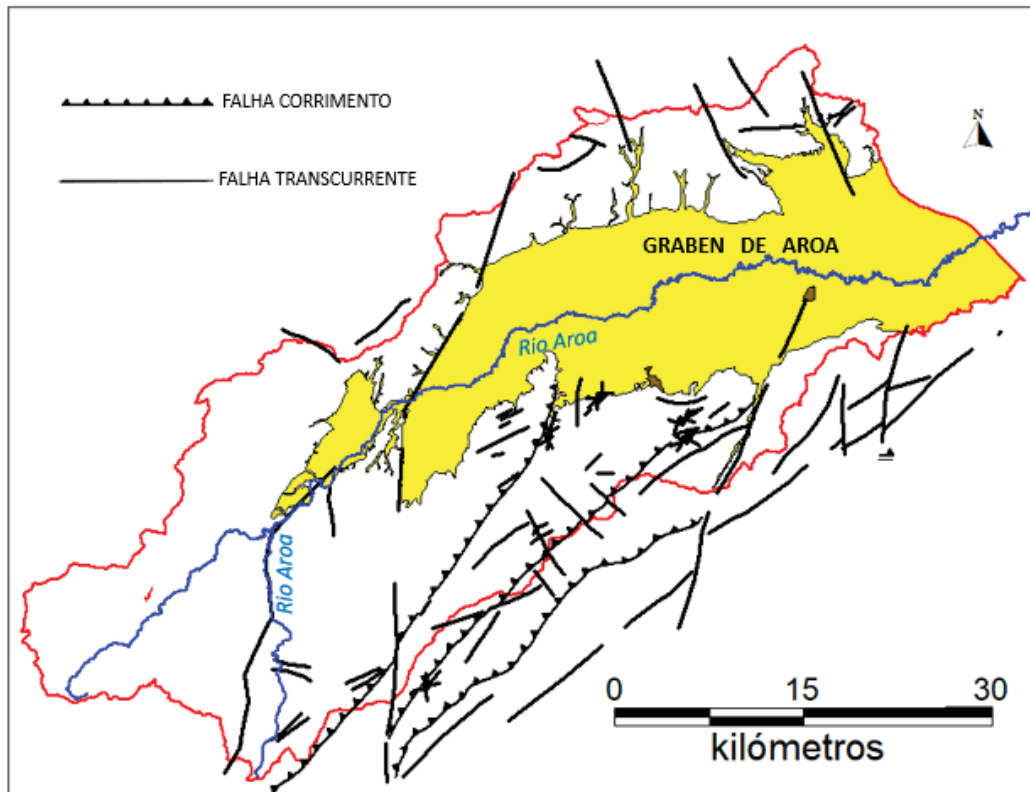
FIGURA 10 - RECONSTRUÇÃO DO MIOCENO TARDIO



FONTE: Modificado de OSTOS (1999)

Por fim, a constituição tectónica do graben de Aroa serve de zona de formação do vale do mesmo rio e sobre a qual se realiza o presente estudo (FIGURA 11).

FIGURA 11 - MAPA NEOTECTONICO DA REGIAO DE YUMARE - AROA

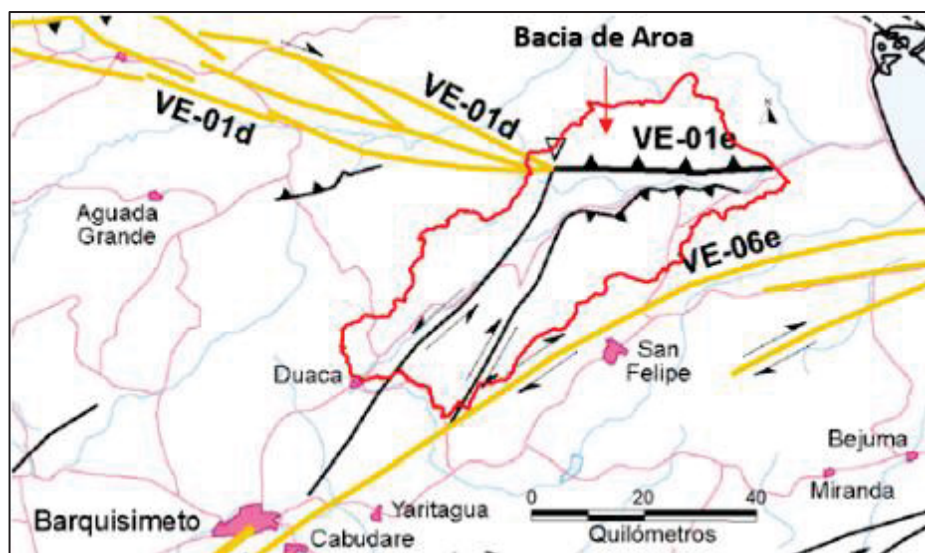


FONTE: Modificado de BELLIZZIA et al. (1968, p.1).

3.2 SISTEMA DE FALHAS DA ÁREA

Na região de estudo destacam-se por o flanco Sul a seção Cabudare – Morón, do sistema da falha de Boconó, atravessa o vale do rio Yaracuy, assim como também define o graben de Yaracuy. Nesta mesma seção de falha (Cabudare - Morón), derivan-se as falhas sintéticas que conformam o graben de Aroa o qual conectan pelo Norte com a seção Socremo do sistema de falha Oca - Acón (FIGURA 12).

FIGURA 12 - FALHAS PRINCIPAIS DA ÁREA



VE-01: Sistema de Falhas Oca – Acón, VE-01d Seção sem nome, **VE-01e: Falha de Socremo.**
 VE-06: Sistema de Falha de Boconó, VE-06e: Falha Seção Cabudare - Morón

FONTE: Funvisis (2000) e USGS (2000)

Ao norte dos maciços ígneo-metamórficos existe uma zona de falha, que se estende para Oeste, ao longo do vale do rio Tocuyo (até à região de Siquisique) e muito mais para Oeste, até se juntar com a Falha Oca-Ancón. A presença desta geofratura é coberta pelas camadas sedimentares do Terciário inferior da bacia Falcón e subsequentes falhas transcorrentes. A falha mais importante é a falha de Boconó, que atravessa o vale do rio Yaracuy e se junta ao sistema de falhas Morón-San Sebastián. Nas características neotectônicas da região da área de estudo, com movimento das falhas rumbo deslizantes dextrales, ao Sul dos morros ígneo-metamórficos e sedimentares quaternários holocénicos de origem aluviais, observa-se uma frente de empurrão reversa, a falha do Socremo, que possui tendência aproximada W-E, além disso, ao sul dos maciços ígneo-metamórficos existem frentes de empuxo inversas nas colinas sedimentares com direção aproximada, W-E.

3.3 LITOLOGÍA DA ÁREA

A configuração geológica nas montanhas do sul da bacia do rio Aroa ocorrem as Formações Aroa, do cretáceo tardio, com predomínio de xistos de feldespáticos grafite calcários, filitos de grafite, xistos quartzo-micáceos-grafite, calcários laminados, calcários sólidos e vários horizontes de xistos verdes. Estes últimos exibem uma mineralogia de zoisita, clinozoisita, epidoto, feldspato, actinolita, clorita, calcita e quartzo (BELLIZZIA; RODRÍGUEZ, 1968).

O Complexo Yaritagua de idade Proterozóica, é descrito por Bellizzia e Rodríguez (1968), como na unidade xisto quartzo-micáceo, anfíbolito granatífero e alguns afloramentos de xisto glaucofano e mármore. Posteriormente, em 1976, esses autores completam a descrição da formação observando a presença de gnaiss porfiroblástico, augengneis, xisto quartzo-micáceo, xisto quartzo-feldspático-clorítico e gnaiss, xisto biotítico, anfíbolito granatífero, quartzito e uma porção menor de glaucofano xisto e mármore.

A Formação Nirgua, do Jurásico, tem vários tipos litológicos, tais como: quartzo xisto - micáceo, micáceo - grafite, mármore maciço, anfíbolito eclogítico, anfíbolito epidótico e granatífero, quartzito, xisto e quartzo - gnaiss micáceo – feldespático (BELLIZZIA; RODRÍGUEZ, 1967).

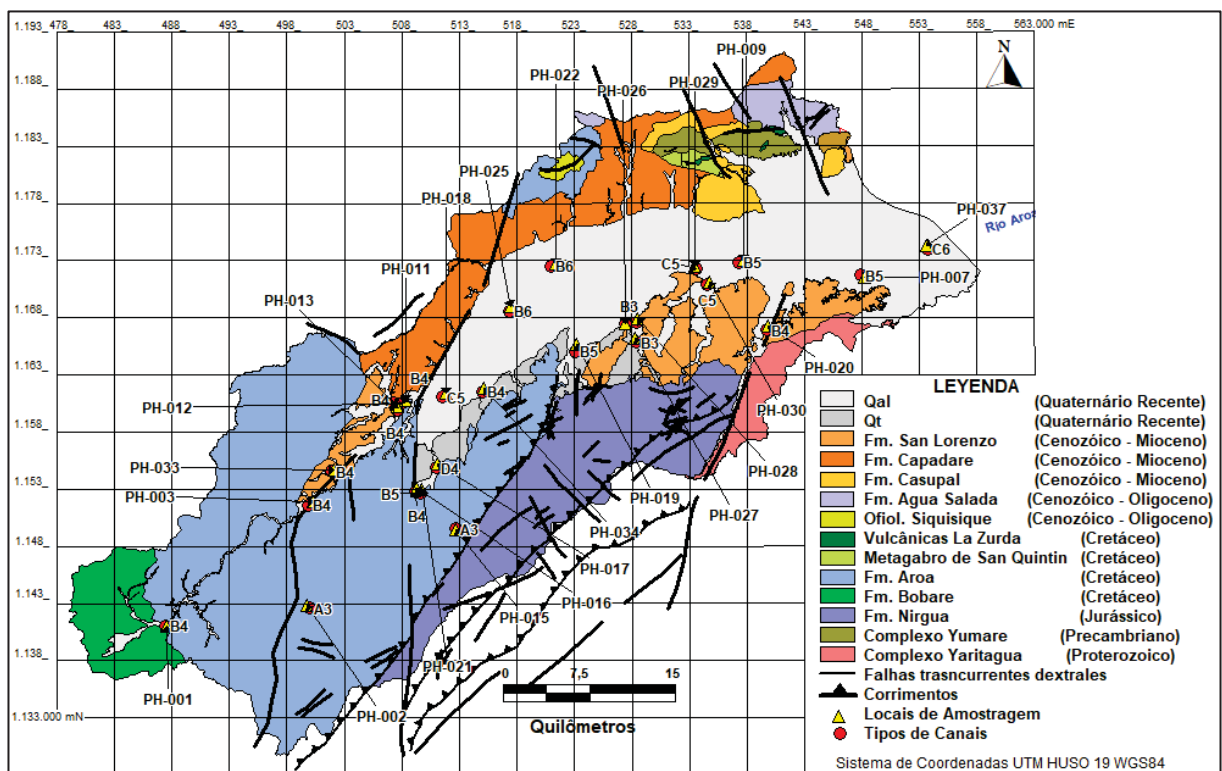
Ao Norte, nas montanhas de Yumare, basicamente tem predomínio de rochas sedimentarias das Formações Capadare composto por um calcário de recife. Em alguns trechos é composto por areias siltosas, quartzo e micáceas, intercaladas com calcário (URBANI, 2021, p. 108).

A Formação Casupal é caracterizada pela presença de arenitos e argilas de granulação fina, material carbonáceo (URBANI, 2021, p. 108). Além de uma porção de rochas vulcânicas dos membros La Zurda e San Quintin do cretáceo (URBANI, 2021, p. 270).

Em geral, a área é dividida em dois grandes setores geológicos bem diferenciados, as montanhas de Yumare ao norte com predominância de rochas sedimentares intrudidas por os metagabros da Formação La Zurda, as vulcânicas de San Quintin e pelo complexo ofiolítico de Siquisique. Nesse sentido, a modelagem dessas montanhas tende a ser mais ondulada e lisa nos setores de arenito, enquanto nas áreas de calcário o relevo tende a formar cristas tubulares, principalmente a nordeste.

Em contraste, as montanhas de Aroa-Nirgua e Yaritagua ao sul, com predomínio de xistos, tendem a desenvolver relevos mais íngremes com uma definição marcada de encostas côncavas e convexas (FIGURA 13).

FIGURA 13 - GEOLOGIA DA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Modificado de Urbani, (2021) e USGS (2015)

Segundo Lozano e Mussari (2007), o Xisto Aroa é constituída por rochas pelíticas e carbonáticas que foram metamorfoseadas na fácies xisto verde, subfácies quartzo-albita-muscovita-clorita. O mesmo, está tectonicamente rodeado pelo serpentinito que também atingiu a fácies xisto verde, provavelmente também afetado pela subfácies quartzo-albitamuscovita-clorito. O mesmos autores, explican que a unidade litológica metavulcanosedimentar San Quintín apresenta rochas metamorfoseadas na fácies xisto verde, subfácies quartzo-albita-moscovita-clorita.

Eles observaram que a unidade litológica anortosítica Metagabro de Yumare presente nos maciços San Quintín, La Zurda e Salsipuedes é afetada por processos metamórficos, correspondentes, provavelmente no primer momento a fácies da granulito e posteriormente, a fácies xisto verde, zona da clorita e zona biotita (somente em Salsipuestas). A associação mineralógica dos grupos litodémica está resumida na QUADRO 1.

QUADRO 1 – RESULTADO LITOLOGÍA E ASSOCIAÇÃO MINERALÓGICA DAS ROCHAS.

| Maciço | Unidade | Tipo litológico | Associação mineralógica |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Tarana | Xisto de Aroa (Fm. Aroa) | Xisto grafitoso-quartzomíáceo | Graf + Qtz + Ser ± Cal ± Ep |
| | | Filita grafitosa-micácea | Graf + Ser + Qtz + Cal ± Ep |
| | Marmore | Cal + Ms ± Qtz ± Hm ± Py | |
| | Serpentinita (Complexo Yaritagua) | Serpentinita | Atg + Opx + Ctl + Tlc ± Mgt |
| San Quintín | Complexo Yumare | Metarenisca | Qtz + Pl + Ms + Chl + Hm ± Zrn |
| | | Metatoba híbrida | Qtz + Chl+ Pl + Ser + Hm ± Ms |
| | | Metatoba cristalina | Pl + Qtz + Chl + Hm+ Leux |
| | | Metatoba de cristales finos | Ms + Chl + Pl + Hm |
| | | Metadacita | Ser + Qtz + Pl + Ms+ Leux + Ilm+ Hm |
| | | Metabasalto clinopiroxénico | Pl + Chl+ Qtz + Cpx + Hm |
| | | Metafenobasalto piroxénico | Pl + Ser+ Chl+ + Px + Hm |
| | Metabasalto | Ser+ Pl + Qtz+ Hm ± Chl | |
| | Metagabro de San Quintín | Metatrandhjemita | Pl + Ser + Qtz + Cpx ± Tr ± Chl ± Ap |
| | | Meta-anortosita | Pl + Ser + Ep ± Cpx ± Ttn ± Leux ± Hm |
| | | Metagabro | Pl+ Ep + Act + Chl ± Ttn ± Hm ± Leux ± Py |
| | | Metamonzogabro | Ser + Pl+ Kfs + Cpx + Ep ± Ttn ± Amp ± Hm |
| | | Meta-quartzo-gabro | Pl+ Qtz + Chl + Hbl + Tr+ Ep + Leux + Hm ± Ttn ± Zrn |
| Metahornblendita | | Hbl ± Pl ± Ep ± Ttn | |
| La Zurda | Vulcánicas La Zurda | Metagranodiorita | Pl+ Qtz + Kfs + Chl + Ser + Cpx + Zrn + Hm |
| | | Metamonzonita | Pl + Kfs + Hbl + Tr + Cpx + Ep + Chl + Hm ± Qtz ± Zrn |

| | | | |
|-------------|-----------------|-----------------------------------|--|
| | | Metamonzogranito | Qtz + Kfs + Pl + Ser+ Bt + Chl + Ms ± Ttn ± Zrn ± Hm |
| | | Metagranito microclínico | Kfs + Qtz + Cpx + Pl + Opx + Ser + Ms + Hm ± Zrn |
| | | Meta-leucogranito | Kfs + Qtz + Pl + Ser + Chl ± Lim |
| | | Metagabro | Pl + Hbl+ Act+ Cpx + Opx + Ep + Ser ± Qtz ± Ttn ± Ap ± Leux ± Hm |
| | | Meta-quartzo-gabro | Pl + Ep+ Chl+ Qtz + Hm ± Zrn |
| | | Metamonzogabro | Act + PL+ Ep + Kfs + Ser + Ttn ± Ms ± Hm |
| | | Meta-quartzo-monzogabro | Pl + Ep + Chl+ Kfs + Act + Hm ± Cpx ± Zrn |
| | | Metaclinopiroxenita | Cpx + Opx + Chl + Hm |
| Salsipuedes | Complexo Yumare | Metatrondhjemita | Qtz+ Bt+ PL + Kfs + Ms + Ser ± Aln |
| | | Metatonalita | Qtz+ Pl + Chl + Ep ± Hm ± Leux |
| | | Metagabro | Pl + Chl + Ep+ Act+ Ser+ Ap + Py |
| | | Gneis hornbléndicoepidótico | Hbl + Pl + Ep+ Ser+ Bt + Chl ± Ttn ± Py |
| | | Xisto quartzofeldespático-micáceo | Qtz + Pl + Bt + Ms+ Kfs + Ep + Ser ± Chl ± Tr ± Opx ± Ttn ± Ap ± Zrn |

Graf = Grafito, Qtz = Quartzo, Ser= Sericita, Cal= Calcita, Ep= Epidoto, Ms= Muscovita, Hm= Hematita, Py= Pirita, Atg= Antigorita, Ctl= Crisotilo, Tlc= Talco, Mgt= Magnetita, Pl= Plagioclase, Tr= Tremolita, Chl= Clorita, Ap= Apatito, Ttn= Titanita, Leux= Leucoxeno, Act= Actinolita, Kfs= Feldespato potássico, Hbl= Hornblenda, Zrn= Zircón, Bt= Biotita, Lim= Limonita, Cpx= Clinopiroxeno, Opx= Ortopiroxeno, Aln= Allanita, Ilm= Ilmenita, Amp= Anfíbol, Px= Piroxeno.

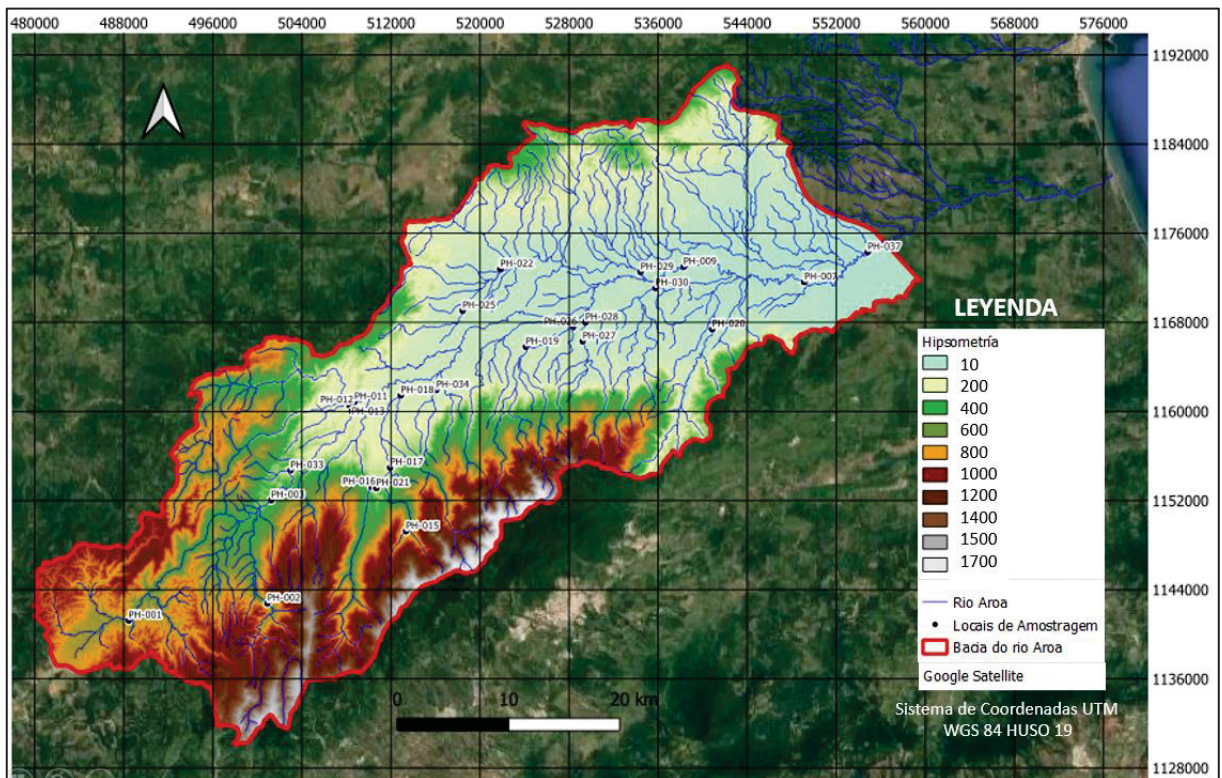
FONTE: Modificado de Lozano e Mussari (2007).

3.4 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Na configuração geomorfológica regional, a área de estudo se insere na porção noroeste da macroforma estrutural denominada Cordilheira da Costa da Venezuela, surgida desde o final do Cretáceo, mas com paroxismo orogenético durante o Eoceno superior. É representado pelos contrafortes montanhosos das serras de Aroa e Agua Fría, pelos vales dos rios Tocuyo, Aroa e Yaracuy. Do ponto de vista fisiográfico, pode ser subdividido em dois conjuntos topográficos distintos: serras e grabens, o vale do rio Aroa é interpretado como graben tectônico originado ao final do Eocênio, como consequência da falha longitudinal ocorrida durante a orogénese da Cordilheira de La Costa, criando um local favorável para se acumular os sedimentos detríticos arrastados das serras de Aroa e Agua Fría.

A cordilheira de Aroa, cujos picos atingem 1.700 m de altitude, constitui uma barreira natural entre o vale do rio Aroa e a depressão de Yaracuy, culmina perto de Palmasola a 30 km do mar Caribe. Tem direção sudoeste-nordeste e a porção oriental da serra de Água Fría é formada por morros de relevo moderado cujas alturas diminuem em direção ao leste, como observa-se no mapa de hipsometria (FIGURA 14) e mapa de declividade (FIGURA 15).

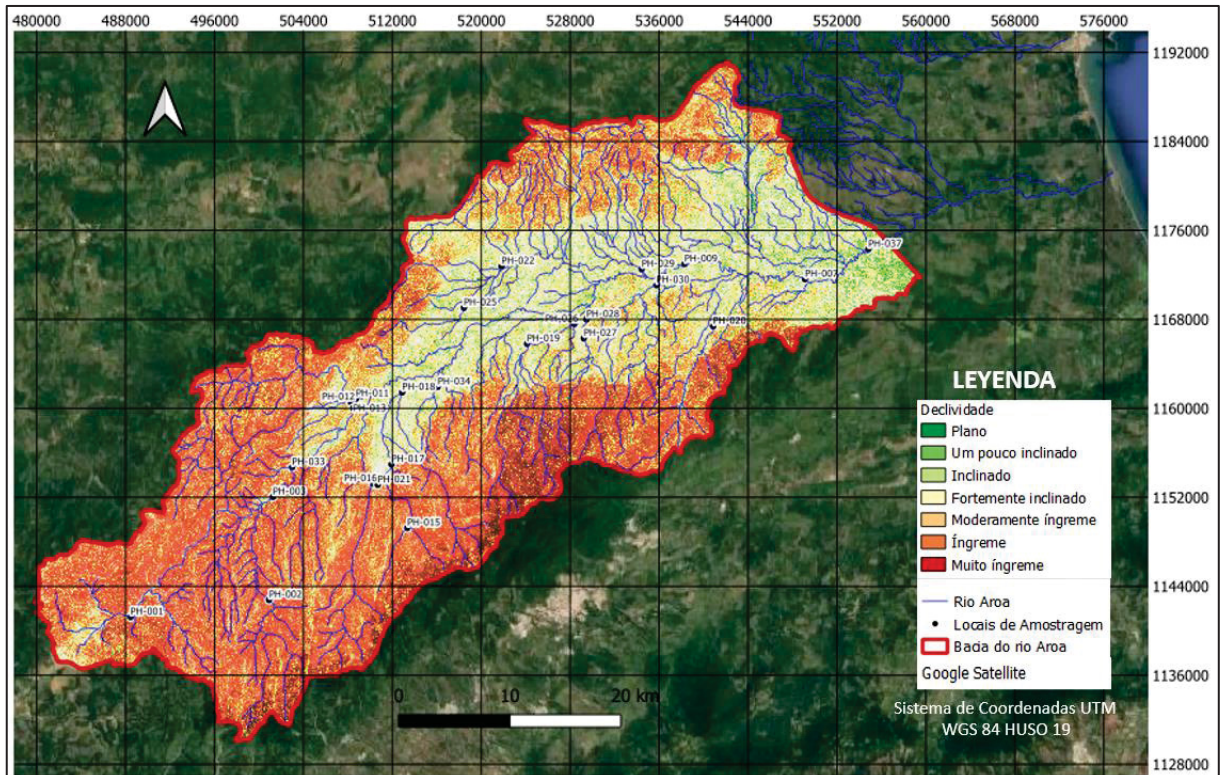
FIGURA 14 - HIPSOMETRIA DA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor

O vale do rio Aroa caracteriza-se por uma paisagem de leques aluviais e terraços aluviais escalonados sobre as planícies do rio Aroa. As inclinações gerais variam de 1 a 6%. O outro é formado por falhas grábens na zona axial de uma extensa dobra, hoje coberta por sedimentos quaternários. Apresenta-se na forma de um plano inclinado em direção ao rio Yaracuy, com declives médios de 2 a 6% (FIGURA 15).

FIGURA 15 - DECLIVIDADE DA BACIA DO RIO AROA

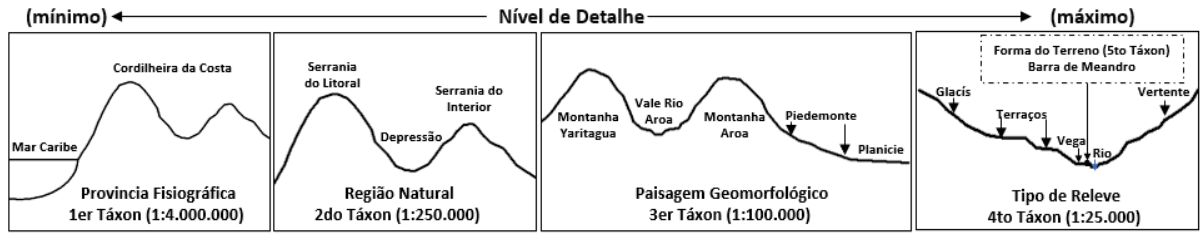


FONTE: Arquivo do autor

Segundo Zinck (2012), a divisão taxonômica corresponde-se com a Província Fisiográfica da Cordilheira da Costa do Caribe venezuelano como 1º táxon em escala pequena 1:4.000.000. A individualização das unidades morfoesculturais (2º táxon) identificado é a Região Natural da Serrania do Interior, cartas topográficas escala 1:250.000. Posteriormente, o 3º táxon é a paisagem geomorfológica reconhecido nas cartas 1:100.000, destacando as montanhas dos Maciços de Aroa, Yaritagua, Nirgua, o Pé de monte, o vale do rio Aroa e as planícies. Finalmente, o 4º táxon, identificado nas cartas topográficas a escala 1:25.000 se reconhecem os tipos de relevos, incluídos nesta categoria as formas de cristas, vertentes, colinas, glaciais, planície fluvial e planície costeira.

Em relação com os tipos de canais da metodologia de ROGSEN (1994), correspondem-se como 5º táxon da classificação geomorfológica proposta por ZINCK (2012), quem define o nível como forma do terreno (FIGURA 16).

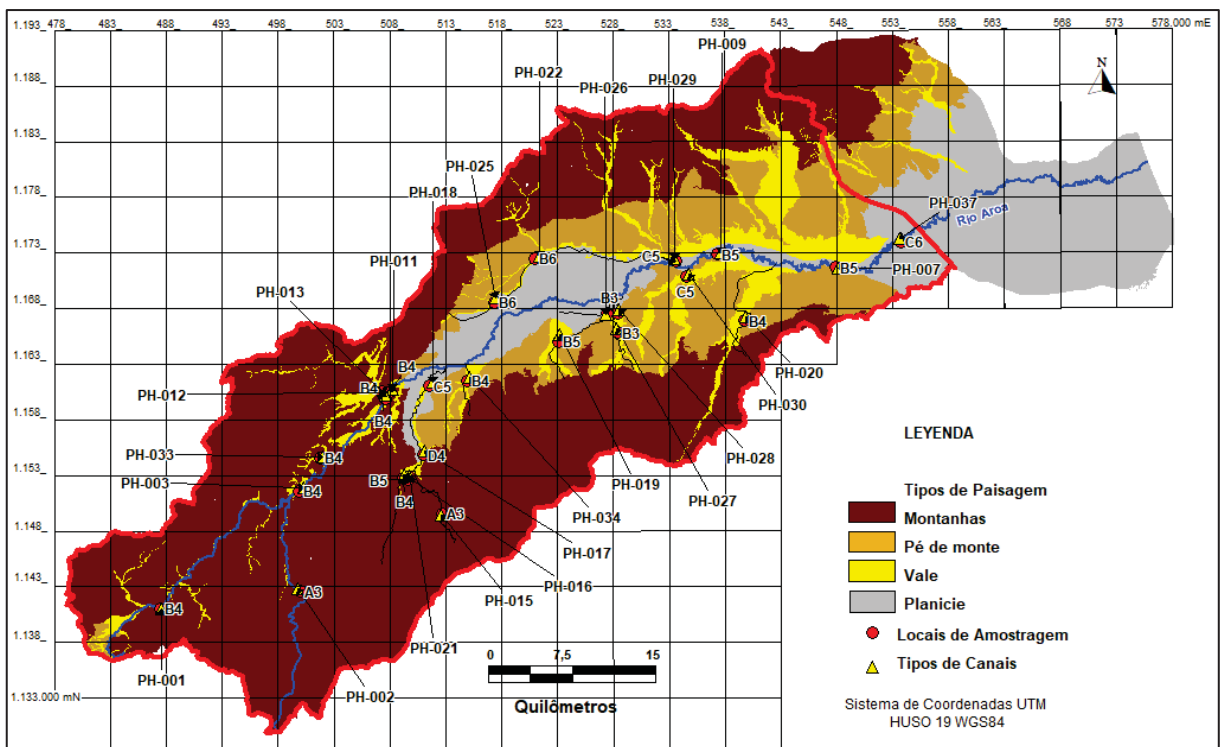
FIGURA 16 – TAXONOMIA DO RELEVO DA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Modificado de ZINCK (2012)

O nível taxonômico corresponde a Provincia Fisiográfica (ZINCK, 2012, p.64), inserida nesta macroforma estrutural, identificam-se as grandes unidades esculpidas, principalmente, pela ação climática ao longo do tempo. São elas: Montanhas da Serrania do Litoral Central, onde se diferenciam as montanhas de Yumare ao Norte e Aroa e Nirgua ao sul, ambas separadas pelo vale do rio Aroa, o qual forma uma planície ampla à medida que suas águas drenam ao mar (FIGURA 17).

FIGURA 17 - UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE PAISAGEM DA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor com base na classificação de Zinck (2012)

Esse quadro geológico e geomorfológico define o padrão de drenagem fundamentalmente dendrítico, que por sua vez, exerce grande influência na modelagem do relevo. No Rio Aroa distinguem-se, basicamente, dois grupos de cursos d'água: o principal dendrítico nas paisagens de montanha com alguns setores de drenagem linear controlado pelas estruturas geológicas que depois torna-se em

meandros à medida que a declividade topográfica da planície aluvial regula a geometria das formas fluviais.

Nestas regiões montanhosas o clima é tropical, chuvoso, quente, com florestas tropofíticas úmidas e sub-úmidas, caracterizado por duas estações com dois máximos anuais de precipitação bem diferenciados: um chuvoso (1.000-1.400 mm de precipitação anual) e outro de seca relativa entre fevereiro, março e abril. A temperatura varia entre 28° e 17° C. A oscilação média anual é inferior a 5° C e por isso é considerada isotérmico-tropical. A umidade relativa varia de um valor médio mínimo de 67% a 84%.

3.5 CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA BACIA DE AROA

Dos trabalhos locais na Venezuela que motivaram o desenvolvimento desta pesquisa, destacam-se o Padrón (2015), quem realizou o estudo da concentração de carbono total (CT), carbono orgânico (CO), carbono inorgânico (CI), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT) nos sedimentos de fundo do rio Aroa, a fim de estabelecer relações inter - elementares C/P e C/N e até determinar as possíveis fontes naturais e antropogênicas que essas espécies geoquímicas. Para isso, Padrón (2015) determinou a porcentagem de CT com um analisador LECO (modelo C-144).

Para o carbono orgânico (CO), ele tratou as amostras com ácido clorídrico para eliminar os carbonatos antes de serem introduzidos no equipamento e assim obter o inorgânico pela diferença entre o carbono total e o orgânico.

O nitrogênio total (NT) foi determinado pela conversão do nitrogênio em sulfato de amônio de acordo com a metodologia de Kjeldahl (1883), modificada por Jackson (2005). Finalmente, o fósforo total (TP) foi determinado por Padrón (2015) pelo método de Watanabe e Olsen (1965). Nos resultados obtidos por Padrón (2015), destacasse a concentração de carbono total (CT), carbono orgânico (CO), carbono inorgânico (CI), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT), cujos valores variaram de 0,53% a 4,49%; 0,21% - 1,68%; 0,12% -3,41%; 0,015% -1,53% e 3,32-10,48 ppm, respectivamente (TABELA 1). Em geral, as maiores concentrações dos parâmetros analisados foram obtidas em áreas próximas a centros povoados como Aroa, Yumare, Carabobo e El Hacha.

Nesse estudo particular, indica que as maiores concentrações de NT podem ser causadas pela contribuição de águas domésticas, agrícolas, animais (uso de

fertilizantes e pesticidas) e águas residuais industriais, o que distorce a dinâmica natural desse elemento no sistema fluvial. Enquanto, os maiores valores de CT foram refletidos nas cabeceiras do rio, que ele atribui às características litológicas das composições calcárias.

TABELA 1– CONCENTRAÇÃO DE MO, CT, CO, CI, NT em (%), PT (ppm) e STD (mg/l)

| Amostra | Norte | Este | pH | T C° | STD | MO | CT | CO | CI | NT | PT |
|---------|---------|--------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| PH-001 | 1141770 | 488446 | 8,47 | 24,7 | 264 | 1,66 | 2,8 | 0,97 | 1,84 | 0,027 | 3,92 |
| PH-002 | 1143402 | 500810 | 8,52 | 23,1 | 203 | 0,51 | 3,56 | 0,3 | 3,26 | 0,033 | 5,80 |
| PH-003 | 1152519 | 501441 | 8,24 | 26,4 | 242 | 0,92 | 3,94 | 0,53 | 3,41 | 0,023 | 3,91 |
| PH-007 | 1172079 | 549329 | 8,27 | 27,5 | 338 | 0,42 | 2,32 | 0,25 | 2,08 | 0,966 | 5,95 |
| PH-009 | 1173518 | 538825 | 7,86 | 25,7 | 386 | 0,73 | 2,67 | 0,42 | 2,24 | 0,062 | 5,85 |
| PH-011 | 1161268 | 509423 | 7,73 | 28,7 | 313 | 1,20 | 3,58 | 0,7 | 2,88 | 0,04 | 4,31 |
| PH-012 | 1160993 | 508590 | 7,78 | 28,7 | 405 | 0,43 | 2,03 | 0,25 | 1,78 | 0,23 | 6,99 |
| PH-013 | 1160804 | 508751 | 7,89 | 30,3 | 263 | 1,02 | 3,54 | 0,59 | 2,95 | 0,015 | 4,00 |
| PH-015 | 1150109 | 513760 | 7,90 | 24,4 | 185 | 0,64 | 1,91 | 0,37 | 1,53 | 0,025 | 10,48 |
| PH-016 | 1153688 | 510432 | 7,30 | 27,7 | 315 | 1,27 | 3,25 | 0,74 | 2,51 | 1,413 | 8,24 |
| PH-017 | 1155807 | 512234 | 7,75 | 30,6 | 291 | 1,47 | 3,42 | 0,86 | 2,56 | 1,128 | 7,03 |
| PH-018 | 1161954 | 512974 | 7,98 | 29,8 | 268 | 0,86 | 3,03 | 0,5 | 2,53 | 0,028 | 4,66 |
| PH-019 | 1166193 | 524290 | 8,00 | 27,8 | 165,5 | 0,74 | 0,91 | 0,43 | 0,48 | 0,04 | 5,60 |
| PH-020 | 1167799 | 541028 | 8,01 | 29,3 | 270 | 0,60 | 0,67 | 0,35 | 0,33 | 0,029 | 6,36 |
| PH-021 | 1153531 | 510852 | 7,84 | 28 | 307 | 1,00 | 1,73 | 0,58 | 1,15 | 0,892 | 2,00 |
| PH-022 | 1173219 | 522521 | 7,67 | 26,9 | 454 | 2,40 | 4,49 | 1,4 | 3,1 | 0,12 | 5,78 |
| PH-025 | 1169496 | 518617 | 7,30 | 26 | 167 | 0,35 | 3,36 | 0,21 | 3,16 | 0,019 | 4,08 |
| PH-026 | 1168033 | 528533 | 7,76 | 29,6 | 176,5 | 1,08 | 0,85 | 0,63 | 0,22 | 0,04 | 4,78 |
| PH -027 | 1166773 | 529360 | 8,17 | 28,7 | 148,6 | 1,05 | 0,53 | 0,61 | 0 | 0,799 | 2,00 |
| PH-028 | 1168458 | 529667 | 8,50 | 28,4 | 158,4 | 1,49 | 0,79 | 0,86 | 0 | 0,89 | 3,32 |
| PH-029 | 1173003 | 534608 | 7,57 | 27,5 | 460 | 1,58 | 2,84 | 0,92 | 1,92 | 0,402 | 4,36 |
| PH-030 | 1171532 | 535938 | 7,65 | 26,5 | 412 | 2,89 | 1,8 | 1,68 | 0,12 | 0,054 | 4,86 |
| PH-033 | 1155221 | 503159 | 8,20 | 26,6 | 260 | 0,62 | 3,63 | 0,36 | 3,26 | 0,054 | 4,86 |
| PH-034 | 1162391 | 516215 | 8,28 | 27 | 81,2 | 0,48 | 0,67 | 0,28 | 0,39 | 1,206 | 3,88 |
| PH-037 | 1174771 | 554794 | 8,15 | 29,1 | 357 | 0,37 | 2,25 | 0,21 | 2,04 | 1,537 | 5,45 |

FONTE: PADRÓN, 2015.

Posteriormente, Cuenca (2017) realizou o estudo geoquímico de metais pesados presentes na fração argila-silte dos sedimentos da bacia do rio Aroa, para conhecer a concentração de vanádio (V), cromo (Cr), manganésio (Mn), ferro (Fe) cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), a fim de avaliar sua distribuição e estabelecer relações inter - elementares e até determinar o

grau de contaminação que essas espécies fornecem a partir de parâmetros como o Fator de Enriquecimento (FE), o índice de geoacumulação (Igeo) e código de avaliação de risco (CER). Para isso, Cuenca (2017) realizou a extração química sequencial certificada do Gabinete de Referência da Comunidade Europeia (BCR). TABELA 2.

TABELA 2 – CONCENTRAÇÕES RESIDUAIS DE METAIS PESADOS (mg/Kg)

| Amostra | Norte | Este | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | Fe |
|---------|---------|--------|------|-----|------|-------|----|-----|-------|------|--------|
| PH-001 | 1141770 | 488446 | 14 | 7,5 | 34,6 | 83,8 | 49 | 78 | 24,8 | 7,1 | 25.348 |
| PH-002 | 1143402 | 500810 | 13 | 7,9 | 8,9 | 76,7 | 35 | 69 | 28,2 | 5,2 | 26.155 |
| PH-003 | 1152519 | 501441 | 11 | 6,5 | 9,3 | 72,8 | 30 | 80 | 24,3 | 6,3 | 22.759 |
| PH-012 | 1160993 | 508590 | 8 | 5,5 | 17,8 | 65,4 | 30 | 91 | 22,7 | 9,1 | 19.848 |
| PH-013 | 1160804 | 508751 | 9 | 6,9 | 10,6 | 114,9 | 31 | 72 | 24,4 | 7 | 23.992 |
| PH-015 | 1150109 | 513760 | 9 | 7,1 | 18,9 | 78,3 | 35 | 115 | 36,6 | 12,4 | 24.222 |
| PH-018 | 1161954 | 512974 | 10 | 7,2 | 10,8 | 79,9 | 29 | 88 | 46,3 | 6,6 | 24.813 |
| PH-020 | 1167799 | 541028 | -2,5 | 4,3 | 29,9 | 69,5 | 16 | 125 | 14,8 | 23,8 | 15.265 |
| PH-026 | 1168033 | 528533 | -2,5 | 5,9 | 18,5 | 49,6 | 19 | 101 | 25,99 | 14,3 | 21.344 |
| PH-028 | 1168458 | 529667 | -2,5 | 7,5 | 54,5 | 58,4 | 29 | 158 | 41,4 | 43 | 24.700 |
| PH-029 | 1173003 | 534608 | 3 | 5,9 | 25,7 | 114,9 | 29 | 110 | 28,3 | 19,8 | 21.590 |
| PH-030 | 1171532 | 535938 | -2,5 | 5,7 | 49,7 | 57,4 | 26 | 129 | 24,5 | 34,9 | 20.078 |
| PH-034 | 1162391 | 516215 | 4 | 5 | 10,1 | 52,6 | 20 | 74 | 19,2 | 9,1 | 18.624 |
| PH-037 | 1174771 | 554794 | 3 | 4,6 | 12,3 | 51,3 | 19 | 71 | 24,6 | 8,8 | 17.429 |

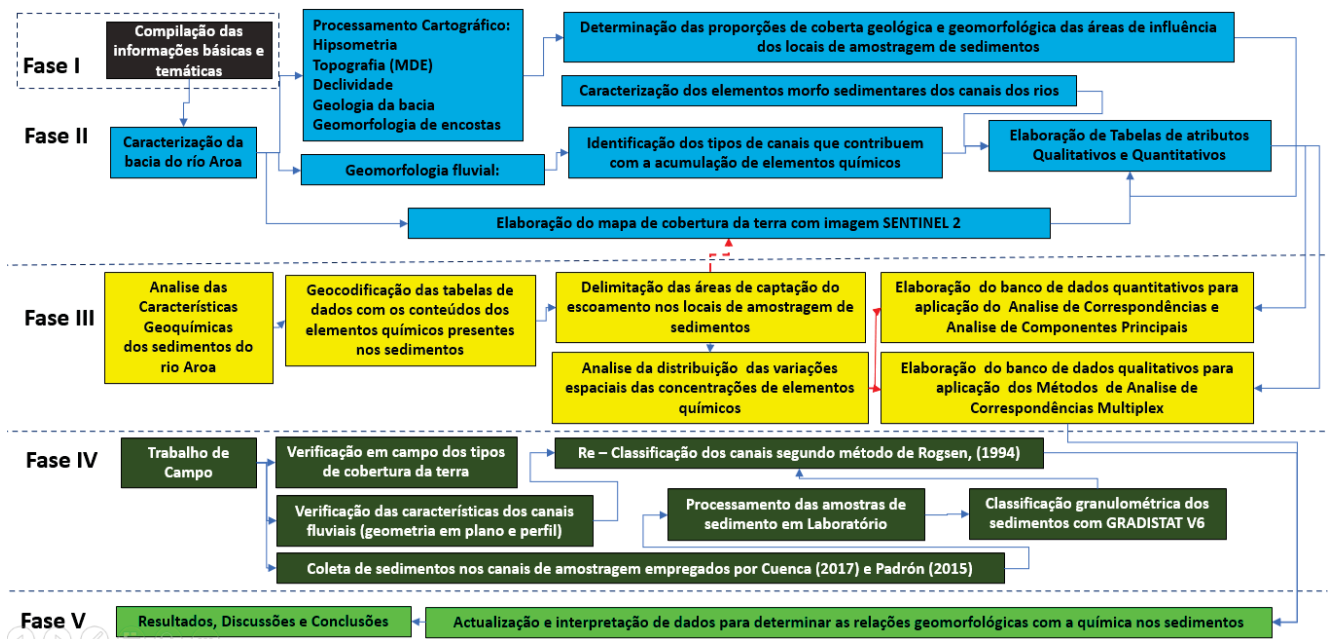
FONTE: CUENCA, 2017.

CAPITULO IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos da pesquisa, este trabalho fundamentou-se na combinação dos estudos e linha metodológica empregada em pesquisas geomorfológicas dos Estados Unidos (ROGSEN, 1994) e Japão (FUJIMOTO *et al.*,

2008, p. 2581–2594; FUJIMOTO *et al.*, 2011, p. 1874–1886), com apoio da cartografia temática, a qual está desenvolvida e embasada nas propostas de classificação taxonômica de unidades geomorfológicas de ZINCK (2011), de amplo uso na Venezuela e Colômbia, com o entendimento de que as formas de relevo têm relação de vizinhança que resulta das influências endogenéticas e exogenéticas, por isso, a interpretação da geofoma sintetiza os fatores e processos de seu desenvolvimento. A FIGURA 18, indica as etapas a seguir nesta investigação:

FIGURA 18 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA PESQUISA



FONTE: O autor (2022)

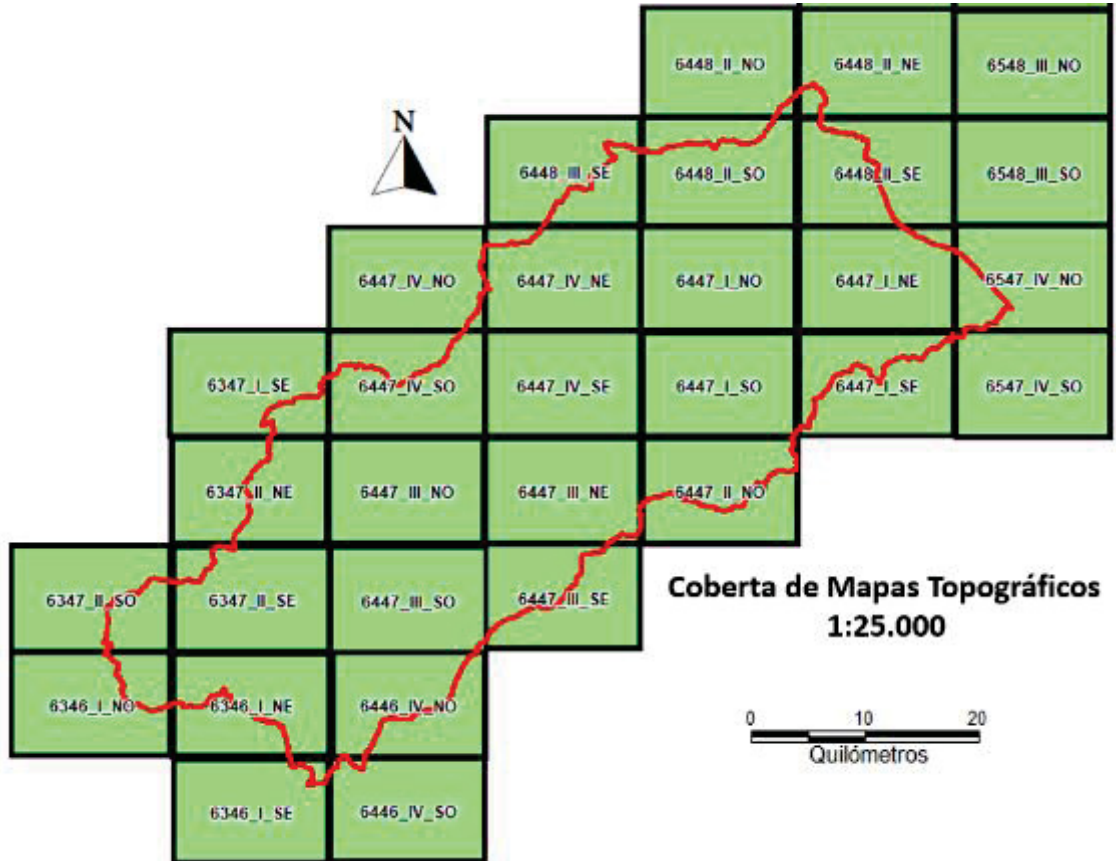
4.1 FASES DA PESQUISA

4.1.1 Fase I: Compilação das informações básicas e temáticas

Para realizar esta pesquisa, definida no primeiro momento da pandemia do COVID19 como um trabalho documental, foi necessário coletar informações dos dados secundários na literatura e cartografia básica e temática da área de estudo. Neste particular, os 28 mapas topográfico a escala 1:25.000 (FIGURA 19) do Instituto Geográfico da Venezuela Simón Bolívar (IGVSB, 1987), os mapas geológicos da evolução tectónica da Venezuela segundo Ostos, (1999), das formações litológicas da bacia de Aroa segundo Bellizzia *et al.* (1968, p. 4) e Audemard *et al.* (1992, p. 5),

Funvisis (2000), USGS (2000) e Funvisis (1993), assim como informações do uso da terra do Instituto Nacional de Terras (INTI, 2023)

FIGURA 19 - INDICE DE MAPAS TOGRAFICOS A ESCALA 1:25.000 EMPREGADOS



FONTE: Arquivo do autor

4.1.2 Fase II: Caracterização da bacia do rio Aroa

Essa etapa da investigação consiste na descrição dos aspectos físicos naturais que compõem o cenário onde ocorrem os processos ambientais e as relações de causa e efeito que surgem da hipótese da pesquisa. Para desenvolver o primeiro objetivo deste estudo, foram seguidos os seguintes passos:

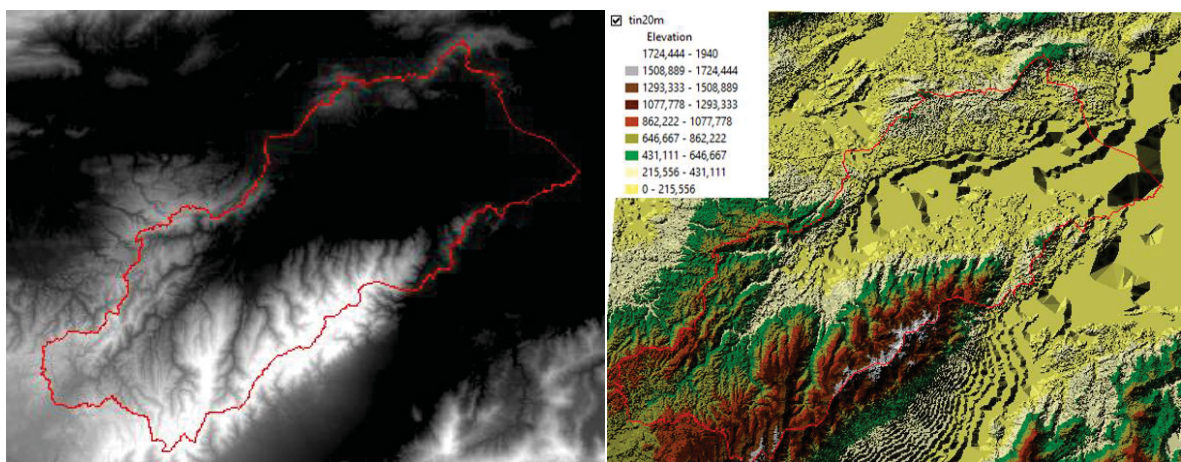
4.1.2.1 Processamento cartográfico:

- a) Com as informações de entrada cartográficas, os 28 mapas topográficos a escala de 1: 25.000 que cobrem a área de estudo, foram georreferenciados e vetorizados para gerar o mapa topográfico da área. Então, vetorizadas as curvas de nível com

o uso do software MapInfo 11 e suas ferramentas para a vetorização manual com o uso de um zoom de 1:500 para a visualização dos detalhes das curvas de nível com alturas a cada 20 metros assim como detalhar os rios. Posteriormente, procede-se a fazer a edição e carga de dado das cotas em cada uma das curvas de nível e obter o mapa topográfico da bacia hidrográfica do rio Aroa em formato TAB o qual foi transformado em formato SHAPE com a ferramenta *Universal Translator* que possui o MapInfo 11.

- b) Para elaborar o modelo digital de elevação (MDE), o mapa topográfico da bacia hidrográfica do rio Aroa foi empregado no software QGIS 3.16.11 (Hannover) para criar o MDE a partir das curvas de nível com o uso da ferramenta Interpolation TIN com o uso de interpolador linear a uma resolução de 20m por pixel (FIGURA 20).

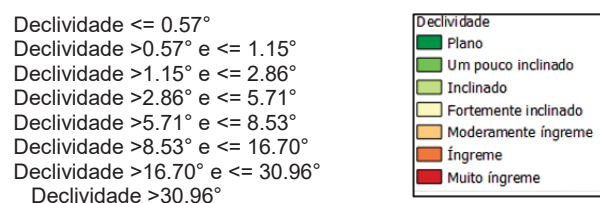
FIGURA 20 – MDE E IMAGEM TIN DA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor

- c) Uma vez feito o TIN, é construída a camada com o Modelo de Elevação Digital (MED) se procede-se na elaboração dos mapas de hipsometria e declividade da bacia do rio Aroa com o emprego da ferramenta *Calculadora do Raster* do software QGIS 3.16.11 assim foi calculada a declividade em graus e classificados os rangos em 8 categorias (FIGURA 21) segundo FAO (2009).

FIGURA 21 - CRITERIO DE DEFINIÇÃO DAS CATEGÓRIAS DE DECLIVIDADE



FONTE: Arquivo do autor

- d) A caracterização litológica foi elaborada com os estudos de Urbani *et al.* (2015, p. 60) a escala 1: 25.000, também com apoio dos trabalhos da Creole Petroleum Corporation (1962), Cartas do Grupo C6 a escala de 1: 50.000 e como referência geral o *Geologic Shaded Relief Map of Venezuela* (USGS, UCV e FUNVISIS, 2005), o mapa a escala 1:100.000 da Bellizia *et al.*, (1968, p.1) e o mapa 1:25.000 de Lozano *et al.*, (2007, p. 1). Todas as fontes de informações cartográficas foram vetorizadas e assim ter elaborado o mapa das formações litológicas da bacia do rio Aroa. Posteriormente, foram ajustadas as geometrias cartográficas das estruturas geológicas e os contatos litológicos que requerem, comparando o mapa geológico com o MDE e o modelo de sombra.
- e) Assim a expressão espacial das formações geológicas, agrupam-se posteriormente, de acordo com a afinidade físico-química das rochas dos afloramentos em cada sub-bacia hidrográfica, a fim de diferenciar a contribuição litológica na contribuição como aporte de metais pesados, nitrogênio e fósforo de origem geogênicos. A informação do conteúdo de rochas e composição mineral de cada formação geológica, foi obtida dos estudos de Urbani *et al.*, (2015, p. 65) e do Lexico Estratigráfico de Venezuela.
- f) O mapeamento geomorfológico da bacia do rio Aroa tem como referencial teórico conceitual a metodologia de levantamento geomorfológico para fins de descrição de solos de Zinck, (1980). Desde o ponto de vista operacional, e a os efeitos da cartografia e interpretação manual das feições, foi usada a metodologia para a caracterização da forma do terreno em sistemas geomorfológicos montanhosos FIGURA 22, proposta por JAIMES e ELIZALDE (1991).

De acordo com a proposta de Jaimes e Elizalde (1991), o processo de mapeamento e identificação dos tipos concavidades empregado nesta pesquisa destaca a combinação das características de concavidade, convexidade e linearidade tanto no perfil transversal como longitudinal, o que foi abordado manualmente pelo interpretação visual dos mapas topográficos e do MDE.

FIGURA 22 - TIPOS DE VERTENTES, ATRIBUTOS E SIMBOLOGIA PARA A CLASSIFICAÇÃO

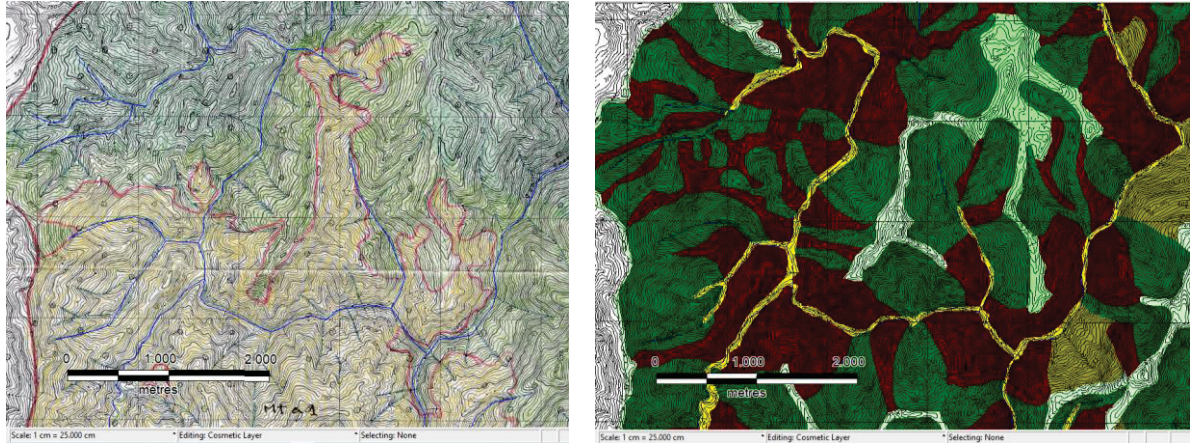
| | | Perfis Transversais das Vertentes | | | REFERÊNCIAS | | |
|------------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------|-------------|-------------|-------------------------------|-------|
| | | RECTILÍNEO | CÔNCAVO | CONVEXO | SÍMBOLOS | DENOMINAÇÃO | |
| Perfis Longitudinais das Vertentes | RECTILÍNEO | | | | | Escalas variáveis | |
| | | | | | | Linha de fluxo | |
| | | | | | | Fluxo vertical centripeto | |
| | CÔNCAVO | | | | | Fluxo vertical centrífugo | |
| | | | | | | Fluxo vertical homogêneo | |
| | | | | | | Fluxo superficial convergente | |
| | CONVEXO | | | | | Fluxo superficial divergente | |
| | | | | | | Fluxo superficial paralelo | |
| | | | | | | | |
| Fluxo | Superficial | Paralelo | (i) | Convergente | (ii) | Divergente | (iii) |
| | Vertical | Homogêneo | | Centripeto | | Centrífugo | |

FONTE: Modificado de (JAIMES; ELIZALDE, 1991)

Nesta etapa, as unidades geomorfológicas da bacia, cuja definição foi feita utilizando os critérios de: geometria, altura relativa, declividade e relação de vizinhança com o restante das geoformas, lembrando que a interpretação das unidades geomorfológicas da área de estudo foi realizada a partir da interpretação manual dos tipos de relevo segundo a geometria e delineamento que as curvas do nível dão às formas como diz Kohler (2001), que indica que a sucessão de curvas do nível representa, grosso modo, a feição do relevo, como a forma de um declive retilíneo, côncavo ou convexo. No processo de delimitação dos tipos de relevo de encostas, foram interpretados visual e manualmente os contornos das feições que as curvas de nível conformam e assim foi delimitada cada uma das formas do relevo presente na bacia do rio Aroa, um exemplo pode ser observado na FIGURA 23.

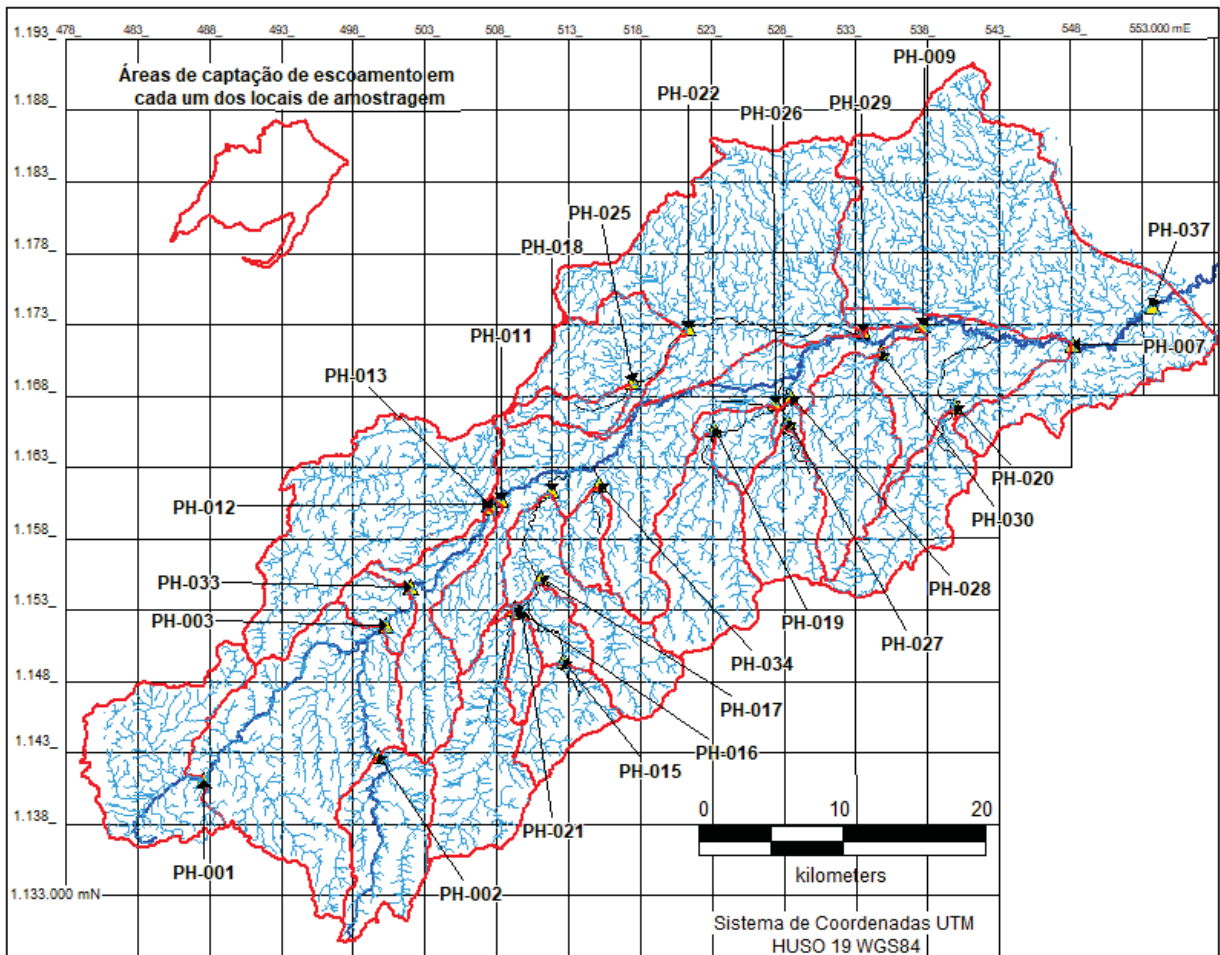
Posterior ao processo de identificação dos setores em vertentes côncavas, convexas ou lineares, com o mapa geomorfológico, foi determinada a proporção que cada forma do terreno cobre nas áreas de captação imediatas para cada um dos locais de amostragem de sedimentos, com o objetivo de reconhecer os tipos de geoformas predominantes e a sua relação com as concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do rio Aroa (FIGURA 24).

FIGURA 23 – EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO DE FORMAS DE RELEVO DE ENCOSTAS CÔNCAVAS EM COR VERDE E ENCOSTAS CONVEXAS EM MARROM



FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 24 – MICROBACIAS QUE ATUAM COMO ÁREAS DE CAPTAÇÃO DIRETA DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM



FONTE: Arquivo do autor

- g) Para descrever a geomorfologia fluvial dos locais onde Padrón (2015) e Cuenca (2017) realizaram amostragem de sedimentos do fundo do rio Aroa, foi realizada

uma caracterização geomorfológica fluvial em nível detalhado com recorridos em feito em campo para conhecer o tipo de canal fluvial, o que tem impacto nas concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo, de acordo com a metodologia proposta por Rosgen (1994). O processo aplicado sustenta-se num primer momento na determinação da sinuosidade das formas dos rios em plano com interpretação de imagem de satélites e calculando a relação entre a longitude dos canais dividida pela longitude de do segmento reto do mesmo canal do rio. Posteriormente em trabalho de campo foi determinado o perfil transversal dos rios nos canais onde foram coletadas as amostras de sedimentos para as determinações da granulometria nos primeiros 15 cm de profundidade no centro do canal. Já com o tipo de sinuosidade adição com as características de perfil transversal e a granulometria do material de fundo é classificado o tipo de canal segundo ROGSEN (1994).

- h) Subsequentemente, elaborou-se o mapa de cobertura a terra, o qual foi elaborado a partir da interpretação das imagens de satélite Sentinel -2A (T19PDM_20160811 e T19PEM_20160811) obtidas do serviço da United State Geological Survey (USGS) no portal <https://earthexplorer.usgs.gov/>, para o mesmo ano 2017 da coleta de amostras onde Cuenca, (2017) fez o estudo geoquímico de metais pesados, com o objetivo de preparar um mapa de cobertura da terra, na escala 1: 25.000, com a metodologia de interpretação supervisionada para definir as categorias de floresta, plantações mistas com pecuário extensiva, áreas urbanizadas e solo exposto.

Os agrupamentos de classes espectrais acima mencionados foram monitorados com dados de referência e trabalho de campo para confirmar e/ou descartar a identidade e o valor informativo das classes espectrais. Este processo de interpretação de imagens pode ir desde uma simples inspeção visual até à análise e tipificação das feições do terreno, com base no valor digital das formas espectrais, processo em que os Sistemas de Informação Geográfica são mais complexos e precisos que o olho humano, permitindo regiões radiometricamente semelhantes a serem detectadas. Os critérios e interpretação visual que ajudam a diferenciar os elementos de um espaço são descritos a seguir, segundo Chuvieco (2008):

- Cor: dependendo da banda atribuída a cada canal de visualização, serão visualizados os diferentes tipos de capas de uma cor ou de outra.
- Textura: vem da relação entre o tamanho dos objetos e a resolução do pixel. Geralmente é medido qualitativamente: fino, médio ou áspero.

- Padrão: refere-se ao arranjo espacial ou organização dos objetos dentro da imagem. Padrão é um aspecto geralmente repetido da forma de um objeto.
- Sombra: redução do sinal ou nível de iluminação da imagem atribuível à presença de determinados elementos. Provoca o escurecimento da imagem, o que implica perda de informação; ele também aprimora recursos e textura.
- Tom: refere-se à intensidade de energia recebida pelo sensor numa banda do espectro e está intimamente relacionada com o comportamento espectral das diferentes coberturas, para a banda específica do espectro em que trabalhamos.
- Contexto: combinação específica de elementos, características geográficas e configuração do entorno de um objeto que pode fornecer informações específicas para a interpretação da imagem. As distinções dadas pelo contexto só são perceptíveis na interpretação visual supervisionada.

Por fim, a vegetação foi analisada com base na paisagem geomorfológica onde está inserida, uma vez que a geomorfologia pode ser utilizada como uma ferramenta importante na análise da distribuição e abundância da vegetação, segundo Flores *et al.*, (2015, p. 3). Há. é uma relação direta entre o solo e a planta, pois a geologia e a geomorfologia permitem conhecer as características do solo e relevo; São fatores que influenciam a formação dos ecossistemas, principalmente das unidades vegetais.

A partir dos resultados obtidos na classificação supervisionada, foi estabelecida a legenda preliminar para o mapa de cobertura da terra segundo o mapa de vegetação da Venezuela de Hubber e Alarcón (1988), informações cartográficas do Ministério do Meio Ambiente, e o trabalho de campo.

- i) Em seguida, para conhecer a influência do substrato litológico, formas de relevo das encostas e cobertura da terra nas concentrações de carbono, fósforo, nitrogênio e metais pesados, descritas por Padrón (2015) e Cuenca (2017), foram quantificadas as áreas de captação do escoamento próxima aos locais de amostragem (FIGURA 24).
- j) Uma vez localizados os pontos de amostragem, delimitou-se a área imediata de captura do escoamento superficial, a fim de contabilizar a proporção da área de cada grupo litológico, bem como cada tipo de unidade geomorfológica predominante com incidência direta na captação do escoamento direito ao locais de amostragem de sedimentos, bem como formar a base de dados dos respectivos

parâmetros morfométricos de cada porção das microbacias de influência imediata ao local de amostragem.

É importante dizer que cada local de amostragem tem definida sua própria área de influência à montante da captação das amostras, é por isso que foram determinadas as áreas correspondentes segundo a tipologia de cada variável por categorias das formações geológicas, formas de relevo e cobertura da terra, nos três casos expressado em porcentagem, tudo com objetivo de integrar as variáveis ao modelo estatístico para determinação de correspondência entre o tipo de relevo, geologia e conteúdo de elementos químicos com análise multivariada.

Uma vez realizada a caracterização física natural da bacia, as variáveis que atuam como fatores determinantes e/ou condicionantes do processo de transporte e acúmulo de elementos químicos, foram classificadas e codificadas, seguindo a metodologia adaptada de PRADO e NOVO (2015) QUADRO 1.

QUADRO 1– DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS GERAIS DAS BACIAS, MAPAS E VARIÁVEIS.

| Mapas e dados | Variável | Descrição |
|-------------------------------------|--|--|
| Sentinel 2A imagens | Uso / cobertura da terra | O tipo e a porcentagem de uso da terra exercerão influência direta na qualidade do solo, processos de erosão, transporte de sedimentos, fontes de poluição pontuais e não pontuais. Esta variável oferece grande impacto na quantidade e qualidade da entrada de nutrientes nos recursos hídricos. |
| Mapa topográfico (1:25.000) | Densidade de drenagem da sub-bacia | Descreve o potencial da bacia para transferir a produção de poluição da bacia para o sistema fluvial. Quanto maior a densidade de drenagem, maior é o potencial de transferência. |
| | Distância da sub-bacia ao reservatório | Descreve o potencial de diluição ou deposição do insumo da bacia hidrográfica. Quanto maior a distância entre a bacia hidrográfica e o reservatório, menor é o potencial de poluição. |
| Mapa de geologia (1:25.000) | Geologia | O tipo e porcentagem de substrato litológico está relacionada à composição das rochas. Dependendo do tipo de rocha, diferentes elementos podem atingir os corpos d'água. A geologia também controla a infiltração de água e a contaminação do lençol freático. |
| Mapa de geomorfologia (1:25.000) | Geomorfologia | O tipo e a porcentagem dos tipos de relevo de encostas cujas características têm influência no escoamento e, conseqüentemente, no transporte de poluentes até os corpos de água. |

FONTE: Modificado de PRADO e NOVO (2015).

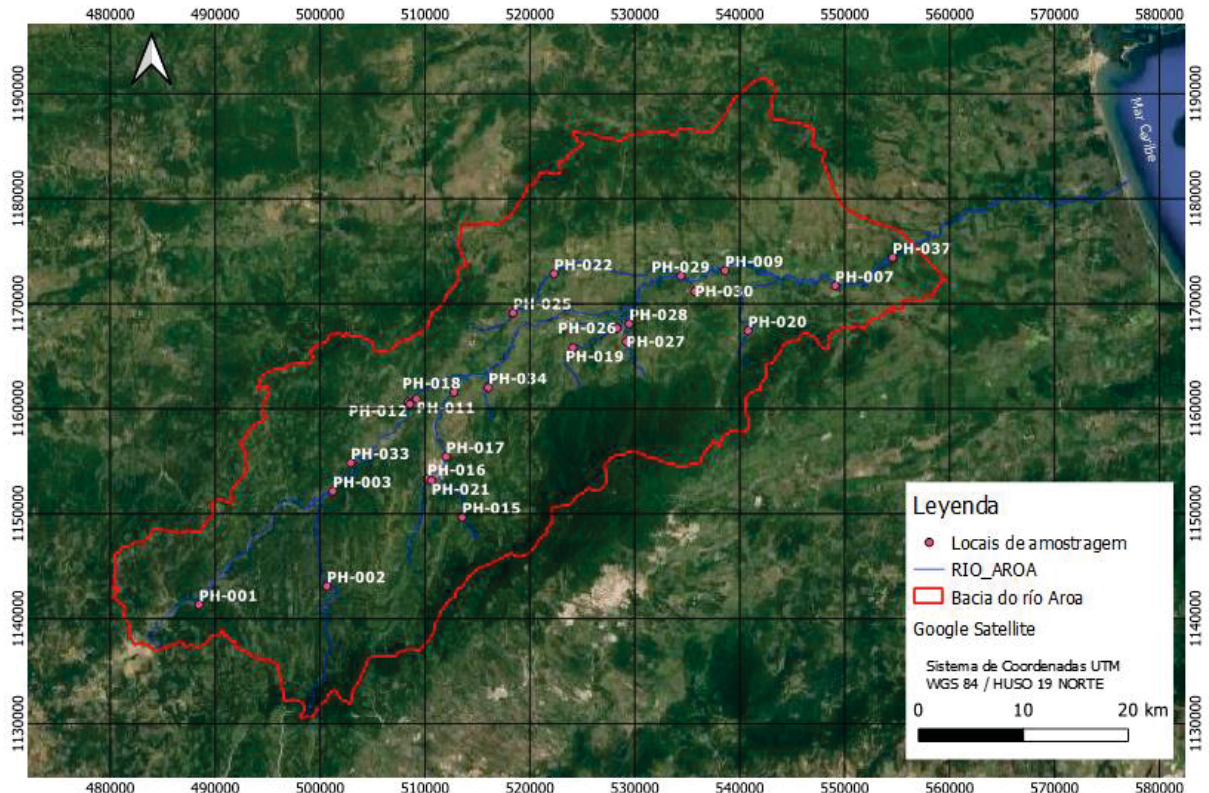
4.1.3 Fase III: Análise das características geoquímica dos sedimentos.

Com o apoio dos valores obtidos por Padron (2015) e Cuenca (2017), elaborou-se o análise das distribuições dos elementos químicos na bacia do rio Aroa e seu relacionamento com os grupos litológicos, formas de relevo e cobertura da terra, mediante a geolocalização e verificação dos locais de amostragem usados por eles, onde também foi feita a coleta de amostras de sedimentos para as determinações das características granulométricas e morfológicas dos canais fluviais na bacia do rio Aroa.

4.1.3.1 Geocodificação das tabelas de dados químicos nos sedimentos

No processo, procedeu-se à elaboração de tabelas e gráficos relacionais dos dados das concentrações de elementos químicos presentes nos sedimentos de fundo do rio Aroa com as variáveis geológicas, geomorfológicas e de cobertura da terra. Nesta fase, calculou-se os valores percentuais de cada tipo de categoria de cobertura da terra, tipo de relevo e do substrato litológico nas áreas de captação próximas aos locais de amostragem de sedimentos (FIGURA 25).

FIGURA 25 – DISTRIBUIÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS



FONTE: Arquivo do autor

4.1.3.2 Análise estatísticos multivariados

Assim, com os dados quantitativos dos conteúdos de metais pesados, fósforo e nitrogênio, e os porcentagens de predomínio de formas de relevo, litologia e declividade, foram elaborados os bancos de dados e organizados numa matriz para seu processamento estatístico com os métodos multivariáveis de Análise de Correspondências (AC) e Análise de Componentes Principais (ACP). Posteriormente, os atributos quantitativos foram convertidos em dados qualitativos para fazer Análise de Correspondências Multiplex (ACM), neste caso, todos os dados dos valores de metais pesados, fósforo, nitrogênio e as variáveis ambientais foram organizados em quatro categorias qualitativas iguais: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto, para construir uma matriz de dados categóricos que é empregada no software R Core Team (2021), para fazer o ACM.

4.1.3.3 Análise das relações entre as características ambientais e conteúdo de elementos químicos nos sedimentos

O passo seguinte, foi a análise das relações de cada uma das concentrações de elementos químicos com as características geológicas, geomorfológicas e de cobertura da terra. Os resultados são representados em gráficos onde observa-se as quantidades de elementos químicos residuais e o tipo de substrato de rochas predominantes, o tipo de canais que mais repete-se e os tipos de relevo com mais influência nas concentrações de elementos químicos.

Seguidamente foi feita a interpretação dos resultados estatísticos de correspondência inter elementares e sua distribuição espacial com a finalidade de visualizar e determinar as relações que as formas do relevo têm com a química contida nos sedimentos de fundo do rio Aroa. Além disso, foi analisado o papel da geologia como fator de controle do conteúdo e valores de fósforo, nitrogênio, carbono e metais pesados, tudo isto com a interpretação dos gráficos obtidos com o Software R (R CORE TEAM, 2021).

4.1.4 Fase IV: Trabalho de Campo

A quarta fase consistiu no levantamento e confirmação em campo das características de cobertura da terra, em campanha feita no período do mês de julho e agosto do ano 2022, assim como também foi feito o levantamento dos atributos geomorfológicos mediante observação visual direta assim como a partir da coleta de amostras de sedimentos dos leitos fluviais nos primeiros 15 cm de profundidade tomados no centro dos leitos de cada um dos canais e empacotados em recipientes herméticos de um quilograma de peso cada amostra para seu posterior processamento no laboratório. Esta etapa de campo permitiu identificar as características detalhadas dos canais de acordo com Rogsen (1994).

4.1.4.1 Processamento em laboratório das amostras de sedimento

Com o programa GRADISTAT V6 (BLOTT, 2008), que facilita o análise dos dados obtidos nas peneiras, para o qual foi preciso calcular a massa de sedimento retido em peneiras espaçadas em intervalos com os tamanhos de grãos. As seguintes estatísticas de amostra são então calculadas usando o Método dos Momentos na linguagem de programação Microsoft Visual Basic: média, moda(s), classificação (desvio padrão), assimetria, curtose, D10, D50, D90, D90/D10, D90-D10, D75/D25 e D75-D25. Os parâmetros de tamanho de grão são calculados aritmeticamente e geometricamente (em microns) e logaritmicamente (usando a escala phi), (KRUMBEIN e PETTIJOHN, 1938). A massa retida nas peneiras foram organizadas uma tabela que fornece a porcentagem de grãos que caem em cada fração de tamanho, segundo a metodologia modificada de WENTWORTH (1922).

A interpolação linear também é usada para calcular parâmetros estatísticos pelo método gráfico de Folk e Ward (1957). Assim, é derivadas as descrições físicas (como “areia muito grossa” e “moderadamente classificada”). O programa também fornece uma descrição física do grupo textural ao qual a amostra pertence e o nome do sedimento (como “areia fina e cascalhosa”) após FOLK (1954).

Finalmente, feito o processamento das amostras de sedimentos no laboratório e determinação das características sedimentares dos depósitos de fundo do rio Aroa, confirmou-se a tipologia dos canais fluviais do rio com a respectiva composição granulométrica dos sedimentos de fundo dos canais (TABELA 3), assim como da identificação das características topográficas dos rios, tanto em perfil como em planta. O trabalho de campo permitiu ajustar, validar e corrigir a classificação dos canais

previamente efetuada, mediante o uso e interpretação das imagens do satélite Sentinel 2B, conforme se indica na FIGURA 26.

TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO NOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM NA BACIA DO RIO

| Amostras | VCG_CG | MG | FG_VFG | CS | MS | FS_VFS |
|----------|--------|-------|--------|------|------|--------|
| PH-001 | 30,80 | 11,40 | 16,30 | 16,7 | 12,8 | 6,1 |
| PH-002 | 48,70 | 9,30 | 11,90 | 11,4 | 10,8 | 7,9 |
| PH-003 | 39,50 | 12,40 | 14,80 | 18,1 | 10,2 | 5,0 |
| PH-007 | 21,90 | 10,00 | 9,30 | 26,6 | 16,9 | 15,3 |
| PH-009 | 17,60 | 9,50 | 8,60 | 24,6 | 16,4 | 23,3 |
| PH-011 | 40,60 | 9,40 | 17,60 | 13,0 | 8,9 | 10,5 |
| PH-012 | 36,80 | 5,50 | 16,20 | 16,7 | 12,6 | 12,2 |
| PH-013 | 39,50 | 18,20 | 15,90 | 16,7 | 8,0 | 1,7 |
| PH-015 | 53,32 | 9,36 | 13,04 | 14,3 | 5,2 | 4,8 |
| PH-016 | 48,28 | 9,48 | 9,26 | 1,3 | 2,6 | 29,1 |
| PH-017 | 58,80 | 5,46 | 12,16 | 5,3 | 5,6 | 12,7 |
| PH-018 | 14,98 | 19,92 | 43,42 | 16,8 | 3,3 | 1,6 |
| PH-019 | 0,00 | 0,00 | 31,53 | 37,4 | 23,9 | 7,1 |
| PH-020 | 0,00 | 11,44 | 58,01 | 26,8 | 2,5 | 1,3 |
| PH-021 | 0,00 | 0,00 | 35,70 | 35,4 | 21,5 | 7,4 |
| PH-022 | 0,00 | 0,00 | 10,10 | 12,6 | 11,4 | 65,9 |
| PH-025 | 0,00 | 0,00 | 17,70 | 14,6 | 12,9 | 54,8 |
| PH-026 | 41,60 | 12,20 | 12,00 | 15,8 | 11,6 | 6,8 |
| PH-027 | 37,70 | 11,40 | 15,80 | 14,0 | 12,4 | 8,7 |
| PH-028 | 36,40 | 11,20 | 14,20 | 16,2 | 11,2 | 10,8 |
| PH-029 | 15,80 | 9,40 | 8,70 | 26,4 | 15,6 | 24,1 |
| PH-030 | 0,00 | 0,00 | 11,75 | 13,6 | 10,1 | 64,5 |
| PH-033 | 34,70 | 14,20 | 18,40 | 14,8 | 10,3 | 7,6 |
| PH-034 | 35,10 | 11,70 | 14,20 | 10,5 | 16,3 | 12,2 |
| PH-037 | 0,00 | 0,00 | 18,70 | 14,2 | 12,8 | 54,3 |

VCG CG:Seixo Muito Grosso a Seixo Grosso; **MG:** Seixo Médio; **FG VFG:** Seixo Fino a Areia Muito Grossa; **CS:**Areia Grossa; **MS:** Areia Media; **FS VFS:** Areia Fina a Areia Muito Fina

FONTE: Arquivo do autor

A quinta fase consistiu na correção dos dados, construção de gráficos e interpretação dos resultados estatísticos das correspondências inter elementares, sua distribuição espacial e as relações que os atributos geomorfológicos têm com a concentração de elementos químicos nos sedimentos de fundo do rio Aroa.

CAPÍTULO V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do trabalho se apresentam seguindo o papel da cobertura da terra como fator de aporte de elementos químicos retidos nos sedimentos de fundo do rio Aroa e como, neste caso as concentrações de nitrogênio, fósforo e metais pesados não tem uma correlação direta com as categorias de cobertura da terra. No segundo lugar se têm que a importância do substrato litológico como variável responsável das concentrações de metais pesados e dos conteúdos de fósforo e nitrogênio total. Assim, em terceiro se apresenta como as formas dos canais do rio Aroa têm influência como armadilhas de elementos químicos.

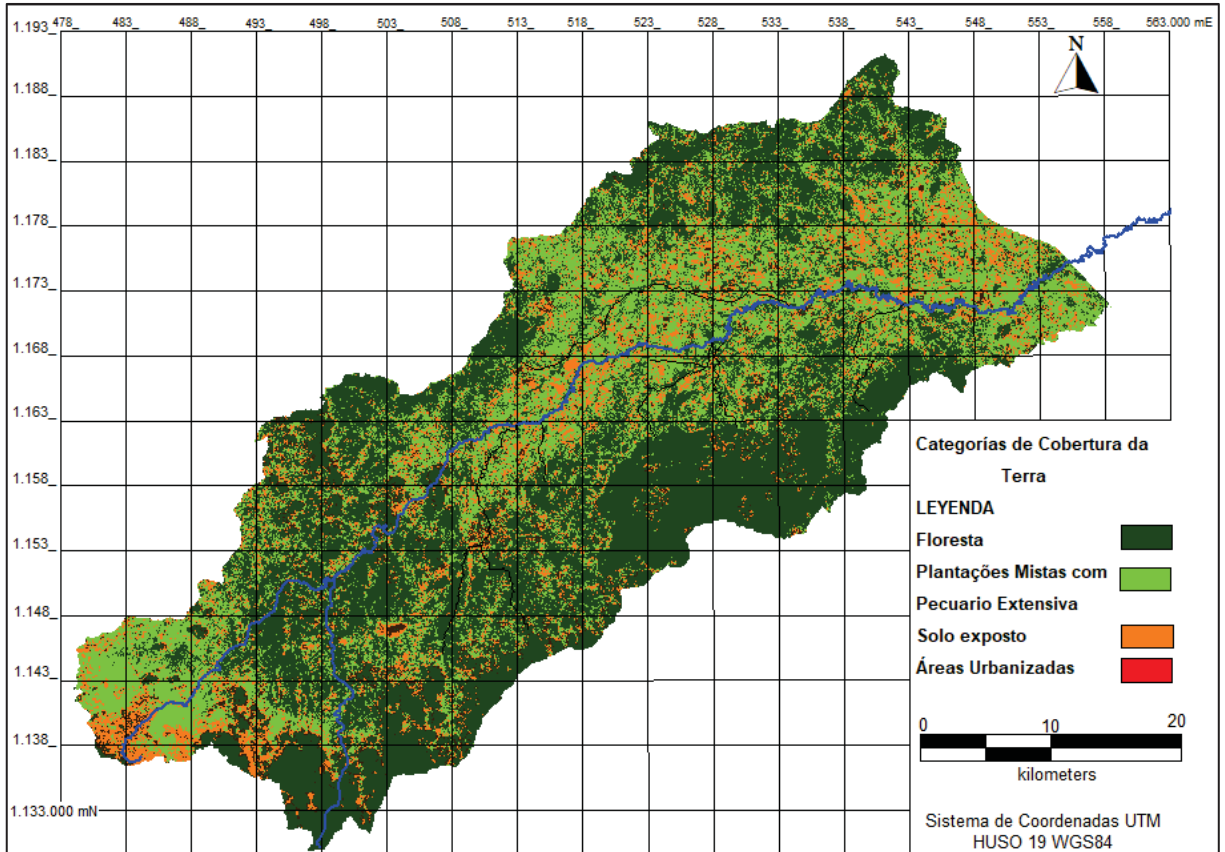
5.1 COBERTURA DA TERRA

Existem diferentes formações vegetais que resultam da interação das variáveis ambientais do tropico da fachada do Caribe onde localiza-se a bacia do rio Aroa. No vale do rio homônimo, predominam florestas primárias perenes. Nos maciços ígneo-metamórficos predominam florestas e no próprio vale e planície a cobertura mais comum é de plantações mistas com pecuario extensiva (FOTOS 1 e 2) e solos expostos. Da mesma forma, são encontradas florestas primárias perenes de montanha, mas parte da superfície é de pastagens (FIGURA 25).

Ressalta-se que o predomínio da cobertura vegetal natural não concorda com as afirmações de Padrón (2015), a respeito da relação da cobertura da terra em plantações mistas com pecuario extensiva com as concentrações de fósforo e nitrogênio nos sedimentos do rio Aroa, o que sugere que as quantidades de fósforo e nitrogênio total determinados por Padrón (2015) têm mais relação com a natureza das rochas sedimentarias do calcareo de origem marinho profundo e que têm ampla distribuição nas áreas de captação dos locais de amostragem de sedimentos

À data de elaboração deste estudo a cobertura da terra foi feito para o 2017, mesmo ano da pesquisa de Cuenca (2017), sendo assim que a incidência da cobertura da terra não têm influência palpável com os resultados das concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do rio Aroa. Por exemplo, a maior predomínio de plantações mistas com pecuario extensiva a concentrações de nitrogênio e fósforo não mostram valores superiores aos observados nas áreas com predomínio de floresta (FOTOS 3 e 4).

FIGURA 26 – COBERTURA DA TERRA NA BACIO DO RIO AROA



FONTE: Classificação supervisionada de mosaico das Imagem Sentinel-2 (2017)



Foto 1. Vista geral do vale e planície do Aroa



Foto 2. Solo exposto e plantações com pecuario

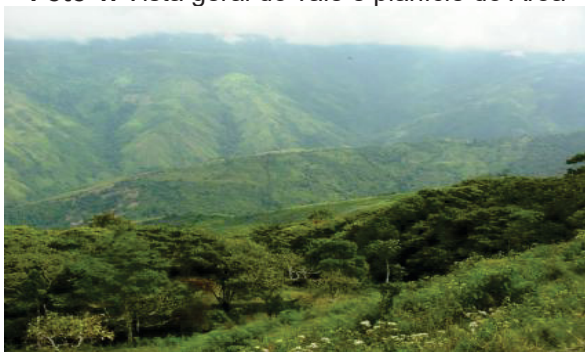


Foto 4. Vista geral da cobertura vegetal na área

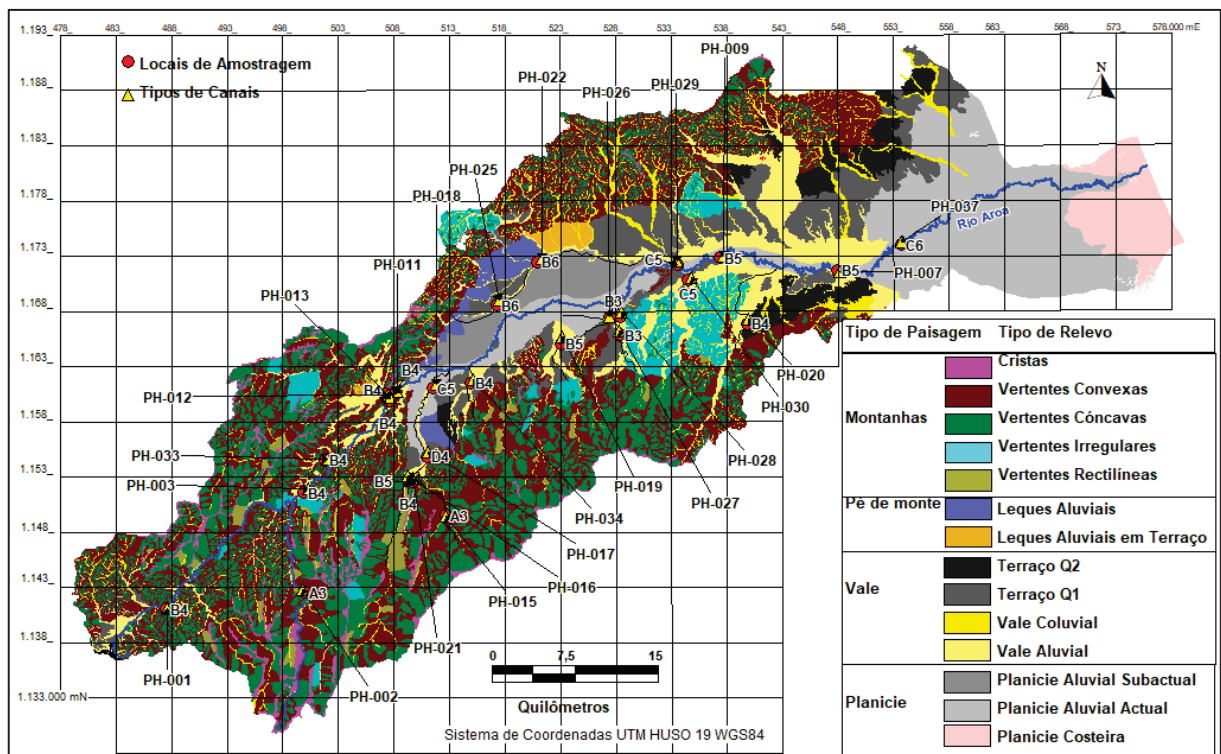


Foto 4. Amostra da cobertura de floresta em Aroa

5.2 TIPOS DE RELEVO

Posterior ao processo de identificação de unidades de relevo se tem que a bacia do rio Aroa se compõe de quatro tipos de paisagem geomorfológica do 3º táxon de classificação: montanha, pé de monte, vale e planície com suas respectivas formas de relevo correspondentes ao 4º táxon que de indicam na Figura 27.

FIGURA 27 – TIPOS DE RELEVO NA BACIA DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor com base na classificação de Zinck (2012)

Na paisagem de montanha da bacia se diferencia entre o setor sudeste na própria serra de Aroa que tem as maiores altitudes da região com até 1695 m. onde exibem o xisto de Aroa em toda sua extensão, em contraste com a serra de Yumare localizada ao noroeste da bacia onde as alturas são menores (400 m.) com predomínio de rochas do tipo sedimentar com uma pequena porção do grupo das vulcânicas da Zurda e do Complexo Yurame.

O Pé das montanhas apresenta paisagens transicionais correspondentes ao Pé de Monte com formas de relevo de morros suaves, leques aluviais e terraços que são cortados pela paisagem de vale que escorre e verte seus sedimentos para a paisagem da planície aluvial de Aroa.

Na diferenciação dos relevos de encostas das montanhas destaca-se o predomínio de vertentes côncavas seguido por o relevo de vertentes convexas (FOTO 5) com 30,5% e 24% da superfície total da bacia, respectivamente. O relevo de colinas (morros) e as encostas irregulares ou vertentes irregulares tem uma área equivalente de 11,6% e 9% do total da área da bacia, respectivamente. Neste sentido, um pouco mais do 75% da bacia corresponde ao relevo elevado e só o vale e a planície abrangem 11,5% e o Pé de monte o restante 13,5% da superfície total da bacia.

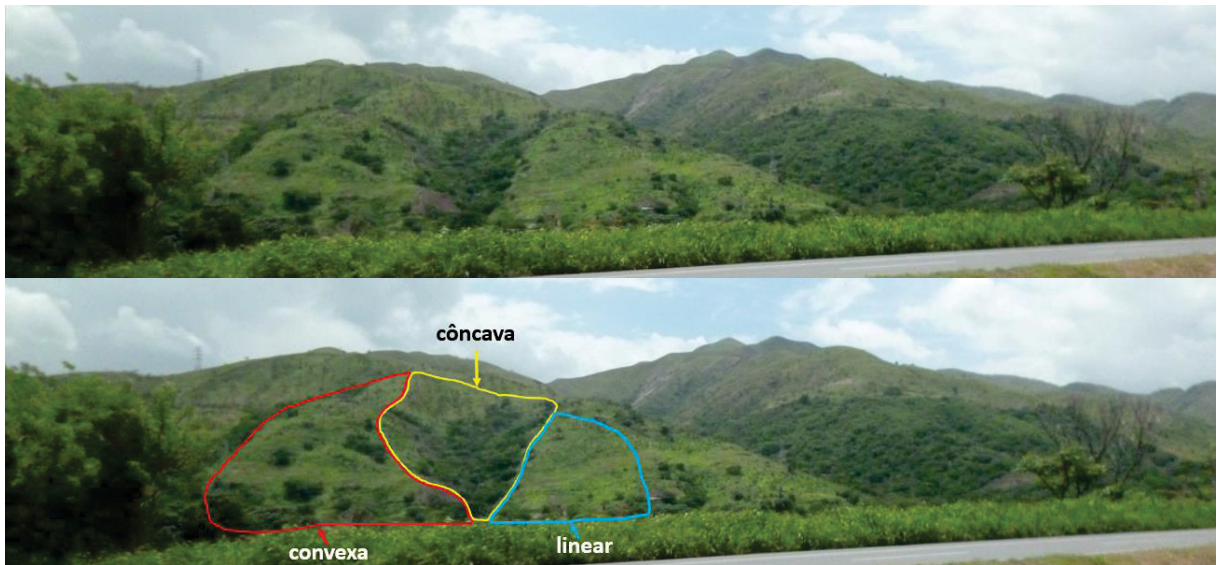


Foto 5. Exemplo das encostas côncavas, convexas e linear presentes na área de estudo

5.3 ATRIBUTOS MORFOSEDIMENTARES FLUVIAIS DA BACIA

A variação espacial da proporção da fração granulométrica dos sedimentos na bacia do rio Aroa tem um comportamento no qual observa-se a correspondência entre o tamanho das partículas e a proximidade dos locais de amostragem com a área fonte (FOTOS 6 e 7), isto é, que, a maior altitude e declividade do canal é maior a proporção de partículas grossas o que coincide com a tipologia de canal A e B.



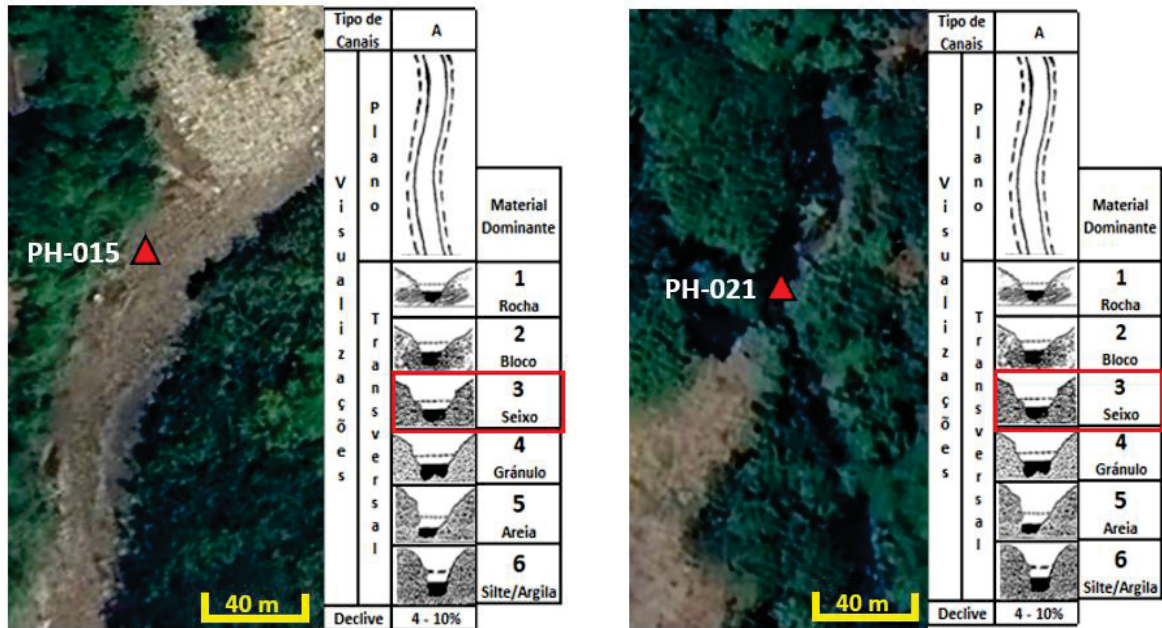
Foto 6. Rio Las Minas, sítio PH-015. Fundo blocos e cascalho grosso canal Tipo A3



Foto 7. Rio Carabobo, sítio PH-026. Fundo de areias medias a finas e siltosas canal Tipo B3

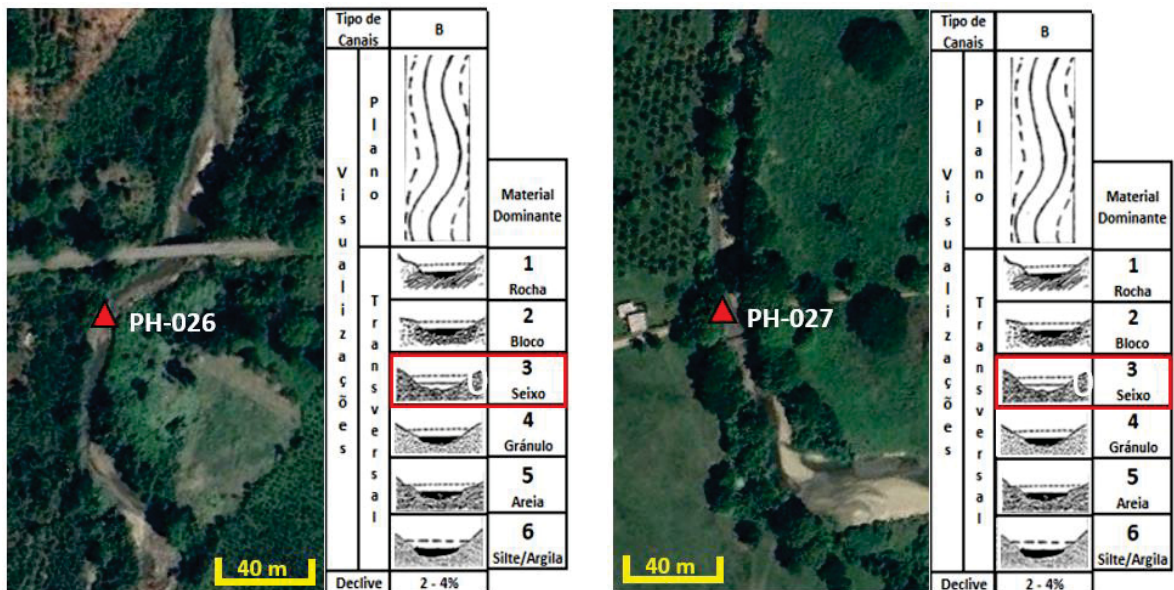
A representação em planta de cada um dos tipos de canais é indicada desde a Figura 28 até a Figura 40, que junto com as características granulométricas dos sedimentos de fundo e o reconhecimento em campo, permitiu a classificação dos locais de amostragem, segundo a proposta de Rogsen (1994), como resume-se na Figura 41.

FIGURA 28 – CANAIS DO TIPO A3 NOS LOCAIS PH-015 E PH-021



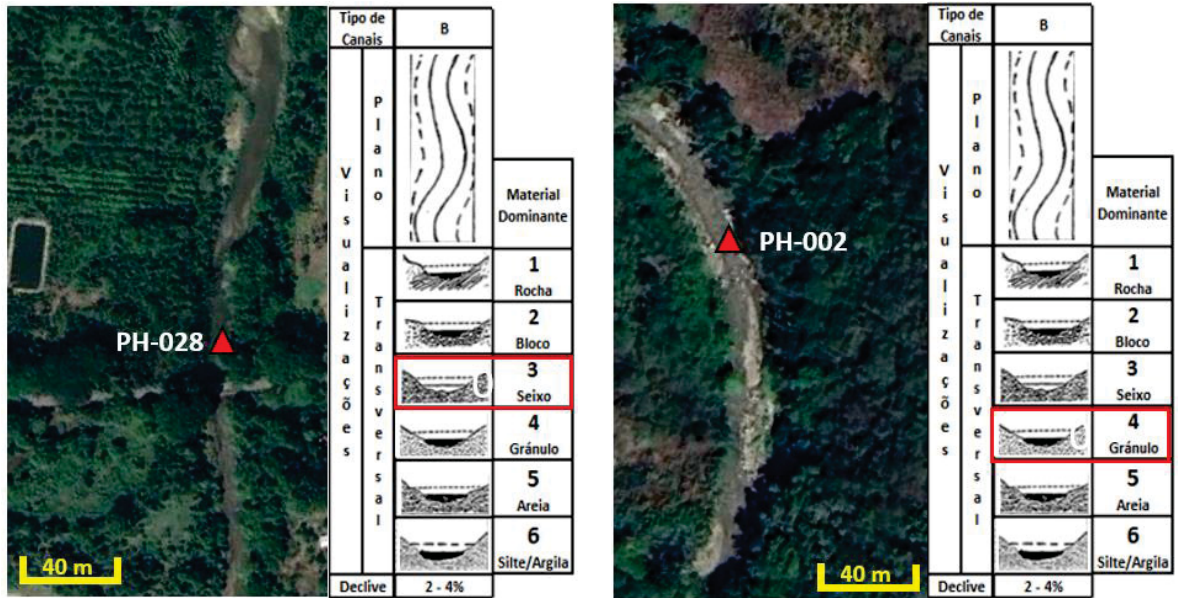
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 29 – CANAIS DO TIPO B3 NOS LOCAIS PH-026 E PH-027



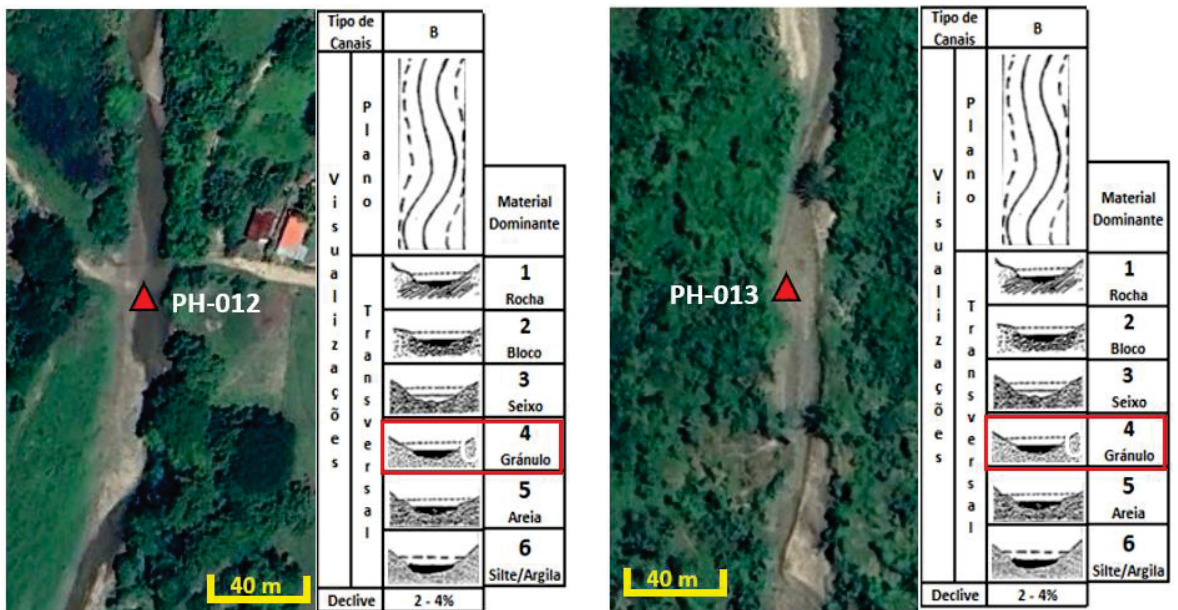
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 30 – CANAL TIPO B3 EM PH-028 E CANAL TIPO B4 EM PH-002



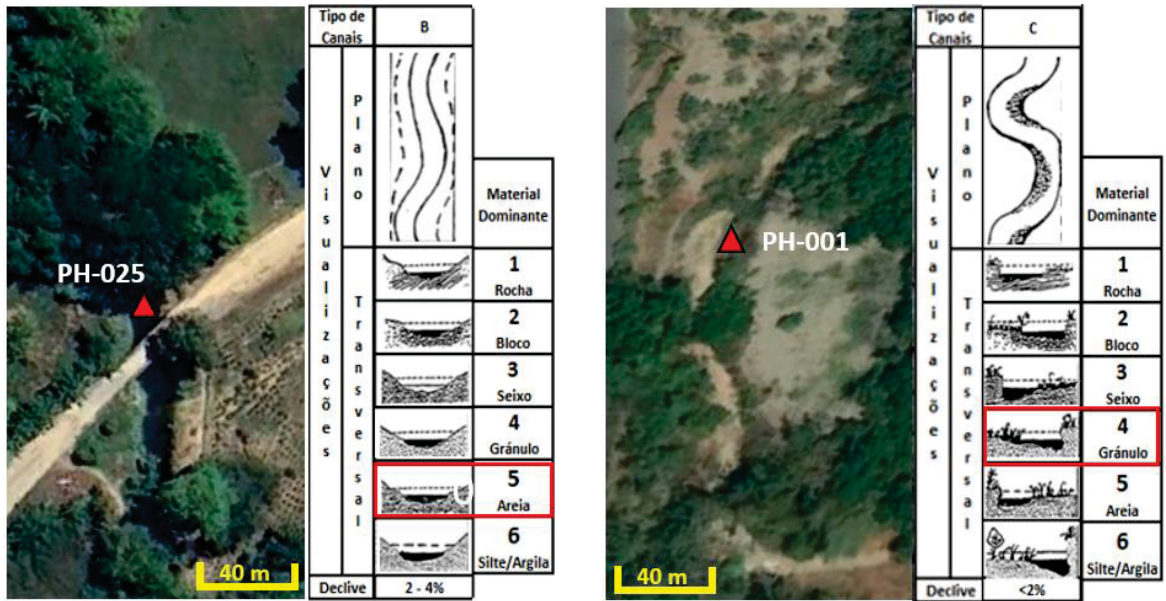
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 31 – CANAIS DO TIPO B4 NOS LOCAIS PH-012 E PH-013



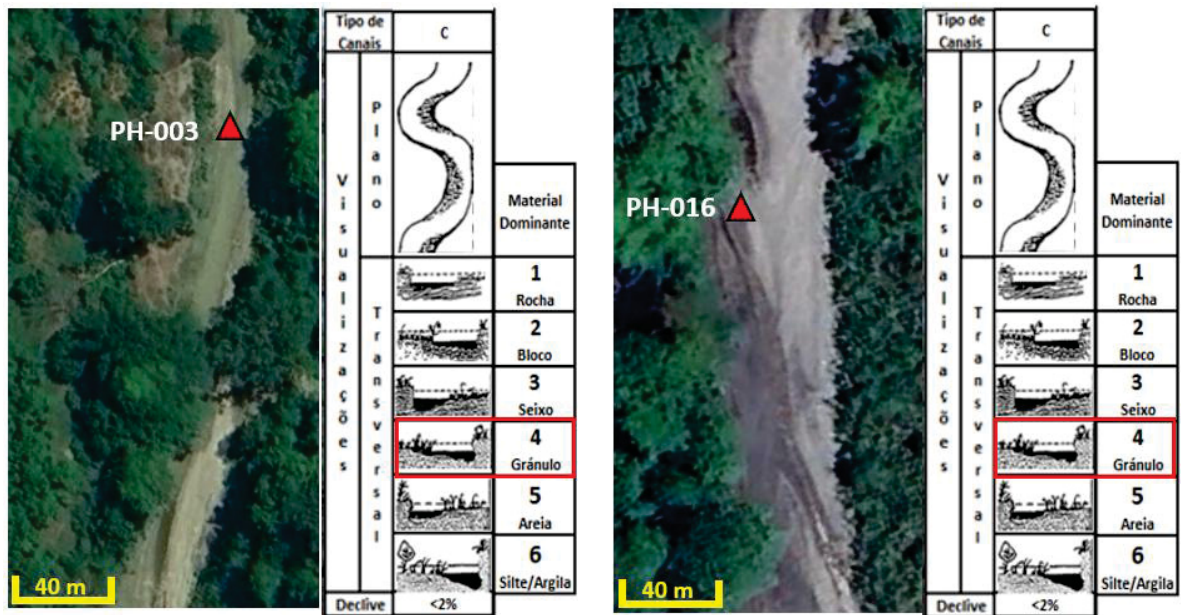
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 34 – CANAL DO TIPO B5 EM PH-025 E CANAL DO TIPO C4 EM PH-001



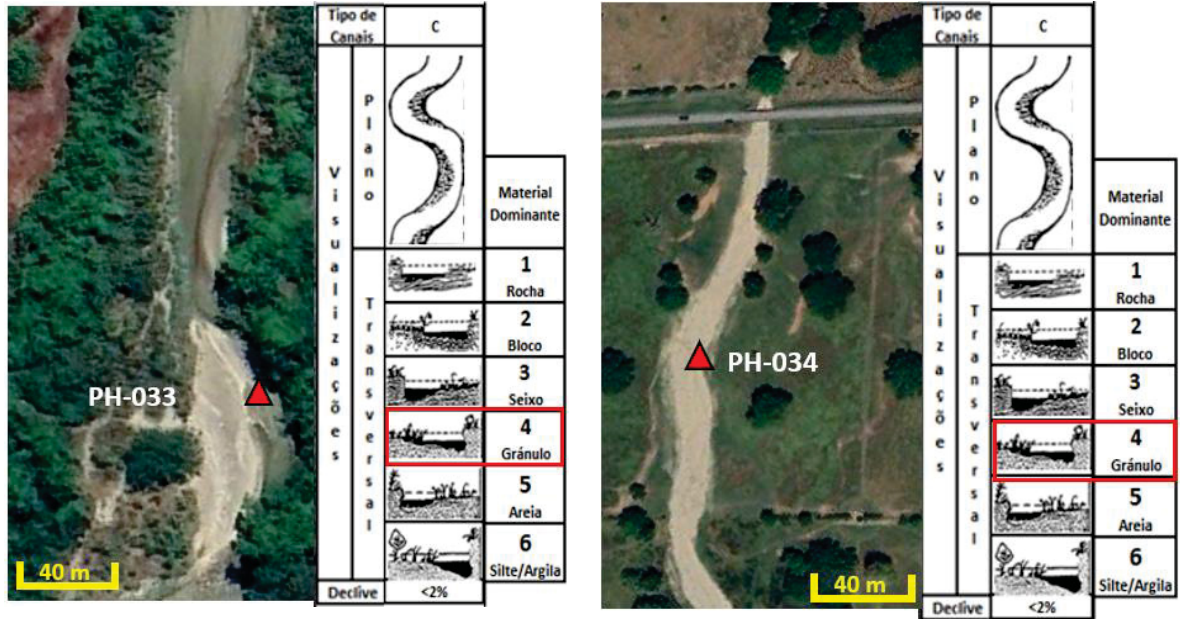
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 35 – CANAIS DO TIPO C4 NOS LOCAIS PH-003 E PH-016



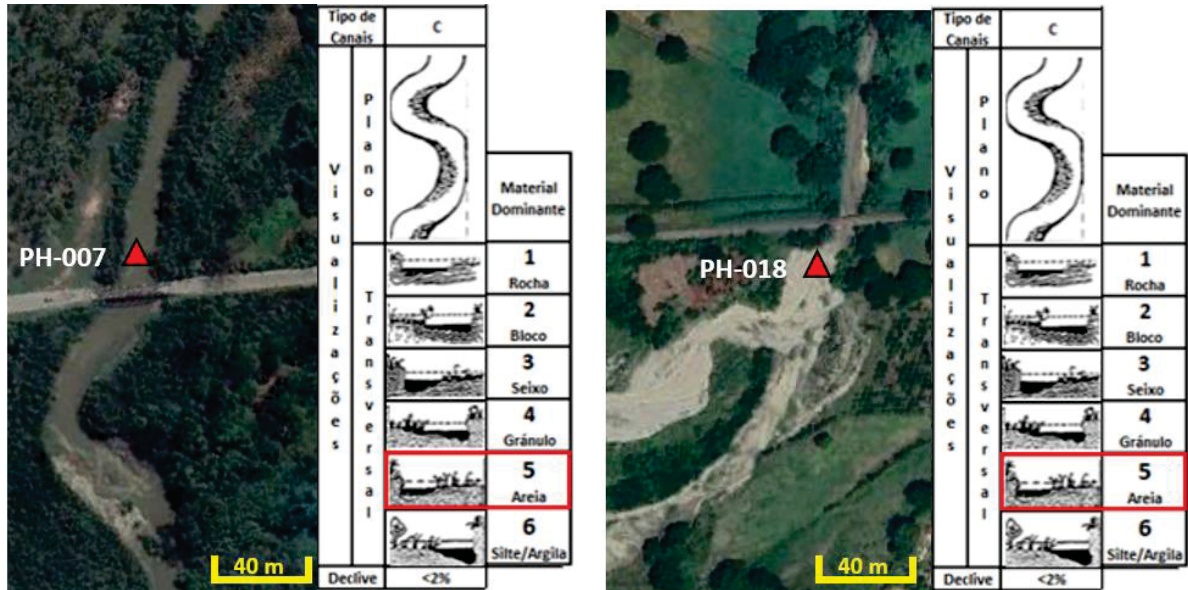
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 36 – CANAIS DO TIPO C4 NOS LOCAIS PH-033 E PH-034



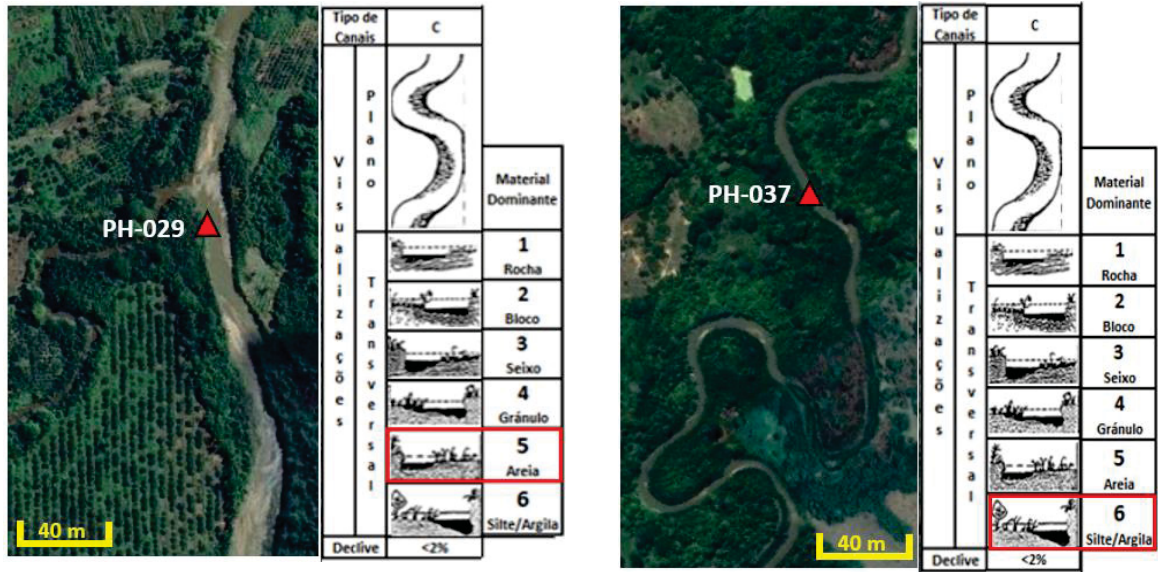
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 37 – CANAIS DO TIPO C5 NOS LOCAIS PH-007 E PH-018



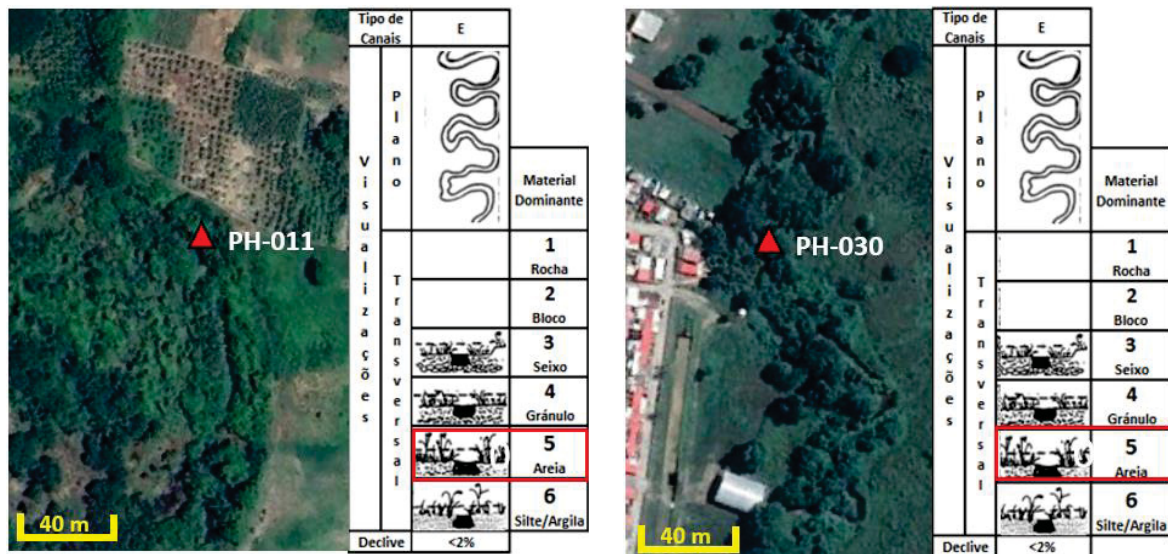
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 38 – CANAL DO TIPO C5 EM PH-029 E CANAL DO TIPO C6 EM PH-037



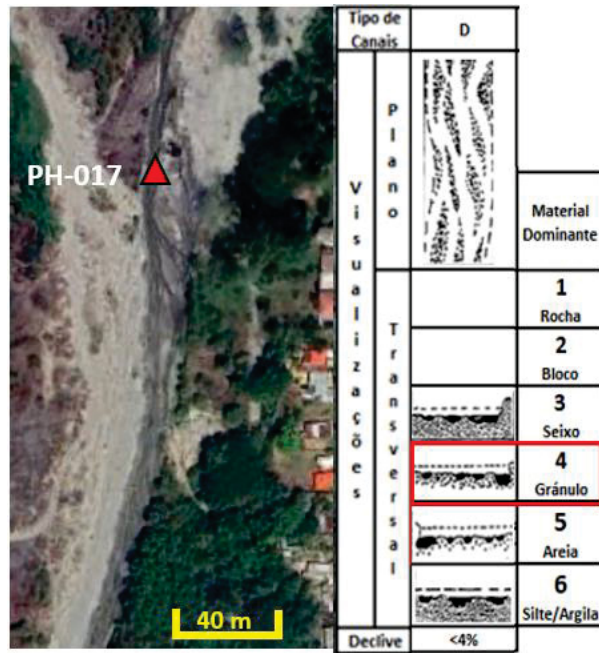
FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 39 – CANAIS DO TIPO E5 NOS LOCAIS PH-011 E PH-030



FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 40 – CANAIS DO TIPO D4 EM PH-017



FONTE: Arquivo do autor

FIGURA 41 – RESUMO DO GRUPO DE CANAIS NOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM SEGUNDO ROGSEN, 1994

| Amostras | Tipos de Canais | Tipo de Canais | A | B | C | D | E | Material Dominante | | | | | |
|----------|-----------------|---|---------|--------|-----|-----|-----|--------------------|--|--|--|--|--|
| PH-001 | C4 | V i s u a l i z a ç õ e s | | | | | | | | | | | |
| PH-002 | B4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-003 | C4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-007 | C5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-009 | B5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-011 | E5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-012 | B4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-013 | B4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-015 | A3 | | | | | | | | | | | | |
| PH-016 | C4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-017 | D4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-018 | C5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-019 | B4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-020 | B4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-021 | A3 | | | | | | | | | | | | |
| PH-022 | B5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-025 | B5 | 2 Bloco | | | | | | | | | | | |
| PH-026 | B3 | 3 Seixo | | | | | | | | | | | |
| PH-027 | B3 | 4 Grânulo | | | | | | | | | | | |
| PH-028 | B3 | 5 Areia | | | | | | | | | | | |
| PH-029 | C5 | 6 Silte/Argila | | | | | | | | | | | |
| PH-030 | E5 | | | | | | | | | | | | |
| PH-033 | C4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-034 | C4 | | | | | | | | | | | | |
| PH-037 | C6 | | | | | | | | | | | | |
| | | Declive | 4 - 10% | 2 - 4% | <2% | <4% | <2% | | | | | | |

FONTE: Modificado de Rogsen, 1994.

5.4 DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA BACIA DO RIO AROA

5.4.1 Metais pesados na bacia

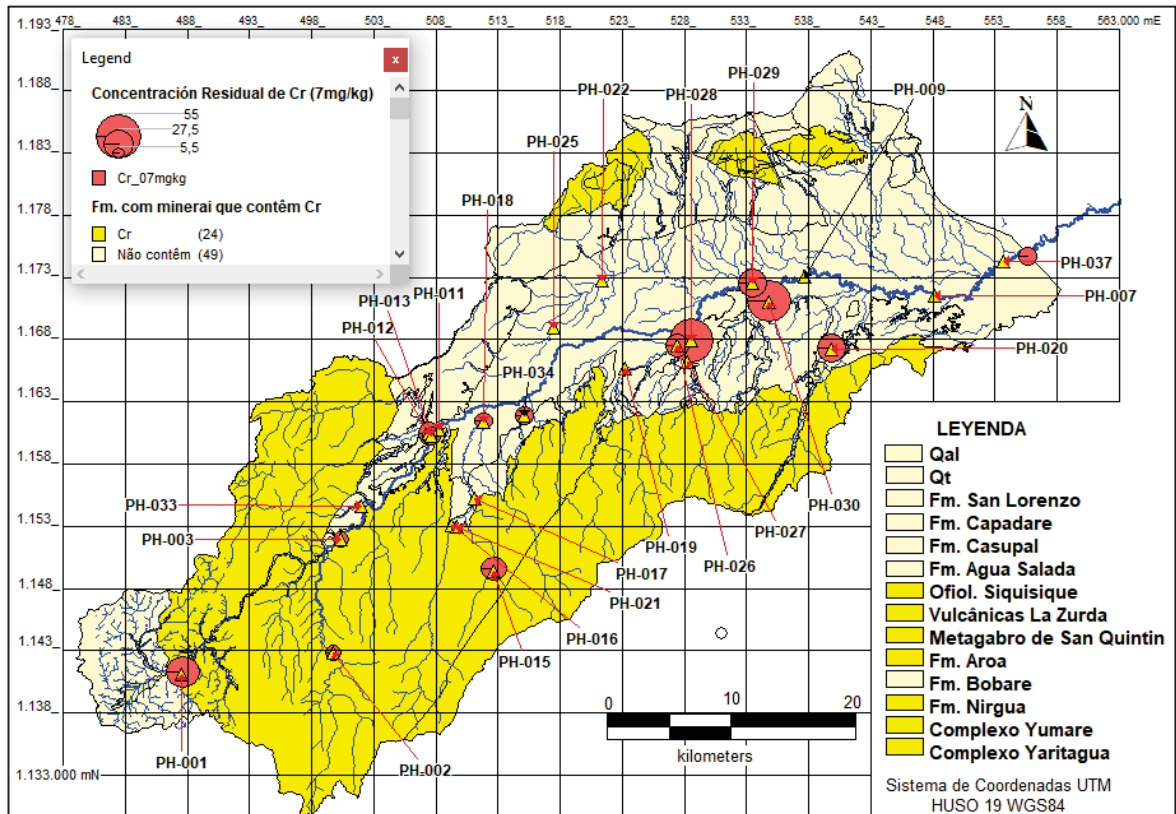
Neste estudo, a determinação da variação espacial das concentrações residuais de metais pesados assim como de nitrogênio, fósforo e carbono, foi feita qualitativamente ao comparar os conteúdos das concentrações de elementos químicos em todo o ambiente sedimentar da bacia do rio Aroa. De igual maneira, com as características granulométricas dos sedimentos de fundo, observa-se que os grãos de diâmetros maiores como blocos e cascalhos, perto das nascentes dos rios, coincidem com a presença de metais como o cromo, níquel e chumbo que provierem das litologias xistosa das formações de Aroa, Nirgua, Yaritagua e Yumare.

Nesta mesma ordem de ideias, nas características granulométricas dos sedimentos de fundo dos canais do rio, localizado na parte baixa do vale e na planície do rio Aroa, observa-se que os grãos mais abundantes de diâmetros menores (silte e argila), coincidem com a presença de metais como o vanádio, mas comum em texturas finas.

Na bacia destaca-se a formação de um núcleo com alta concentração de cromo, vanádio e manganésio e relação espacial entre esses três grupos de elementos químicos, ou seja, a abundância dos três é proporcional entre os locais PH-026, PH-028, PH-029, PH-030, onde a predominância os tipos de canal são B3, B4 e E5, Figuras 42, 43 e 44.

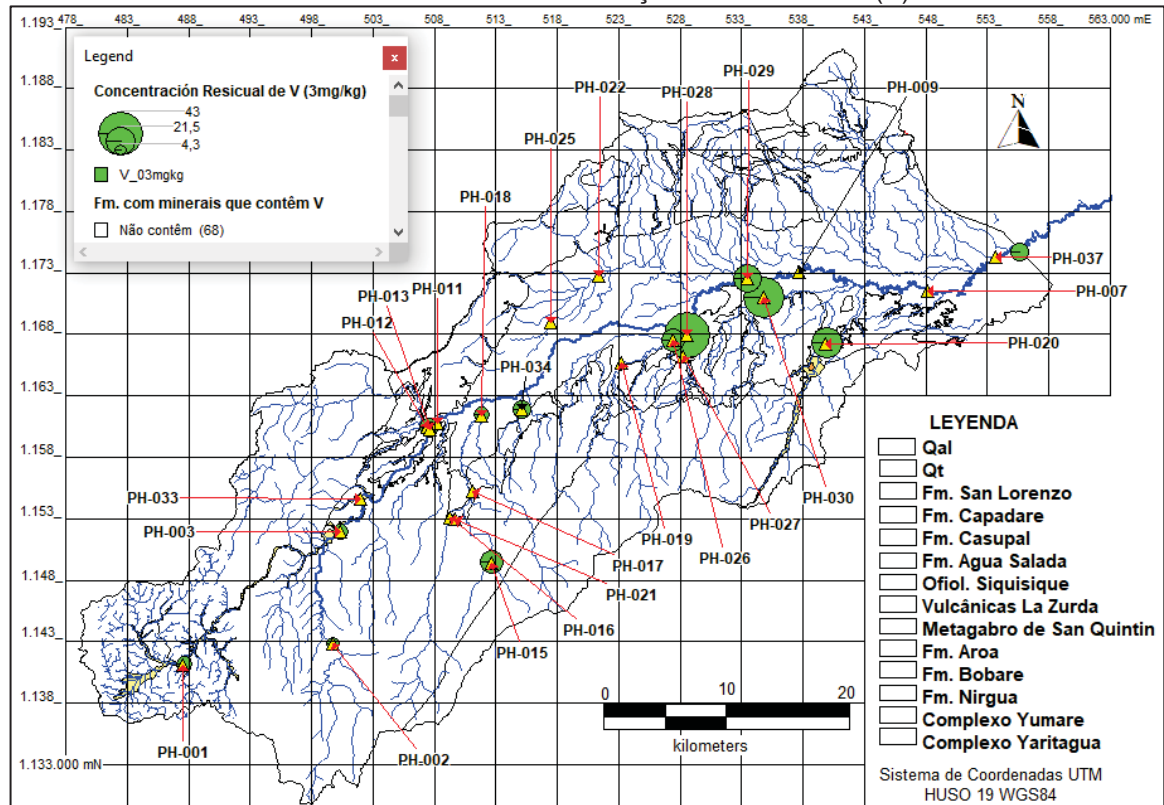
Por outro lado, existe correlação espacial entre as concentrações medidas de chumbo, níquel e cádmio e sua variação espacial, com grandes quantidades desses elementos químicos sendo observados ao sul da bacia do rio Aroa, entre os locais de PH-001, PH-002 e PH-003, onde os tipos de canal predominantes são B4 e C4, então as concentrações desses elementos diminuem entre os locais PH-012, PH-013, PH-015 e PH-018, com formas de canal do tipo B4, B4, A3 e C5, respectivamente. FIGURAS 45, 46 e 47.

FIGURA 42 - VARIAÇÃO DE CROMO (CR)



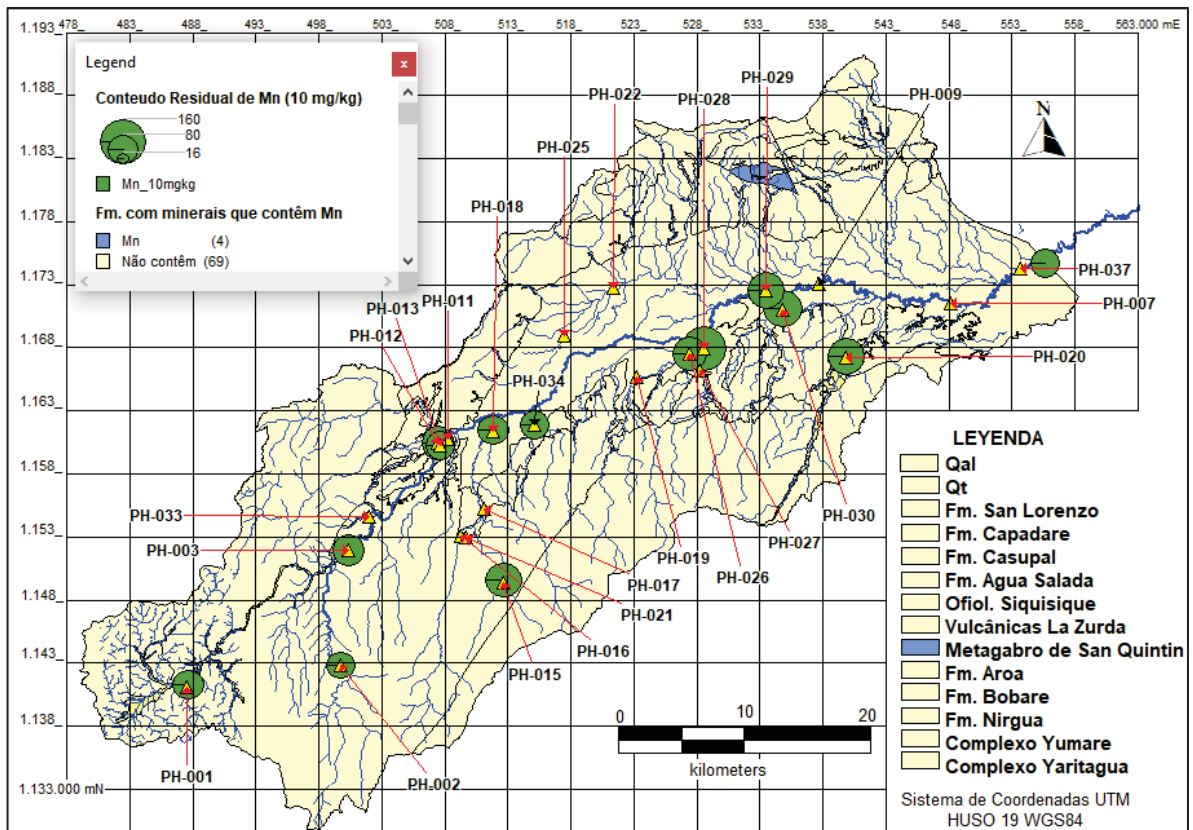
FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 43 - VARIAÇÃO DO VANADIO (V)



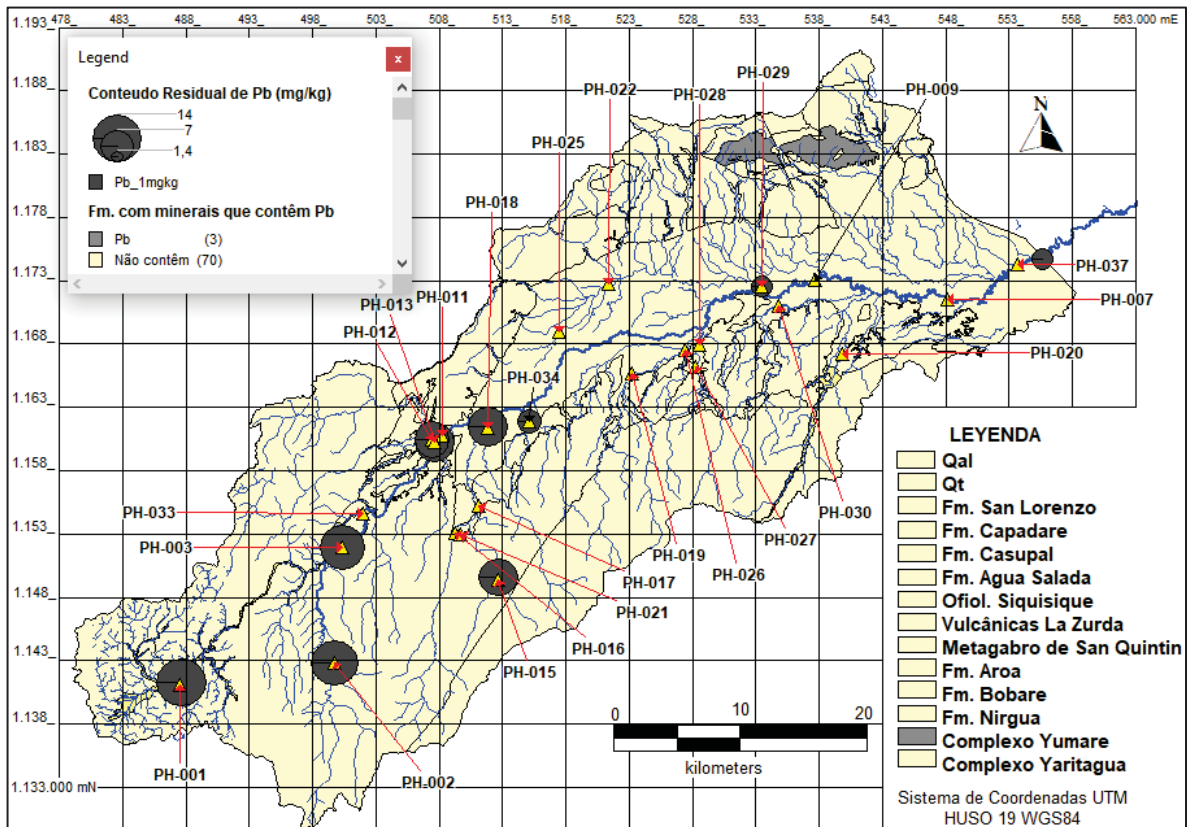
FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 44 - VARIAÇÃO DO MANGANÊS (Mn)



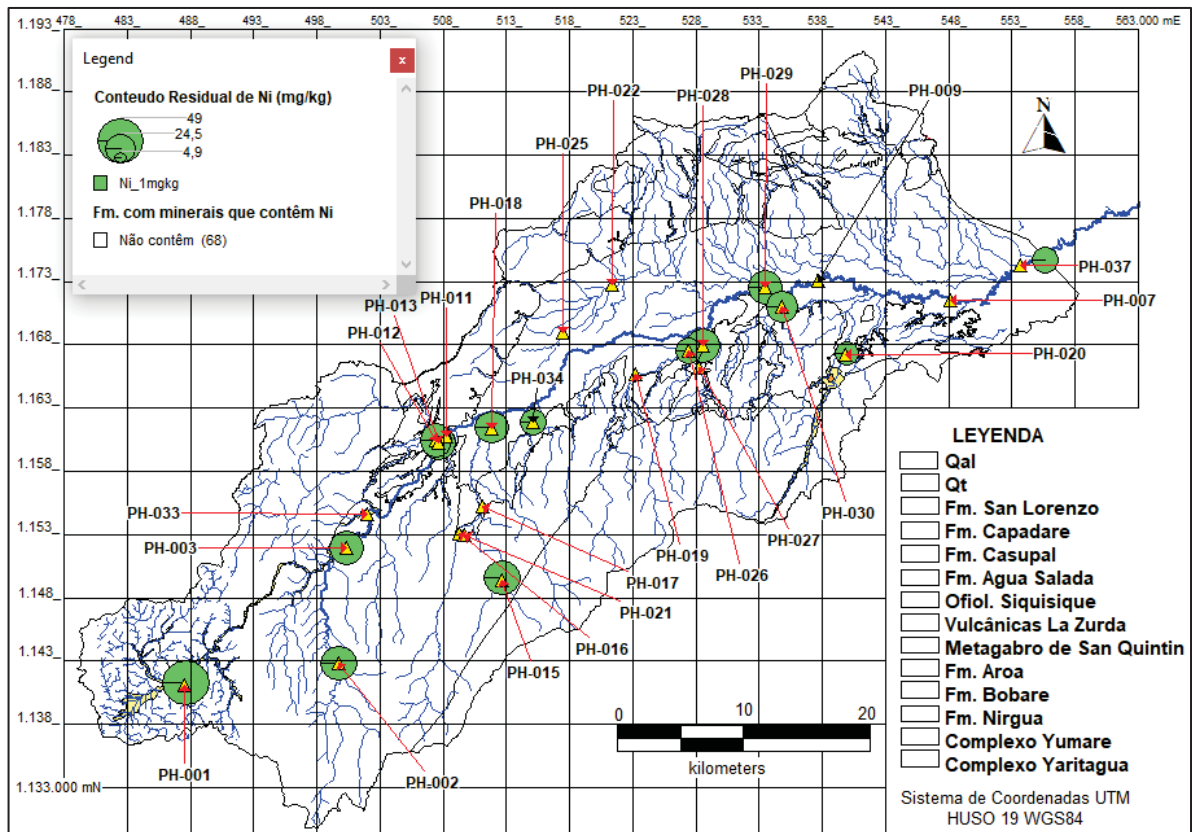
FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 45 - VARIAÇÃO DO CHUMBO (Pb)



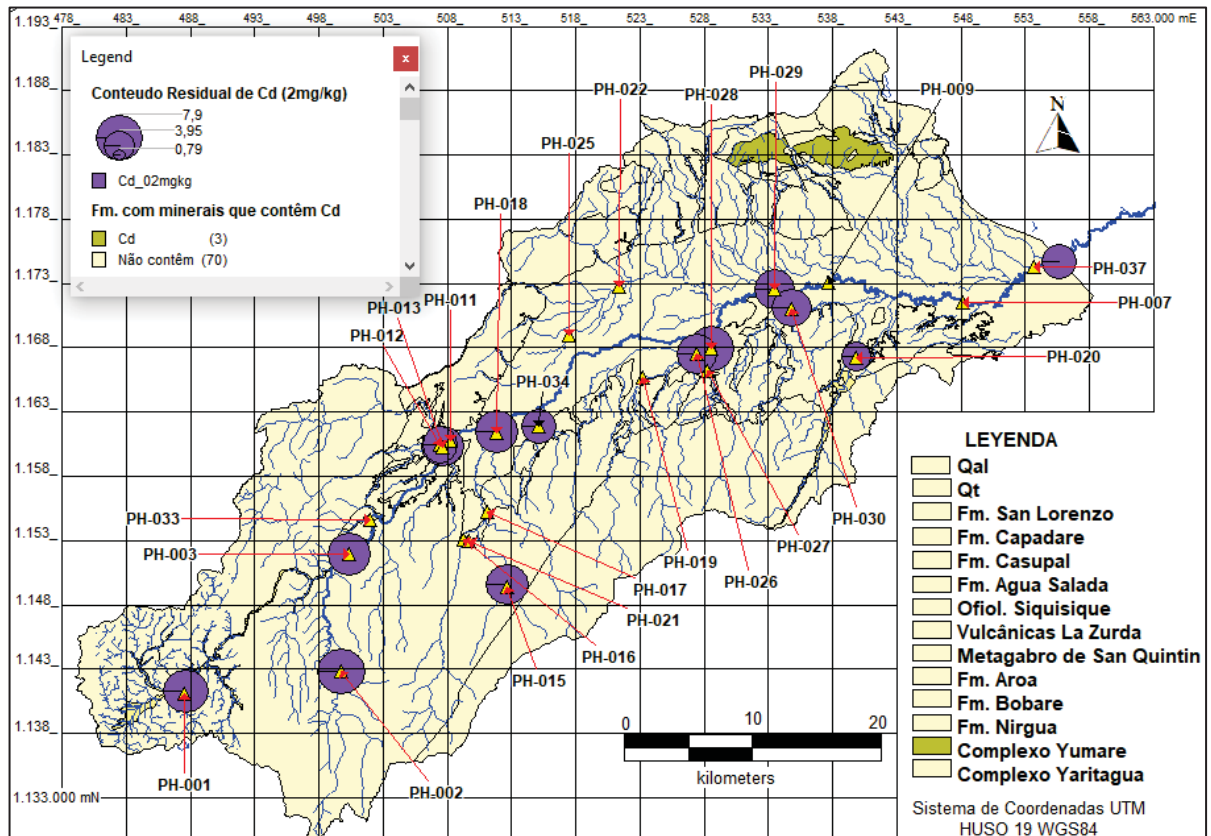
FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 46 - VARIAÇÃO DO NIQUEL (Ni)



FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 47 - VARIAÇÃO DO CADMIO (Cd)

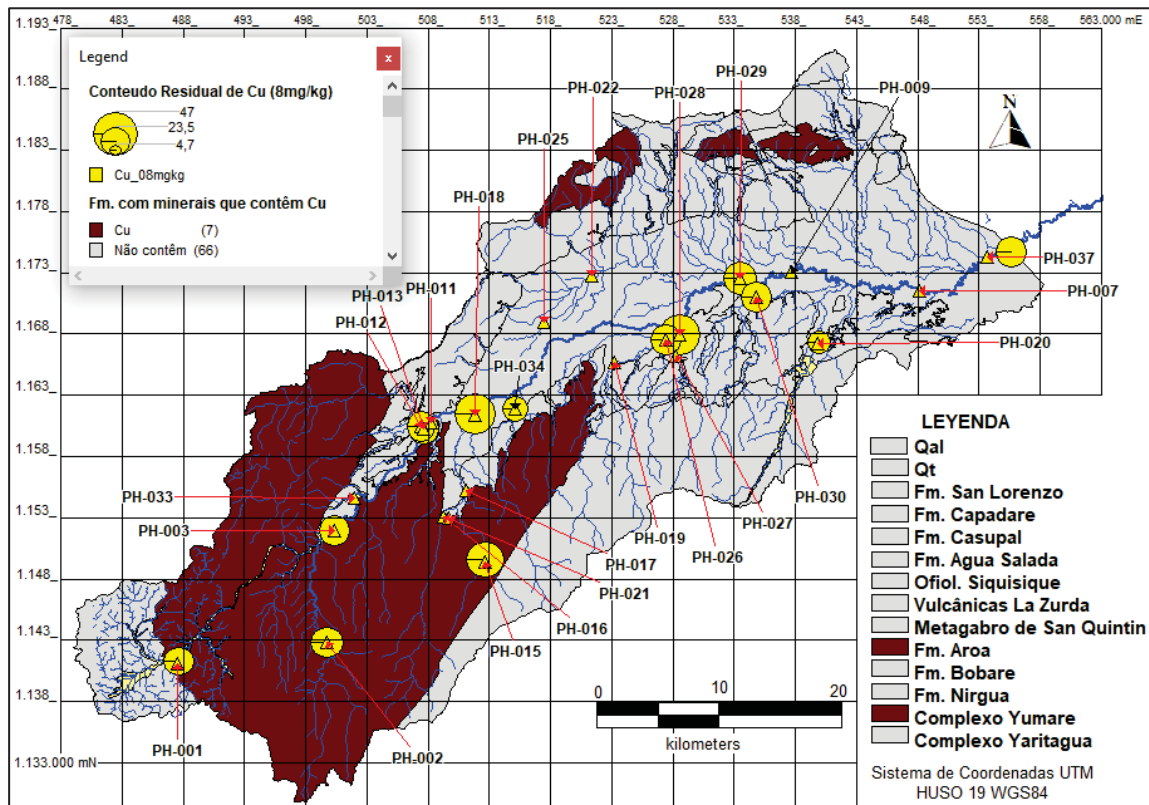


FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

Assim, entre o cobre e o zinco observa-se relação na distribuição espacial das concentrações destes metais na bacia do rio Aroa, entre os locais da amostragem PH-015, PH-018 e PH-028, onde os tipos de canal predominantes são A3 e B4 (Figuras 49 e 50).

Em relação à distribuição e variação das concentrações de ferro nos sedimentos de fundo do rio Aroa, observa-se correlação espacial com o predomínio das unidades litodêmicas de xisto das Formações Aroa - Nirgua, nos locais PH-001, PH-002, PH-003, PH-012, PH-013, PH-015, então a jusante em direção nordeste nos locais PH-026, PH-028, PH-029, PH-030, há outro núcleo de alta concentração onde os tipos de canal são os grupos B3, B4 (Figura 51).

FIGURA 48 - VARIAÇÃO DO COBRE (Cu)



FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 49 - VARIAÇÃO DO ZINCO (Zn)

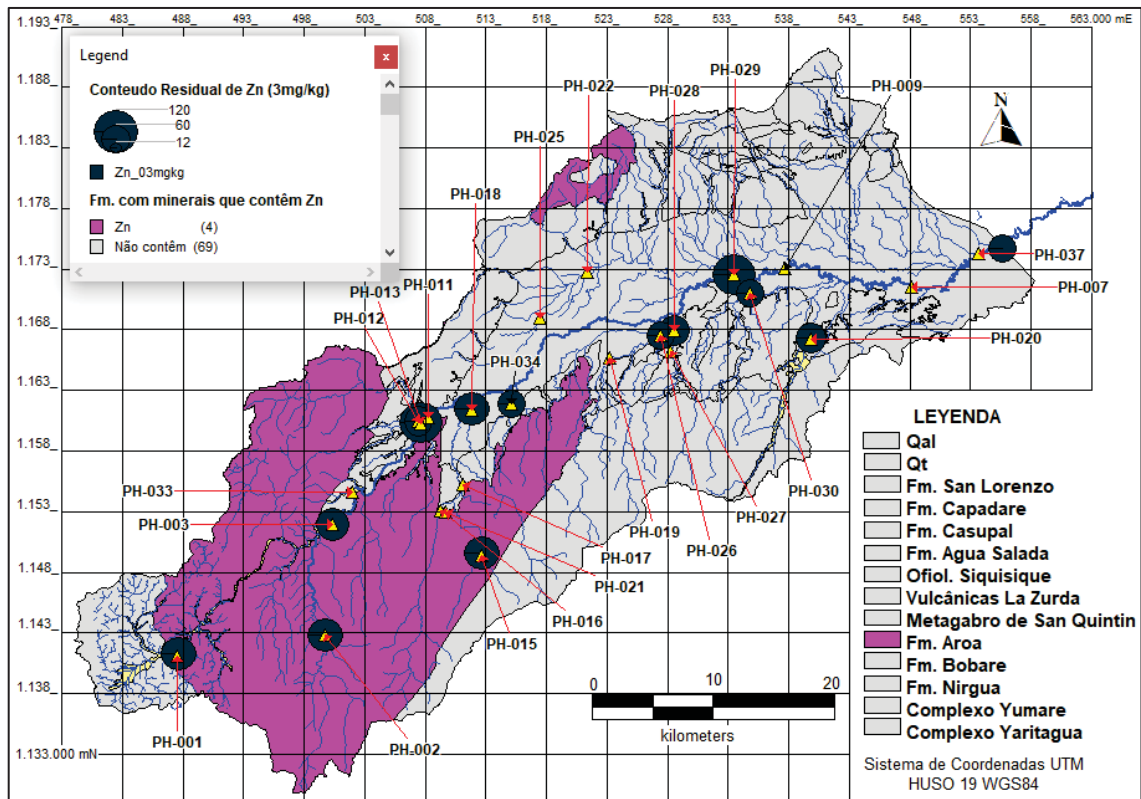
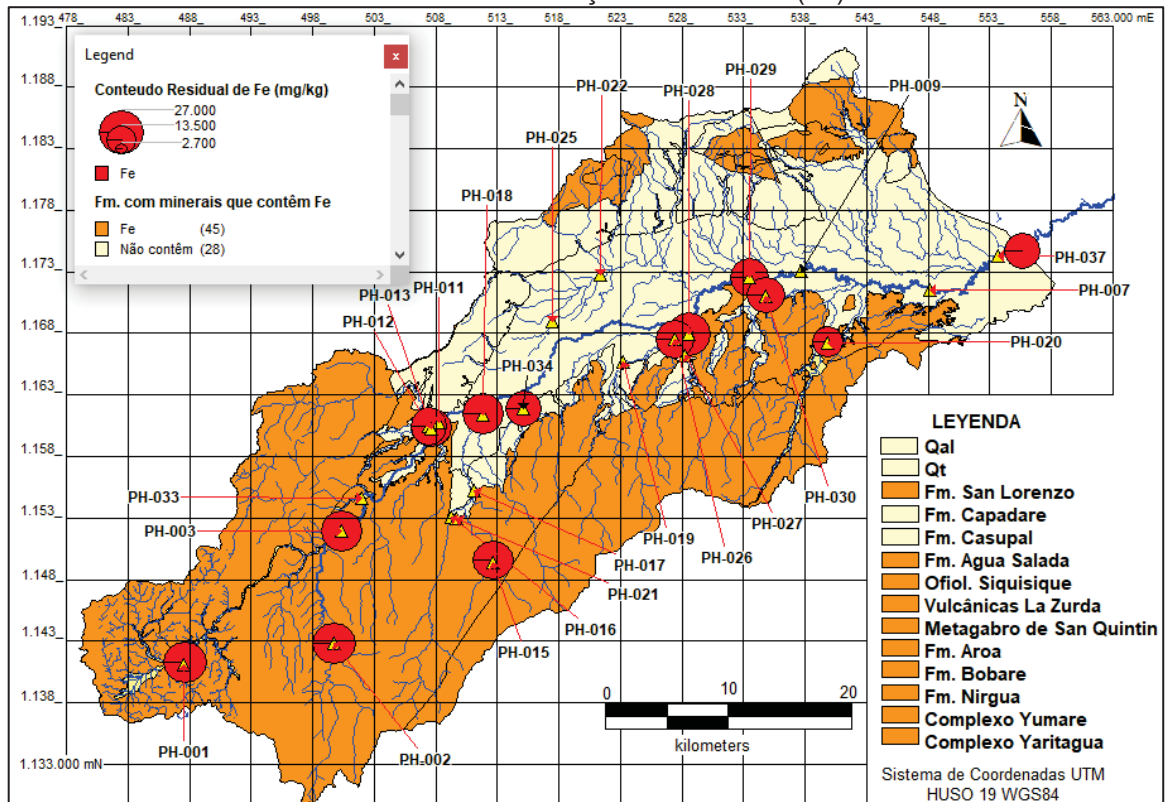
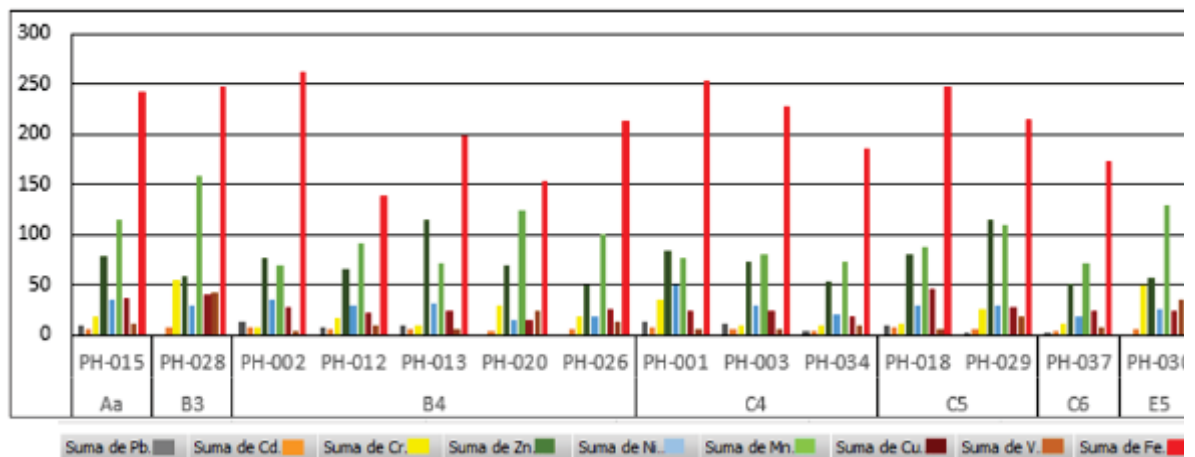
FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

FIGURA 50 - VARIAÇÃO DO FERRO (Fe)

FONTE: Com base em Urbani *et al* (2015) e Cuenca (2017)

No Gráfico 1 são indicados os valores de metais pesados residuais, de acordo com o tipo de canal, nele destacam-se as concentrações de cobre, manganês e zinco em todos os locais de amostragem, com atenção especial para os canais do tipo B3, B4 e E5 que exibem altas concentrações desses elementos. No caso de ferro (diminuídas para efeito do gráfico entre 100), ele tem uma alta concentração em todas as mostras de sedimentos, portanto não se mostra como um bom indicador de variabilidade e correspondência com o tipo de canais.

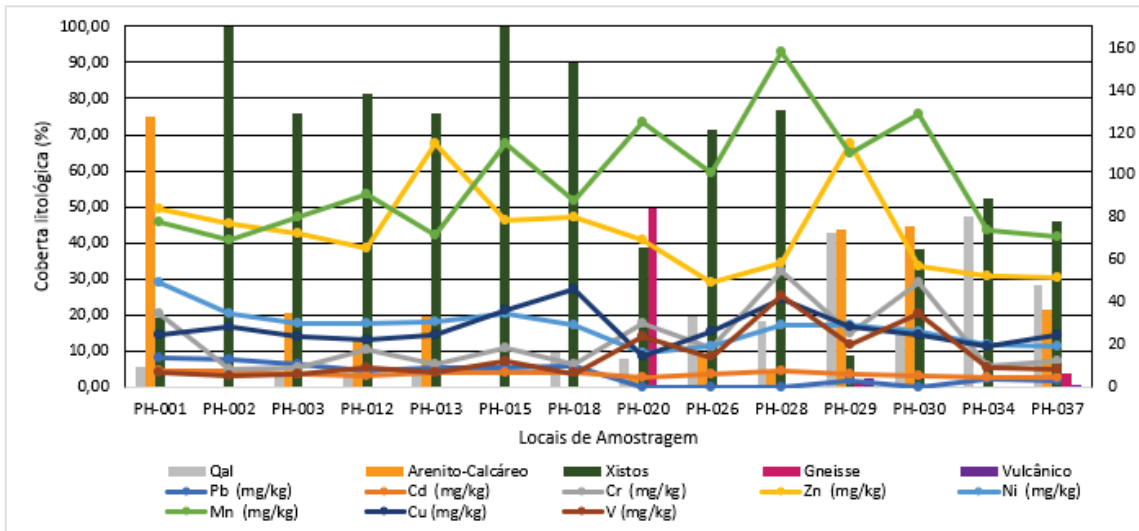
GRAFICO 1 - TIPO DE CANAIS DOS SITES DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS DETERMINADAS NOS SEDIMENTOS DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor

Em concordância com a tipologia de canais e conteúdo de elementos químicos, é importante destacar a relação e influência das rochas expostas na área de estudo onde os xistos das formações Aroa e Nirgua é observada nas altas distribuições de Mn e Zn, o mesmo acontece com os gnaisses do Complexo Yaritagua GRÁFICO 2.

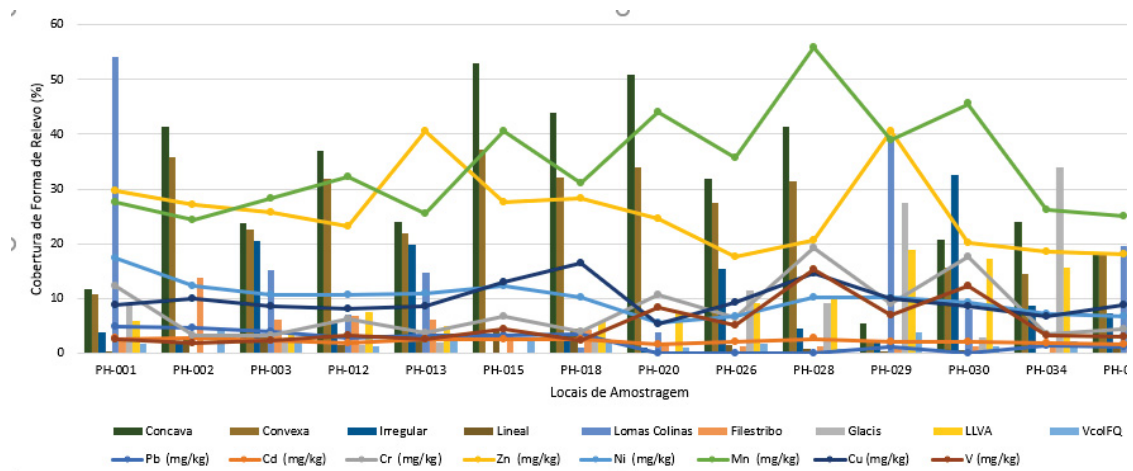
GRAFICO 2 - LITOLOGIA PREDOMINANTE NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DO LOCAL DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS DETERMINADAS NOS SEDIMENTOS DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor

A proporção dos diferentes tipos de vertentes e sua relação com a concentração de metais pesados nos sedimentos do fundo do rio, destacam a influência das formas concavas e convexas onde é observada altas distribuições de Mn e Zn , o mesmo acontece com as formas do relevo de morros (GRÁFICO 3).

GRAFICO 3 - FORMAS DE RELEVO PREDOMINANTE NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DO LOCAL DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS DETERMINADAS NOS SEDIMENTOS DO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor

5.4.2 Fósforo, nitrogênio e carbono na bacia

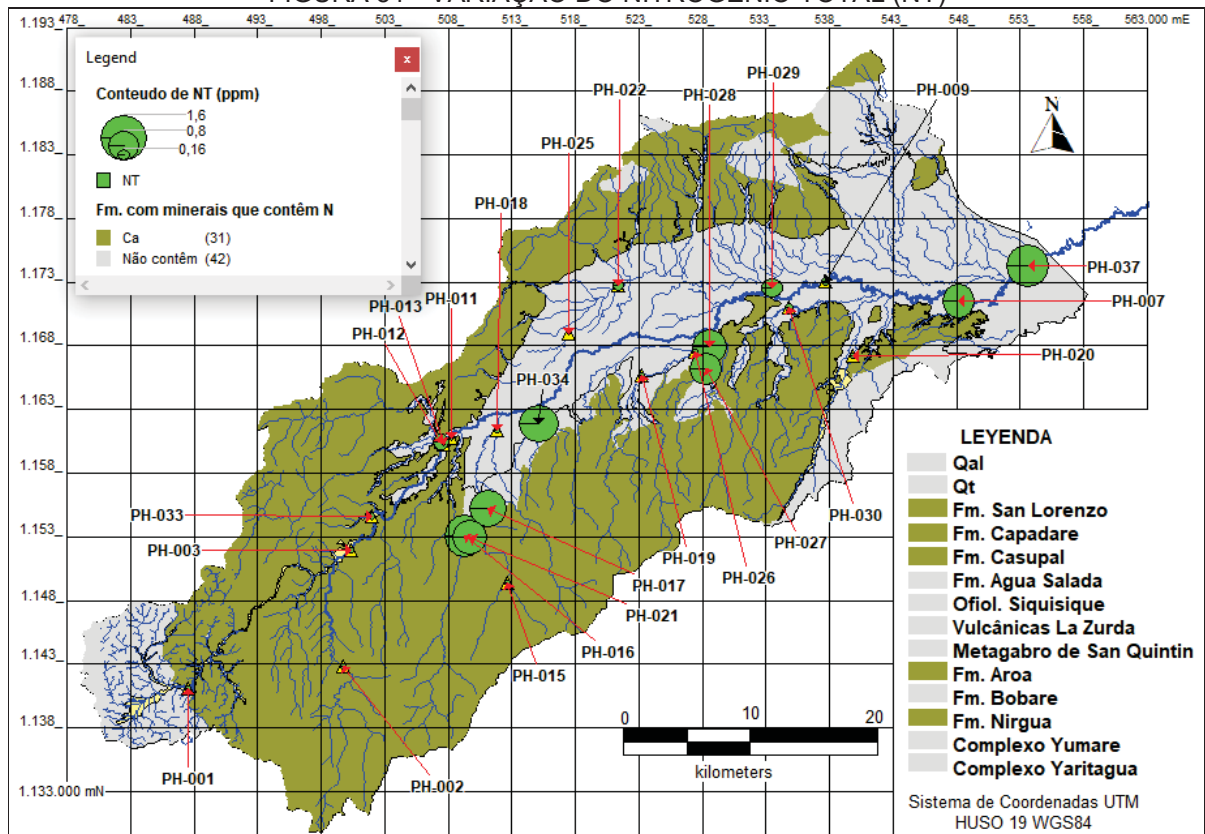
Tal como no caso dos metais pesados, a variação espacial das concentrações de fósforo, nitrogênio, carbono orgânico (CO) e outras variáveis, mostra a formação de dois núcleos com alta concentração de sólidos dissolvidos totais (STD) e matéria orgânica (MO) com uma relação entre esses dois componentes, ou seja, a abundância deles é proporcional entre os locais de amostragem PH-009, PH-12, PH-013, PH-022, PH-029, PH-030, onde a predominância dos tipos de canal são: B4, B5, C5 e E5.

Se observa uma relação entre as concentrações de MO e CO, destacando igual formação de núcleos espaciais com alta concentração destes dois componentes, ou seja, a abundância deles é proporcional entre os locais de amostragem PH-009, PH-12, PH-013, PH-022, PH-029, PH-030, onde a predominância dos tipos de canal são: B4, B5, C5 e E5. Enquanto que, a concentração de carbono inorgânico tem maior relação com a natureza das rochas das formações Aroa, Nirgua, Capadare, San Lorenzo e Água Linda.

Por outro lado, existe correlação entre as concentrações de carbono inorgânico e carbono total, o que é normal devido a maior disponibilidade de carbono na área de estudo, pela presença de calcareos nas rochas, que tem influência na sua variação espacial. As quantidades de nitrogênio observados na área de estudo tem uma forte influência com as variações espaciais do conteúdo de carbono total e de fósforo, a relação gráfica é mais evidente do que a espacial, isso ocorre porque o modelo de dados é muito sensível aos valores extremos (Figura 51).

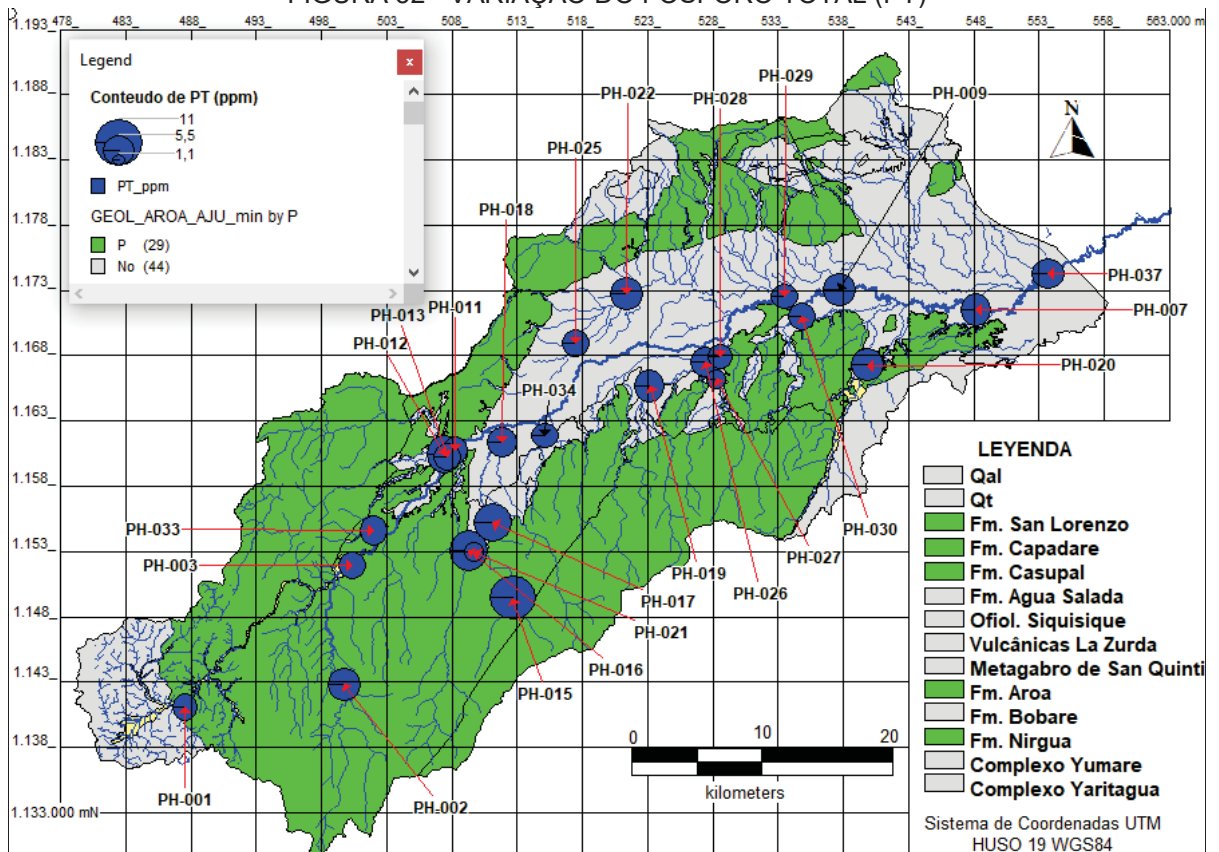
Também, observa-se relação entre as concentrações de fósforo com a natureza das rochas das formações Aroa e Nirgua (Figura 55), onde é comum a presença conspícua de grafite nas rochas meta-sedimentar e indica que a sedimentação ocorreu em ambientes marinhos euxínicos (Urbani et al, 2015), o que se corresponde com uma maior concentração de fósforo (Campbell; Reece, 2007).

FIGURA 51 - VARIAÇÃO DO NITROGÊNIO TOTAL (NT)



FONTE: Com base em Urbani et al., (2015, p.65) e Padrón (2015)

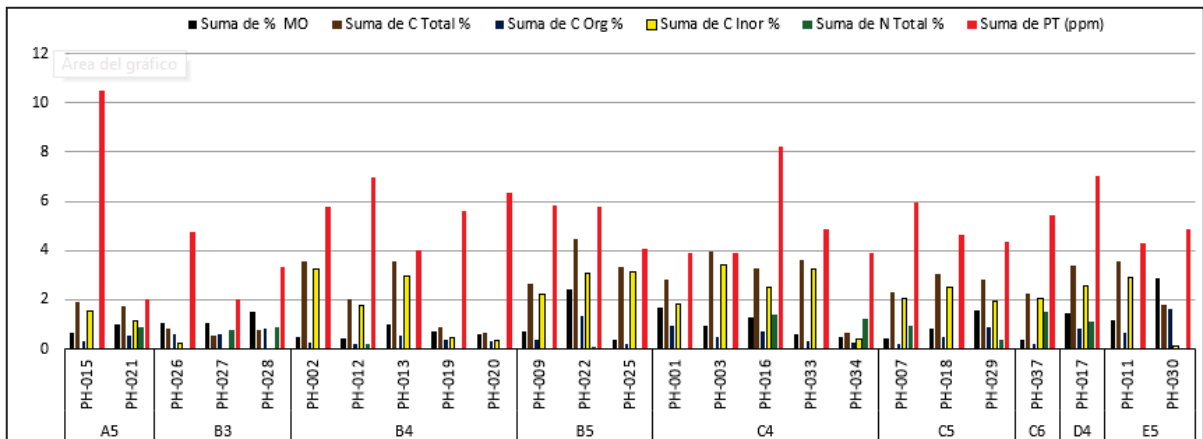
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL (PT)



FONTE: Com base em Urbani et al., (2015, p.65) e Padrón (2015)

No Gráfico 4 são indicados os valores percentuais de matéria orgânica, carbono total, carbono orgânico, carbono inorgânico, nitrogênio total e fósforo total (ppm), de acordo com o tipo de canal, nele destacam-se as concentrações de fósforo em todos os locais de amostragem, com atenção especial para os canais do tipo A3, C4, B4 e D5 que exibem as maiores concentrações desse elemento. No caso do carbono total, tem uma alta concentração nos canais tipo B5 e C4, os quais são os que retêm maiores quantidades de carbono total com uma alta correspondência com os valores de carbono inorgânico. Enquanto os maiores valores de nitrogênio estão nos canais C4 e C6.

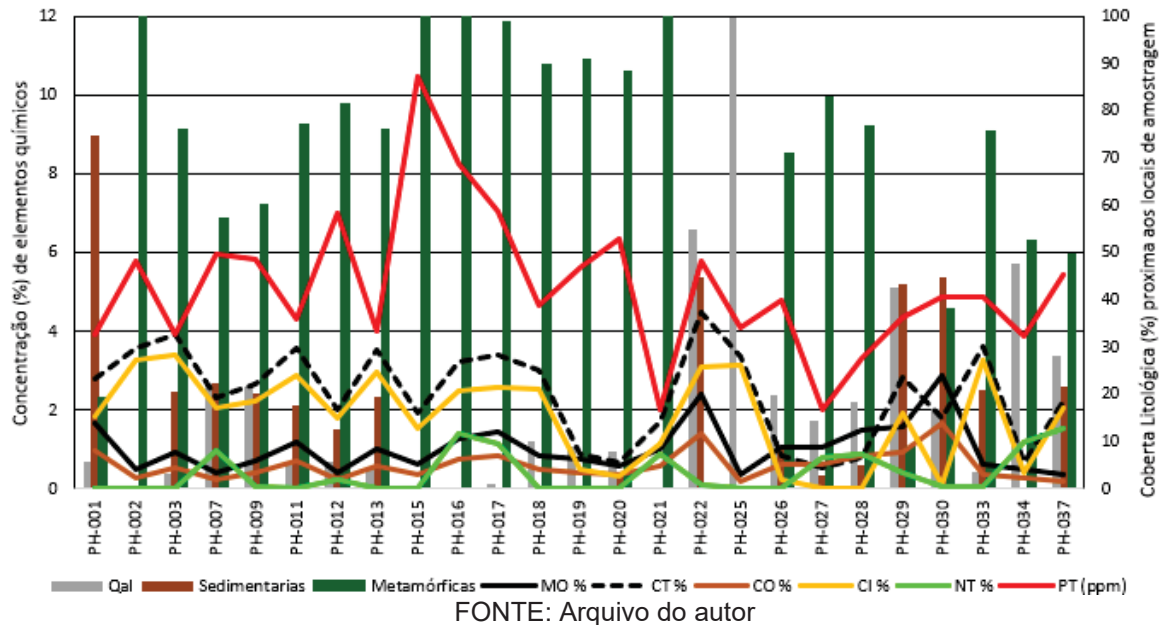
GRAFICO 4 - TIPOS DE CANAIS E CONCENTRAÇÕES (%) DE MO, CO, CI, CT, NT E PT



FONTE: Arquivo do autor

Em concordância com a tipologia de canais e conteúdo de elementos químicos, é importante destacar a relação e influência das rochas expostas nas áreas próximas de coleta de amostragem de sedimentos, onde os xistos calcáreos das formações Aroa e Nirgua, assim como nas rochas sedimentarias do calcareo profundo das formações Capadare, San Lorenzo, Agua Linda e Casupal, é observado o maior conteúdo de fósforo nos sedimentos do fundo do rio, o que coincide com o estabelecido por Campbell e Reece (2007), que apontam que o maior acúmulo de fósforo é encontrado nas rochas sedimentares de origem marinha profundo, por a natureza endógena, deste elemento químico, com exceção das áreas de amostragem: PH-0018, PH-019, PH-020, PH-026, PH-027 e PH-028 (Gráfico 5).

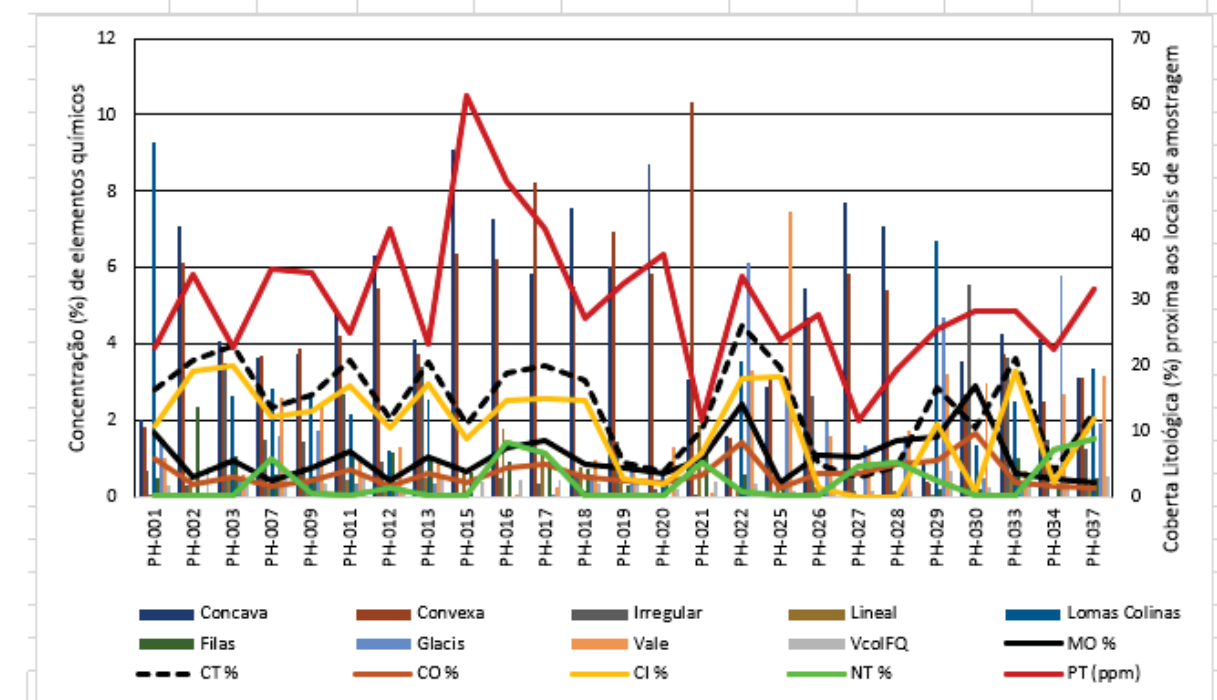
GRAFICO 5 - LITOLOGIA PREDOMINANTE NAS ÁREAS DE CAPTAÇÃO DO LOCAL DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES (%) DE MO, CO, CI, CT, NT E PT (PPM)



Devido à conexão que existe entre os ciclos biogeoquímicos dos elementos como nitrogênio, carbono e fósforo (SCHLESINGER, 2000), o nitrogênio contido na bacia do rio Aroa apresenta um comportamento muito similar ao do fósforo. No GRÁFICO 2, observa-se que a taxa de acúmulo de nitrogênio é maior em sedimentos com alto teor de fósforo. O mesmo acontece com a variação do carbono em todas suas formas de determinação (Carbono total, carbono inorgânico e carbono orgânico). A relação carbono e nitrogênio (C/N) é um parâmetro utilizado na caracterização do nitrogênio e sua relação com a matéria orgânica do solo. Para o seu cálculo, são considerados os valores de N total, que são constituídos até 98% pela fração orgânica (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1987).

A proporção dos diferentes tipos de formas de relevo e sua relação com a concentração de carbono, fósforo e nitrogênio, destacam a influência das formas de vertentes côncavas e convexas com maiores distribuições de C-P-N o mesmo acontece com as formas do relevo de (morros (colinas na literatura em espanhol) com exceção das áreas de amostragem PH-020, PH-027 e PH-028 (GRÁFICO 6).

GRAFICO 6 - FORMAS DE RELEVO PREDOMINANTE NAS ÁREAS RIO ACIMA DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES (%) DE MO, CO, CI, CT, NT E PT (PPM)



FONTE: Arquivo do autor

5.5 CORRELAÇÕES ENTRE GEOMORFOLOGIA E PRESENÇA DE P - N - C

Uma vez que a geomorfologia da bacia do rio Aroa foi interpretada com o mapa de diferenciação de tipos de unidades de vertentes e tipos de formas de canal no ambiente fluvial, os atributos qualitativos foram codificados e transformados em dados quantitativos a partir das proporções de cobertura que as geoformas têm nas proximidades das áreas de captação a fim de estandarizar as informações a serem incorporadas, na matriz para a aplicação de métodos estatísticos multivariados (Tabelas 4a e 4b). No caso de dados quantitativos, aplica-se a Análise de Correspondência (CA), e outro banco de dados transformado em qualidades (Quadros 3a e 3b) para realizar a Análise de Correspondência Múltipla (ACM). Nesse caso, foi utilizada a proporção da cobertura espacial de cada tipo de relevo em sua respectiva área de captação dos pontos de amostragem de sedimentos, conforme indicado na seção geomorfológica e geológica.

TABELA 4a– MATRIZ DE ATRIBUTOS QUANTITATIVOS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E FORMAS DE RELEVO PARA O ANÁLISE DE CORRESPONDENCIA E ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAIS

| Amostras | Elementos fisicoquímicos nos sedimentos | | | | | | | | Coberta (%) de Formas de Relevo | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|----------|------|------|---------------------------------|---------|-----------|--------|---------|---------|--------|------|--------|
| | MO % | CT % | CO % | Cl % | NT % | PT (ppm) | pH | STD | Concava | Convexa | Irregular | Lineal | Colinas | Estribo | Glacis | LLVA | VcolFQ |
| PH-001 | 1,7 | 2,8 | 0,97 | 1,84 | 0,03 | 3,92 | 8,47 | 264 | 11,7 | 10,7 | 3,9 | 0,2 | 54,0 | 3,0 | 8,9 | 5,8 | 1,8 |
| PH-002 | 0,5 | 3,6 | 0,30 | 3,26 | 0,03 | 5,80 | 8,52 | 203 | 41,2 | 35,9 | 1,8 | 2,8 | 0,0 | 13,8 | 0,0 | 0,0 | 4,5 |
| PH-003 | 0,9 | 3,9 | 0,53 | 3,41 | 0,02 | 3,91 | 8,24 | 242 | 23,8 | 22,6 | 20,5 | 2,9 | 15,3 | 6,1 | 2,5 | 3,5 | 2,9 |
| PH-007 | 0,4 | 2,3 | 0,25 | 2,08 | 0,97 | 5,95 | 8,27 | 338 | 21,1 | 21,5 | 8,8 | 1,9 | 16,6 | 3,3 | 9,2 | 15,2 | 2,5 |
| PH-009 | 0,7 | 2,7 | 0,42 | 2,24 | 0,06 | 5,85 | 7,86 | 386 | 21,8 | 22,7 | 8,5 | 2,2 | 15,7 | 3,1 | 10,2 | 13,9 | 2,0 |
| PH-011 | 1,2 | 3,6 | 0,70 | 2,88 | 0,04 | 4,31 | 7,73 | 313 | 27,9 | 24,7 | 15,7 | 2,4 | 12,7 | 6,0 | 1,9 | 5,8 | 2,9 |
| PH-012 | 0,4 | 2,0 | 0,25 | 1,78 | 0,23 | 6,99 | 7,78 | 405 | 36,9 | 31,9 | 5,5 | 1,4 | 7,1 | 6,9 | 1,5 | 7,6 | 1,3 |
| PH-013 | 1,0 | 3,5 | 0,59 | 2,95 | 0,02 | 4,00 | 7,89 | 263 | 24,0 | 21,9 | 19,9 | 2,8 | 14,8 | 6,1 | 2,0 | 5,0 | 3,5 |
| PH-015 | 0,6 | 1,9 | 0,37 | 1,53 | 0,03 | 10,48 | 7,90 | 185 | 53,0 | 37,1 | 0,0 | 4,0 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 0,0 | 2,3 |
| PH-016 | 1,3 | 3,3 | 0,74 | 2,51 | 1,41 | 8,24 | 7,30 | 315 | 42,4 | 36,4 | 2,8 | 10,2 | 0,0 | 5,3 | 0,0 | 0,2 | 2,5 |
| PH-017 | 1,5 | 3,4 | 0,86 | 2,56 | 1,13 | 7,03 | 7,75 | 291 | 34,2 | 48,1 | 1,9 | 6,7 | 0,0 | 5,3 | 0,1 | 1,4 | 2,5 |
| PH-018 | 0,9 | 3,0 | 0,50 | 2,53 | 0,03 | 4,66 | 7,98 | 268 | 44,0 | 32,1 | 3,2 | 4,6 | 0,9 | 4,2 | 3,4 | 5,6 | 2,0 |
| PH-019 | 0,7 | 0,9 | 0,43 | 0,48 | 0,04 | 5,60 | 8,00 | 166 | 35,2 | 40,5 | 8,6 | 2,0 | 0,0 | 1,6 | 5,3 | 4,6 | 2,2 |
| PH-020 | 0,6 | 0,7 | 0,35 | 0,33 | 0,03 | 6,36 | 8,01 | 270 | 50,8 | 34,0 | 1,1 | 0,0 | 3,8 | 1,7 | 0,0 | 7,6 | 1,1 |
| PH-021 | 1,0 | 1,7 | 0,58 | 1,15 | 0,89 | 2,00 | 7,84 | 307 | 17,9 | 60,3 | 0,1 | 11,0 | 0,0 | 8,0 | 0,0 | 0,5 | 2,3 |
| PH-022 | 2,4 | 4,5 | 1,40 | 3,10 | 0,12 | 5,78 | 7,67 | 454 | 9,3 | 8,9 | 0,0 | 0,9 | 20,6 | 3,3 | 35,7 | 19,2 | 2,1 |
| PH-025 | 0,4 | 3,4 | 0,21 | 3,16 | 0,02 | 4,08 | 7,30 | 167 | 16,7 | 18,4 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 2,4 | 15,7 | 43,6 | 0,8 |
| PH-026 | 1,1 | 0,9 | 0,63 | 0,22 | 0,04 | 4,78 | 7,76 | 177 | 31,9 | 27,3 | 15,4 | 1,5 | 0,0 | 1,3 | 11,5 | 9,2 | 1,8 |
| PH-027 | 1,1 | 0,5 | 0,61 | 0,00 | 0,80 | 2,00 | 8,17 | 149 | 44,8 | 34,0 | 2,9 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 7,8 | 7,2 | 0,9 |
| PH-028 | 1,5 | 0,8 | 0,86 | 0,00 | 0,89 | 3,32 | 8,50 | 158 | 41,4 | 31,4 | 4,6 | 0,9 | 0,0 | 1,3 | 9,2 | 10,2 | 0,8 |
| PH-029 | 1,6 | 2,8 | 0,92 | 1,92 | 0,40 | 4,36 | 7,57 | 460 | 5,4 | 2,2 | 1,9 | 0,2 | 39,1 | 1,1 | 27,4 | 18,8 | 3,9 |
| PH-030 | 2,9 | 1,8 | 1,68 | 0,12 | 0,05 | 4,86 | 7,65 | 412 | 20,7 | 15,6 | 32,4 | 0,6 | 7,9 | 1,2 | 2,9 | 17,3 | 1,4 |
| PH-033 | 0,6 | 3,6 | 0,36 | 3,26 | 0,05 | 4,86 | 8,20 | 260 | 24,7 | 21,9 | 21,2 | 2,8 | 14,5 | 5,9 | 2,3 | 3,9 | 2,8 |
| PH-034 | 0,5 | 0,7 | 0,28 | 0,39 | 1,21 | 3,88 | 8,28 | 81,2 | 24,0 | 14,5 | 8,7 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 33,9 | 15,6 | 2,3 |
| PH-037 | 0,4 | 2,3 | 0,21 | 2,04 | 1,54 | 5,45 | 8,15 | 357 | 18,1 | 18,1 | 7,3 | 1,6 | 19,5 | 2,8 | 11,2 | 18,3 | 3,1 |

FONTE: Arquivo do autor

TABELA 4b– MATRIZ DE ATRIBUTOS QUANTITATIVOS PARA O ANÁLISE DE CORRESPONDENCIA E ANÁLISE DE COMPONENTE PRINCIPAIS

| Amostras | Elementos Fisicoquímicos nos sedimentos | | | | | | | | Coberta (%) de Rochas | | |
|----------|---|------|------|------|------|----------|------|------|-----------------------|---------------|--------------|
| | MO % | CT % | CO % | Cl % | NT % | PT (ppm) | pH | STD | Qal | Sedimentarias | Metamórficas |
| PH-001 | 1,7 | 2,8 | 0,97 | 1,84 | 0,03 | 3,92 | 8,47 | 264 | 5,7 | 74,9 | 19,4 |
| PH-002 | 0,5 | 3,6 | 0,30 | 3,26 | 0,03 | 5,80 | 8,52 | 203 | 0,1 | 0,0 | 99,9 |
| PH-003 | 0,9 | 3,9 | 0,53 | 3,41 | 0,02 | 3,91 | 8,24 | 242 | 3,2 | 20,7 | 76,1 |
| PH-007 | 0,4 | 2,3 | 0,25 | 2,08 | 0,97 | 5,95 | 8,27 | 338 | 22,4 | 22,3 | 57,4 |
| PH-009 | 0,7 | 2,7 | 0,42 | 2,24 | 0,06 | 5,85 | 7,86 | 386 | 21,7 | 20,2 | 60,2 |
| PH-011 | 1,2 | 3,6 | 0,70 | 2,88 | 0,04 | 4,31 | 7,73 | 313 | 5,0 | 17,7 | 77,3 |
| PH-012 | 0,4 | 2,0 | 0,25 | 1,78 | 0,23 | 6,99 | 7,78 | 405 | 5,8 | 12,8 | 81,4 |
| PH-013 | 1,0 | 3,5 | 0,59 | 2,95 | 0,02 | 4,00 | 7,89 | 263 | 4,5 | 19,6 | 75,9 |
| PH-015 | 0,6 | 1,9 | 0,37 | 1,53 | 0,03 | 10,48 | 7,90 | 185 | 0,1 | 0,1 | 99,8 |
| PH-016 | 1,3 | 3,3 | 0,74 | 2,51 | 1,41 | 8,24 | 7,30 | 315 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| PH-017 | 1,5 | 3,4 | 0,86 | 2,56 | 1,13 | 7,03 | 7,75 | 291 | 1,1 | 0,0 | 98,9 |
| PH-018 | 0,9 | 3,0 | 0,50 | 2,53 | 0,03 | 4,66 | 7,98 | 268 | 10,0 | 0,2 | 89,8 |
| PH-019 | 0,7 | 0,9 | 0,43 | 0,48 | 0,04 | 5,60 | 8,00 | 166 | 9,1 | 0,0 | 90,9 |
| PH-020 | 0,6 | 0,7 | 0,35 | 0,33 | 0,03 | 6,36 | 8,01 | 270 | 8,1 | 3,6 | 88,3 |
| PH-021 | 1,0 | 1,7 | 0,58 | 1,15 | 0,89 | 2,00 | 7,84 | 307 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| PH-022 | 2,4 | 4,5 | 1,40 | 3,10 | 0,12 | 5,78 | 7,67 | 454 | 54,9 | 44,7 | 0,4 |
| PH-025 | 0,4 | 3,4 | 0,21 | 3,16 | 0,02 | 4,08 | 7,30 | 167 | 99,7 | 0,0 | 0,3 |
| PH-026 | 1,1 | 0,9 | 0,63 | 0,22 | 0,04 | 4,78 | 7,76 | 177 | 19,9 | 8,9 | 71,2 |
| PH-027 | 1,1 | 0,5 | 0,61 | 0,00 | 0,80 | 2,00 | 8,17 | 149 | 14,3 | 2,8 | 82,9 |
| PH-028 | 1,5 | 0,8 | 0,86 | 0,00 | 0,89 | 3,32 | 8,50 | 158 | 18,5 | 4,9 | 76,6 |
| PH-029 | 1,6 | 2,8 | 0,92 | 1,92 | 0,40 | 4,36 | 7,57 | 460 | 42,7 | 43,5 | 8,8 |
| PH-030 | 2,9 | 1,8 | 1,68 | 0,12 | 0,05 | 4,86 | 7,65 | 412 | 17,1 | 44,6 | 38,3 |
| PH-033 | 0,6 | 3,6 | 0,36 | 3,26 | 0,05 | 4,86 | 8,20 | 260 | 3,5 | 20,9 | 75,6 |
| PH-034 | 0,5 | 0,7 | 0,28 | 0,39 | 1,21 | 3,88 | 8,28 | 81,2 | 47,5 | 0,0 | 52,5 |
| PH-037 | 0,4 | 2,3 | 0,21 | 2,04 | 1,54 | 5,45 | 8,15 | 357 | 28,2 | 21,7 | 49,6 |

FONTE: Arquivo do autor

QUADRO 3a – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS E FORMAS DE RELEVO PARA A ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIAS MULTIPLEX EM DADOS DE N – P - C

| Amostras | Elementos fisicoquímicos nos sedimentos | | | | | | | Categorias de Coberta (%) de Formas de Relevo | | | | | | | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | MO % | CT % | CO % | Cl % | NT % | PT (ppm) | pH | STD | Cancava | Convexa | Irregular | Linear | Colinas | Crista | Glacis | LLVA | VcoIFQ |
| PH-001 | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Muito baixo | Muito Baixo | Alto | Baixo | Baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-002 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Alto | Baixo | Muito alto | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Baixo | Nulo | Nulo | Muito baixo |
| PH-003 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Alto | Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-007 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Alto | Moderado | Moderado | Moderado | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo |
| PH-009 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Moderado | Moderado | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Muito baixo |
| PH-011 | Baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-012 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Baixo | Alta | Alto | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-013 | Baixo | Alto | Baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-015 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Alta | Baixo | Baixo | Muito alto | Alto | Nulo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Nulo | Nulo | Muito baixo |
| PH-016 | Baixo | Moderado | Baixo | Alto | Alto | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito alto | Alto | Muito baixo | Baixo | Nulo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-017 | Baixo | Moderado | Baixo | Alto | Moderado | Moderado | Baixo | Moderado | Alto | Muito alto | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-018 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Moderado | Baixo | Muito alto | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-019 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito alto | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-020 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Muito alto | Alto | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-021 | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Moderado | Baixo | Muito alto | Muito baixo | Baixo | Nulo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-022 | Alto | Alto | Alto | Alto | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Baixo | Muito baixo |
| PH-025 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Nulo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Baixo | Muito alto | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-026 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Alto | Moderado | Baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-027 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Muito alto | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-028 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Muito alto | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo |
| PH-029 | Baixo | Moderado | Baixo | Moderado | Baixo | Baixo | Muito baixo | Alta | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Moderado | Baixo | Muito baixo |
| PH-030 | Alto | Baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Moderado | Baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo |
| PH-033 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Moderado | Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Muito baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| PH-034 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Alto | Muito Baixo | Alto | Muito baixo | Moderado | Baixo | Muito Baixo | Nulo | Nulo | Muito Baixo | Alto | Baixo | Muito baixo |
| PH-037 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Alto | Baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito baixo |

FONTE: Arquivo do autor

QUADRO 3b – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS E GRUPOS DE ROCHAS PARA A ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIAS MULTIPLEX EM DADOS DE N – P - C

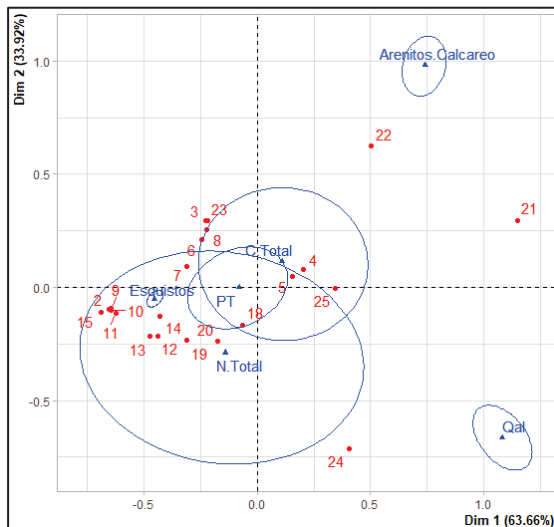
| Amostras | Elementos fisicoquímicos nos sedimentos | | | | | | | Coberta (%) de Grupo de Rochas | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | MO % | CT % | CO % | Cl % | NT % | PT (ppm) | pH | STD | Gal | Sedimentar | Metamórficas |
| PH-001 | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Muito baixo | Muito Baixo | Alto | Baixo | Muito baixo | Muito alto | Baixo |
| PH-002 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Alto | Baixo | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-003 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Alto | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito alto |
| PH-007 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Alto | Moderado | Moderado | Moderado | Muito alto |
| PH-009 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Moderado | Moderado | Muito alto |
| PH-011 | Baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Muito alto |
| PH-012 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Baixo | Alta | Muito baixo | Baixo | Muito alto |
| PH-013 | Baixo | Alto | Baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito alto |
| PH-015 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Alta | Baixo | Baixo | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-016 | Baixo | Moderado | Baixo | Alto | Alto | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-017 | Baixo | Moderado | Baixo | Alto | Moderado | Moderado | Baixo | Moderado | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-018 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Moderado | Baixo | Baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-019 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-020 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Moderado | Moderado | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito alto |
| PH-021 | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Moderado | Muito baixo | Nulo | Muito alto |
| PH-022 | Alto | Alto | Alto | Alto | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Muito alto | Muito alto | Muito baixo |
| PH-025 | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito alto | Nulo | Muito baixo |
| PH-026 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Muito baixo | Muito alto |
| PH-027 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito alto |
| PH-028 | Baixo | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Muito alto |
| PH-029 | Baixo | Moderado | Baixo | Moderado | Baixo | Baixo | Muito baixo | Alta | Muito alto | Muito alto | Muito baixo |
| PH-030 | Alto | Baixo | Alto | Muito baixo | Muito baixo | Baixo | Baixo | Alta | Baixo | Muito alto | Alto |
| PH-033 | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Alto | Muito baixo | Baixo | Moderado | Baixo | Muito Baixo | Moderado | Muito alto |
| PH-034 | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo | Alto | Muito Baixo | Alto | Muito baixo | Muito alto | Nulo | Muito alto |
| PH-037 | Muito baixo | Baixo | Muito baixo | Moderado | Alto | Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Muito alto |

FONTE: Arquivo do autor

De acordo com os resultados obtidos na Análise de Correspondência, observa-se uma alta correlação entre tipo de rochas calcareo de origem marinho profundo, predominantes nas áreas de captação das amostras de sedimento e as concentrações

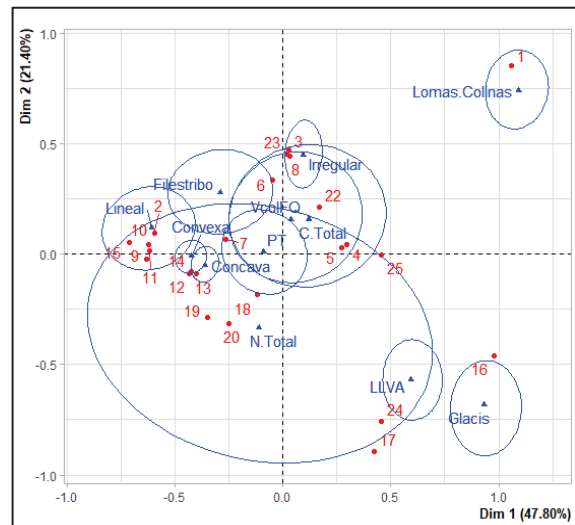
totais de carbono, fósforo e nitrogênio. A influência do xisto no fósforo e, portanto, nas concentrações de nitrogênio é evidente, enquanto o carbono total é mais influenciado pela cobertura de arenitos calcários e calcários (GRÁFICO 7). Da mesma forma, existe correspondência entre os tipos de encostas côncavas com altas concentrações de fósforo e nitrogênio, o que se traduz em uma alta dependência do processo de modelagem de xisto com a formação de áreas de contribuição efetiva para desvio e transporte distos elementos, exatamente porque as encostas côncavas são as formas que tendem a acumular mais umidade e sedimentos, ela é prolongada pelo tempo de reação química durante os processos de intemperismo das formações geológicas da área de estudo (GRÁFICO 8). Enquanto as maiores proporções de carbono total se manifestam em relevos dominados por colinas (morros) e encostas irregulares que foram esculpidas em uma cobertura de domínio calcário.

GRÁFICO 7 – ACENTRE ROCHAS E CONCENTRAÇÕES TOTAIS DE CARBONO, FÓSFORO E NITROGÊNIO.



FONTE: Arquivo do autor

GRÁFICO 8 - ACENTRE O RELEVO E CONCENTRAÇÕES TOTAIS DE CARBONO, FÓSFORO E NITROGÊNIO

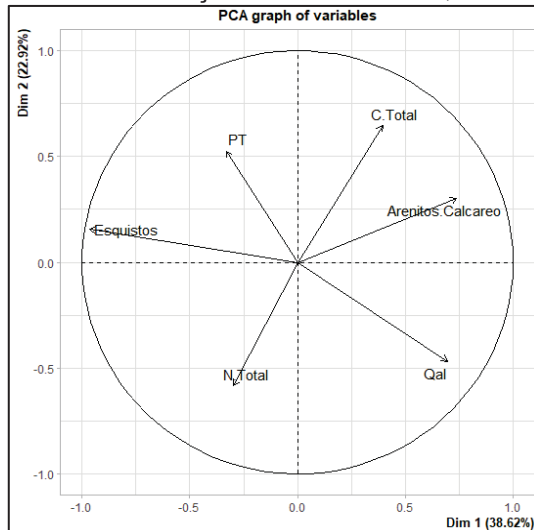


FONTE: Arquivo do autor

Ao aplicar a Análise de Componentes Principais (ACP), comportamento e relações semelhantes são observados entre a cobertura litológica, formas de relevo e concentrações totais de carbono (C. Total), fósforo (PT) e nitrogênio (N Total), GRÁFICOS 9 e 10. Neste particular, é importante notar que em ambos os métodos de determinação de relações multivariadas existe correlação entre os atributos geológicos e geomorfológicos e as variáveis estudadas por Padrón (2015), em relação

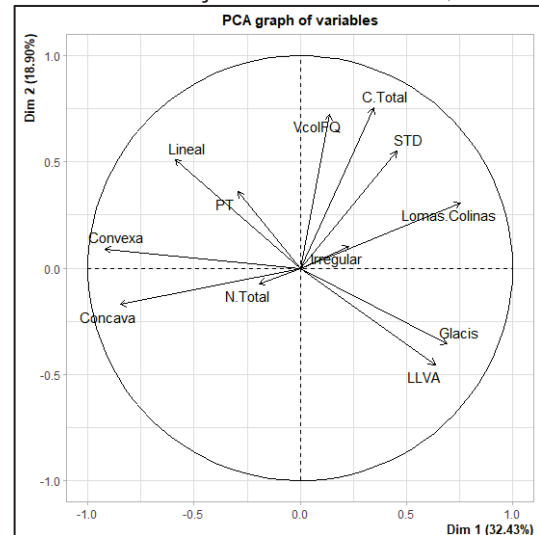
com o conteúdo de PT e a rochas de xistos assim como o CT com os arenitos, o mesmo acontece com as vertentes concavas e o nitrogênio total.

GRÁFICO 9 - ACP ENTRE ROCHAS E CONCENTRAÇÕES TOTAIS DE C, P e N



FONTE: Arquivo do autor

GRÁFICO 10 - ACP ENTRE RELEVO E CONCENTRAÇÕES TOTAIS DE C, P e N



FONTE: Arquivo do autor

Da relação entre o tipo de canal e as quantidades percentuais de carbono, fósforo e nitrogênio determinados nos sedimentos de fundo do rio Aroa, observa-se que nos canais tipo B4 e B5, C4, C5 e D4 existem as maiores concentrações destes elementos, com uma exceção no canal A3 que tem a maior quantidade de fósforo na mostra PH-015. Essas diferenças nos níveis percentuais de concentração desses elementos químicos não são atribuíveis apenas à forma simples do canal, mas à conjugação de outros fatores, como a cobertura geológica predominante na área de captação de escoamento superficial, bem como as formas de relevo dominantes na área de influência imediata. No entanto, os resultados sugerem que existe um padrão de canal que favorece uma maior retenção desses elementos químicos nos sedimentos do fundo do rio (canais tipo B4 e B5, C4, C5 e D4), com uma diferença no caso da mostra PH-015 que pela ubiquação com uma maior declividade tem mais energia que os demais locais de amostragem.

5.6 CORRELAÇÕES ENTRE GEOMORFOLOGIA E METAIS PESADOS

Ao relacionar os conteúdos residuais de metais pesados nos sedimentos de fundo do rio Aroa com as características geológicas e geomorfológicas da bacia hidrográfica (TABELA 5a e 5b) para os valores quantitativos e (QUADRO 4a e QUADRO 4b) para valores qualitativos, se obtém as seguintes descobertas:

TABELA 5a – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUANTITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E FORMAS DE RELEVO PARA O ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

| Amostras | Conteúdo residual de metais pesados (mg/kg) | | | | | | | | Coberta (%) de Formas de Relevo | | | | | | | | |
|----------|---|-----|------|------|----|-----|------|-----|---------------------------------|---------|-----------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|
| | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | Concava | Convexa | Irregular | Linear | Colinas | Crista | Glacis | LLVA | VcoIFQ |
| PH-001 | 14 | 7,5 | 34,6 | 83,8 | 49 | 78 | 24,8 | 7,1 | 11,70 | 10,72 | 3,86 | 0,22 | 54,03 | 2,96 | 8,94 | 5,79 | 1,78 |
| PH-002 | 13 | 7,9 | 8,9 | 76,7 | 35 | 69 | 28,2 | 5,2 | 41,25 | 35,87 | 1,80 | 2,78 | 0,00 | 13,79 | 0,00 | 0,00 | 4,50 |
| PH-003 | 11 | 6,5 | 9,3 | 72,8 | 30 | 80 | 24,3 | 6,3 | 23,75 | 22,55 | 20,51 | 2,95 | 15,28 | 6,14 | 2,47 | 3,46 | 2,89 |
| PH-012 | 8 | 5,5 | 17,8 | 65,4 | 30 | 91 | 22,7 | 9,1 | 36,87 | 31,94 | 5,48 | 1,38 | 7,06 | 6,88 | 1,50 | 7,58 | 1,32 |
| PH-013 | 9 | 6,9 | 10,6 | 115 | 31 | 72 | 24,4 | 7 | 23,98 | 21,88 | 19,90 | 2,85 | 14,81 | 6,11 | 2,02 | 4,98 | 3,47 |
| PH-015 | 9 | 7,1 | 18,9 | 78,3 | 35 | 115 | 36,6 | 12 | 52,96 | 37,13 | 0,00 | 4,02 | 0,00 | 3,56 | 0,00 | 0,00 | 2,33 |
| PH-018 | 10 | 7,2 | 10,8 | 79,9 | 29 | 88 | 46,3 | 6,6 | 43,96 | 32,07 | 3,22 | 4,60 | 0,92 | 4,16 | 3,42 | 5,60 | 2,04 |
| PH-020 | 0 | 4,3 | 29,9 | 69,5 | 16 | 125 | 14,8 | 24 | 50,79 | 33,96 | 1,05 | 0,00 | 3,83 | 1,66 | 0,00 | 7,59 | 1,12 |
| PH-026 | 0 | 5,9 | 18,5 | 49,6 | 19 | 101 | 26 | 14 | 31,95 | 27,34 | 15,44 | 1,52 | 0,00 | 1,25 | 11,46 | 9,24 | 1,79 |
| PH-028 | 0 | 7,5 | 54,5 | 58,4 | 29 | 158 | 41,4 | 43 | 41,45 | 31,44 | 4,61 | 0,89 | 0,00 | 1,35 | 9,23 | 10,22 | 0,81 |
| PH-029 | 3 | 5,9 | 25,7 | 115 | 29 | 110 | 28,3 | 20 | 5,36 | 2,24 | 1,89 | 0,23 | 39,09 | 1,05 | 27,44 | 18,81 | 3,89 |
| PH-030 | 0 | 5,7 | 49,7 | 57,4 | 26 | 129 | 24,5 | 35 | 20,73 | 15,60 | 32,44 | 0,61 | 7,90 | 1,15 | 2,86 | 17,34 | 1,37 |
| PH-034 | 4 | 5 | 10,1 | 52,6 | 20 | 74 | 19,2 | 9,1 | 24,05 | 14,48 | 8,67 | 0,00 | 0,00 | 1,05 | 33,93 | 15,57 | 2,26 |
| PH-037 | 3 | 4,6 | 12,3 | 51,3 | 19 | 71 | 24,6 | 8,8 | 18,07 | 18,10 | 7,35 | 1,55 | 19,49 | 2,80 | 11,23 | 18,33 | 3,09 |

FONTE: Arquivo do autor

TABELA 5b – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUANTITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E FORMAS GRUPO DE ROCHAS PARA O ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

| Amostras | Conteúdo residual de metais pesados (mg/kg) | | | | | | | | Coberta (%) de Grupo de Rochas | | |
|----------|---|-----|------|------|----|-----|------|-----|--------------------------------|------------|--------------|
| | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | Qal | Sedimentar | Metamórficas |
| PH-001 | 14 | 7,5 | 34,6 | 83,8 | 49 | 78 | 24,8 | 7,1 | 5,70 | 75 | 19,36 |
| PH-002 | 13 | 7,9 | 8,9 | 76,7 | 35 | 69 | 28,2 | 5,2 | 0,10 | 0 | 99,89 |
| PH-003 | 11 | 6,5 | 9,3 | 72,8 | 30 | 80 | 24,3 | 6,3 | 3,24 | 21 | 76,07 |
| PH-012 | 8 | 5,5 | 17,8 | 65,4 | 30 | 91 | 22,7 | 9,1 | 5,84 | 13 | 81,36 |
| PH-013 | 9 | 6,9 | 10,6 | 115 | 31 | 72 | 24,4 | 7 | 4,50 | 20 | 75,94 |
| PH-015 | 9 | 7,1 | 18,9 | 78,3 | 35 | 115 | 36,6 | 12 | 0,10 | 0 | 99,80 |
| PH-018 | 10 | 7,2 | 10,8 | 79,9 | 29 | 88 | 46,3 | 6,6 | 10,00 | 0 | 89,80 |
| PH-020 | 0 | 4,3 | 29,9 | 69,5 | 16 | 125 | 14,8 | 24 | 8,09 | 4 | 88,30 |
| PH-026 | 0 | 5,9 | 18,5 | 49,6 | 19 | 101 | 26 | 14 | 19,92 | 9 | 71,15 |
| PH-028 | 0 | 7,5 | 54,5 | 58,4 | 29 | 158 | 41,4 | 43 | 18,45 | 5 | 76,64 |
| PH-029 | 3 | 5,9 | 25,7 | 115 | 29 | 110 | 28,3 | 20 | 42,74 | 44 | 8,77 |
| PH-030 | 0 | 5,7 | 49,7 | 57,4 | 26 | 129 | 24,5 | 35 | 17,09 | 45 | 38,27 |
| PH-034 | 4 | 5 | 10,1 | 52,6 | 20 | 74 | 19,2 | 9,1 | 47,53 | 0 | 52,48 |
| PH-037 | 3 | 4,6 | 12,3 | 51,3 | 19 | 71 | 24,6 | 8,8 | 28,15 | 22 | 49,58 |

FONTE: Arquivo do autor

QUADRO 4a – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E FORMAS DE RELEVO PARA O ANALISE DE CORRESPONDENCIAS MULTIPLEX EN DADOS DE METAIS PESADOS

| Amostras | Categorias de Conteúdo residual de metais pesados (mg/kg) | | | | | | | | Categorias de Coberta (%) de Formas de Relevo | | | | | | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | Cancava | Convexa | Irregular | Linear | Colinas | Crista | Glacis | LLVA | VcoIFQ |
| PH-001 | Alto | Alto | Medio | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Baixo |
| PH-002 | Alto | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Alto | Alto | Muito Baixo | Moderado | Muito Baixo | Moderado | Muito Baixo | Muito Baixo | Alto |
| PH-003 | Medio | Medio | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo |
| PH-012 | Medio | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Alto | Alto | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo |
| PH-013 | Medio | Medio | Muito Baixo | Alto | Medio | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Moderado |
| PH-015 | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Medio | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto | Muito Alto | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo |
| PH-018 | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo | Muito Alto | Alto | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo |
| PH-020 | Nulo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Medio | Muito Baixo | Baixo | Muito Alto | Alto | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo |
| PH-026 | Nulo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Alto | Moderado | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Moderado | Muito Baixo |
| PH-028 | Nulo | Alto | Alto | Baixo | Alto | Alto | Alto | Alto | Muito Alto | Alto | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Moderado | Muito Baixo |
| PH-029 | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Alto | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo | Alto | Alto | Alto |
| PH-030 | Nulo | Baixo | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Baixo | Alto | Moderado | Baixo | Alto | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo |
| PH-034 | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Moderado | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Alto | Alto | Baixo |
| PH-037 | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Moderado | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Moderado | Muito Baixo | Baixo | Alto | Moderado |

FONTE: Arquivo do autor

QUADRO 4b – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUALITATIVOS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E GRUPO DE ROCHAS PARA O ANALISE DE CORRESPONDENCIAS MULTIPLEX EN DADOS DE METAIS PESADOS

| Amostras | Categorias de Conteúdo residual de metais pesados (mg/kg) | | | | | | | | Coberta (%) de Grupo de Rochas | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | Qal | Sedimentar | Metamórficas |
| PH-001 | Alto | Alto | Medio | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto | Muito Baixo |
| PH-002 | Alto | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto |
| PH-003 | Medio | Medio | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Moderado | Alto |
| PH-012 | Medio | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Alto |
| PH-013 | Medio | Medio | Muito Baixo | Alto | Medio | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Baixo | Moderado | Alto |
| PH-015 | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Medio | Medio | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto |
| PH-018 | Medio | Alto | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Alto | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Alto |
| PH-020 | Nulo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Medio | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Muito Alto |
| PH-026 | Nulo | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Muito Baixo | Moderado | Baixo | Alto |
| PH-028 | Nulo | Alto | Alto | Baixo | Alto | Alto | Alto | Alto | Moderado | Baixo | Alto |
| PH-029 | Muito Baixo | Baixo | Baixo | Alto | Baixo | Baixo | Baixo | Baixo | Muito Alto | Alto | Muito Baixo |
| PH-030 | Nulo | Baixo | Alto | Muito Baixo | Baixo | Medio | Baixo | Alto | Moderado | Alto | Baixo |
| PH-034 | Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Alto | Muito Baixo | Moderado |
| PH-037 | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Muito Baixo | Baixo | Muito Baixo | Alto | Moderado | Moderado |

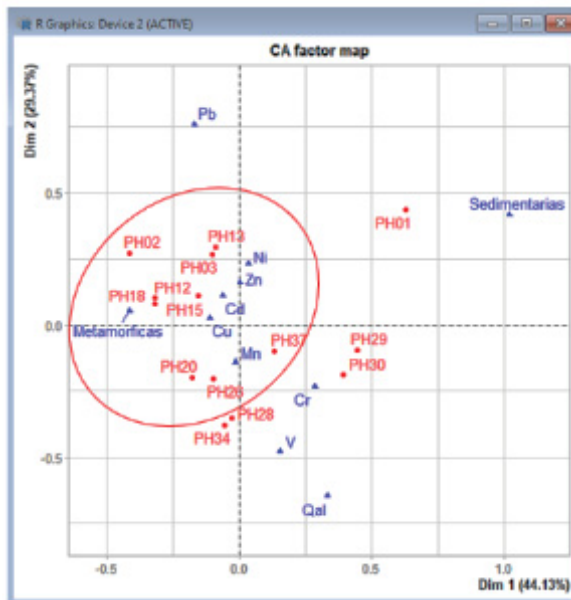
FONTE: Arquivo do autor

Os resultados permitem mostrar que a região tem dois setores de máxima concentração de metais pesados, os quais coincidem com os canais Tipo B, os quais são canais meandriformes com baixa sinuosidade com margens assimétrica bem definidas, além disso, foi identificada as maiores concentrações de metais pesados nas áreas com predomínio de vertentes côncavas nas áreas de captação, o que se traduz em termos físicos que o acarreo e sedimentação de metais pesados que entram na rede fluvial, são potencializados pelas características geomorfológicas das feições das vertentes (encostas) e dos canais, e que podem representar uma ameaça potencial à saúde humana, devido à concentração de poluentes nos sedimentos do leito do rio.

De acordo com os resultados obtidos na Análise de Correspondência, observa-se uma alta correlação entre o tipo de rochas xistosas e ígneas das formações Aroa e Nirgua predominantes nas áreas de captação das amostras de sedimento e as concentrações de metais pesados, principalmente Ni, Zn, Cd, Cu e Mn (Gráfico 11).

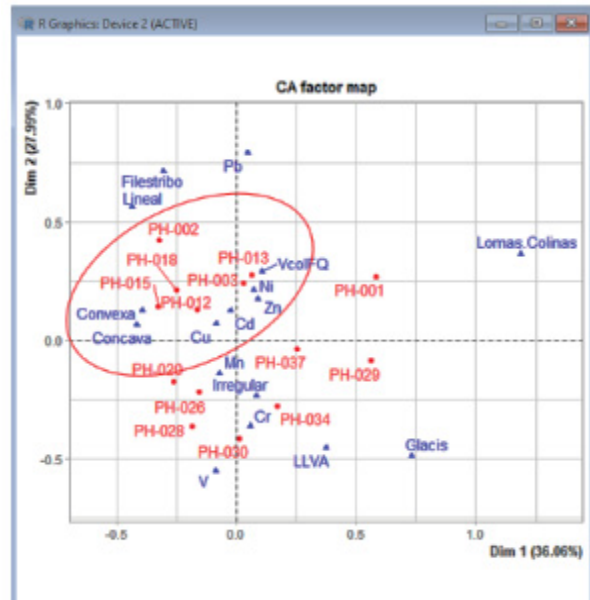
Da mesma forma, existe uma forte correspondência entre os tipos de encostas côncavas e convexas com altas concentrações dos mesmos elementos, o que se traduz em uma alta dependência do processo de modelagem de xisto com a formação de áreas de contribuição efetiva para desvio e transporte de metais pesados, exatamente porque as encostas côncavas são as formas que tendem a acumular mais umidade, ela é prolongada pelo tempo de reação química durante os processos de intemperismo das formações geológicas da área de estudo (Gráfico 12).3

GRÁFICO 11: AC ENTRE O TIPO DE ROCHA E A CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS



FONTE: Arquivo do autor

GRÁFICO 12 -AC ENTRE O TIPO DE RELEVO A CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS

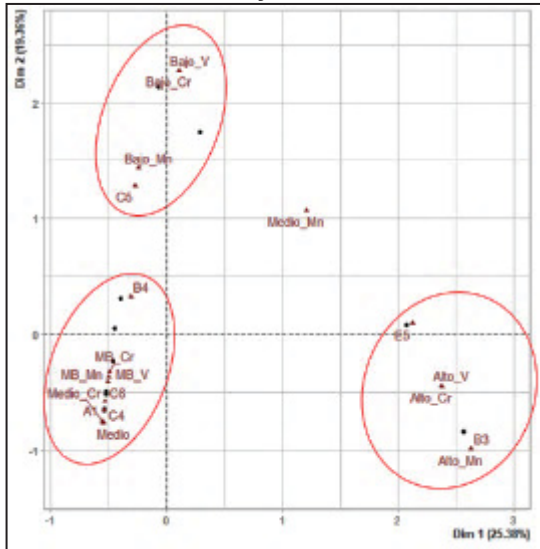


FONTE: Arquivo do autor

Das relações obtidas pela Análise de Correspondência Multiplex (ACM) entre o tipo de canal e as quantidades residuais de metais pesados determinados nos sedimentos de fundo do rio Aroa, observa-se que nos canais tipo B4, C4 e C6 existem concentrações muito baixas de cromo (Cr), vanádio (V) e manganês (Mn) e no canal tipo C5 baixas concentrações. De modo distinto, os canais tipo B3 e E5 mostram alta correspondência com altos valores de vanádio (V), cromo (Cr) e manganês (Mn), que por sua vez mostra uma alta correlação inter elementar entre esses três elementos químicos (Gráfico 13). Outro grupo de metais com alta correlação é composto por chumbo (Pb), níquel (Ni) e cádmio (Cd) que na área de estudo apresentam comportamento semelhante, neste caso nos canais tipo B3, B4, C5, C6 e E5, as concentrações desse grupo de metais são muito baixas, enquanto no canal A3 são

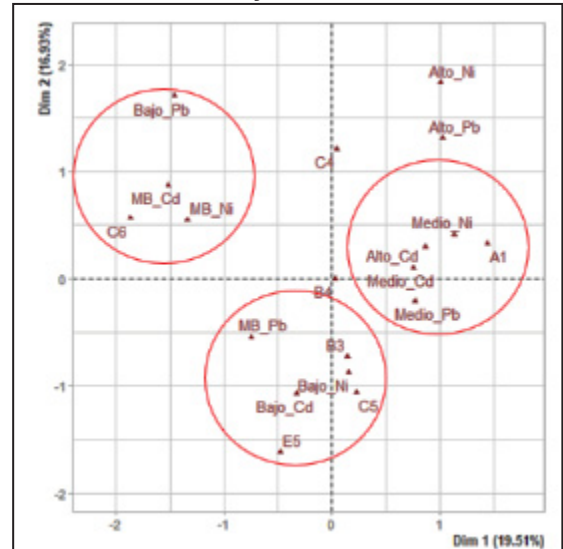
altas a médias, o que deve estar mais associado à cobertura geológica do que ao próprio tipo de canal (Gráfico 14).

GRÁFICO 13: ACM ENTRE TIPO DE CANAIS E CONCENTRAÇÃO DE MN, CR E V



FONTE: Arquivo do autor

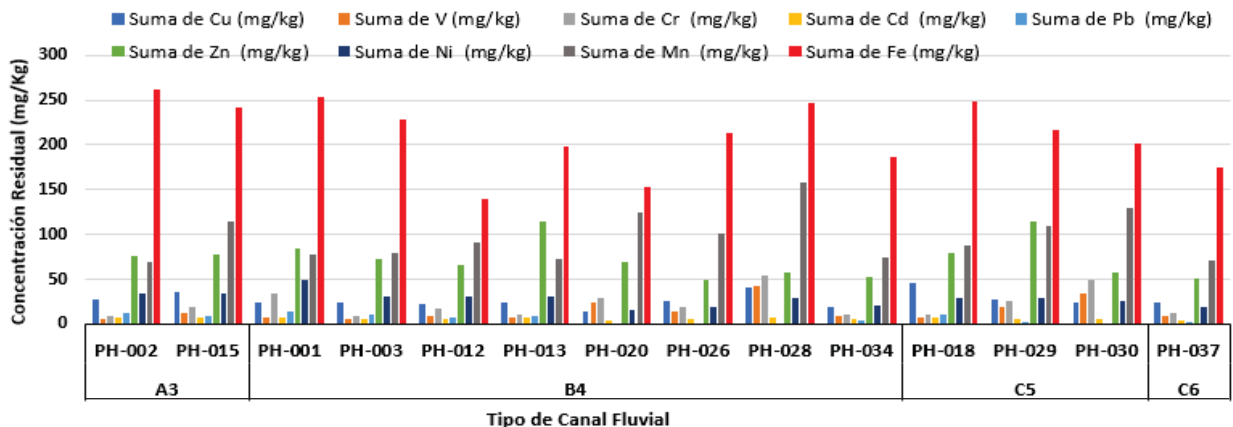
GRÁFICO 14: ACM ENTRE TIPO DE CANAIS E CONCENTRAÇÃO DE PB, CD E NI



FONTE: Arquivo do autor

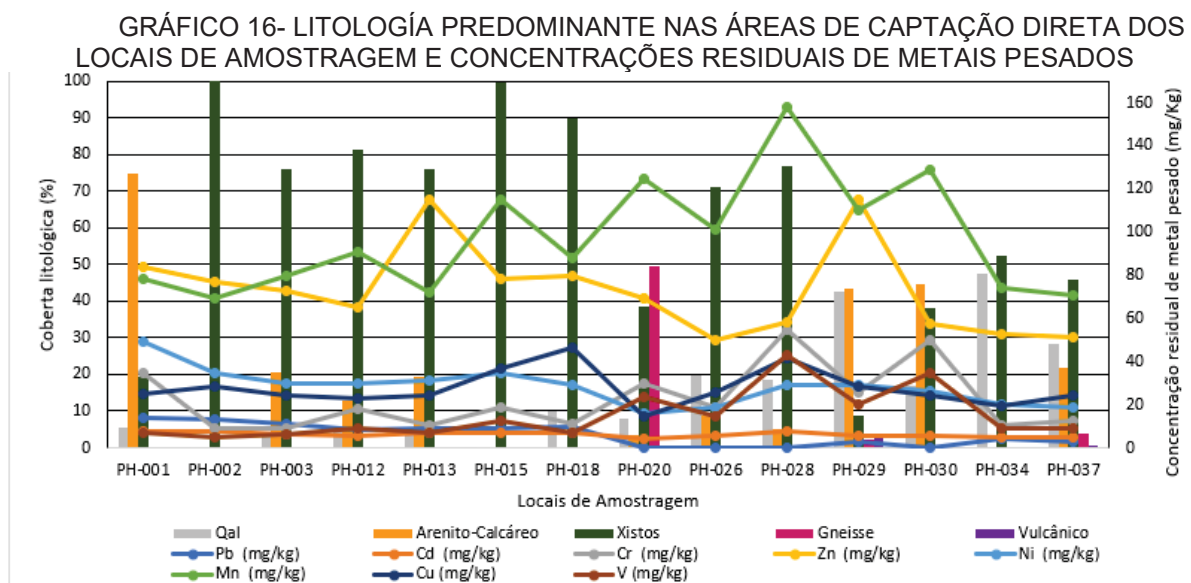
No Gráfico 15, observam-se os valores residuais de metais pesados segundo o tipo de canal fluvial, no que se destacam as concentrações de cobre, manganês e zinco, em todos os locais de amostragem, com especial atenção nos canais Tipo A3, B4 e C5, que exibem altas concentrações desses elementos. No caso do ferro (diminuídos seus valores em 100 pontos para efeitos do gráfico), apresenta uma alta concentração em todas as amostras de sedimentos pelo que não é um bom indicador da variabilidade e correspondência com o tipo de canal.

GRÁFICO 15. TIPO DE CANAIS DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM E CONCENTRAÇÕES RESIDUAIS DE METAIS PESADOS NO RIO AROA



FONTE: Arquivo do autor.

Em concordância com a tipologia dos canais e o conteúdo de elementos químicos, é importante destacar a relação e influência da distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo na que os canais tipo A3, B4 e C5 do leito de grãos grossos que variam desde seixo muito grosso até areias grossas e meias, são os que exibem as maiores concentrações de metais pesados. De igual maneira, a influência das rochas expostas na área de estudo, onde os xistos das formações Aroa e Nirgua têm forte relação com as concentrações observadas de Mn, Zn e Cu, ao igual como ocorre nos gnaisses do Complexo Yaritagua, GRÁFICO 16.



FONTE: Arquivo do autor.

Observadas as relações espaciais entre a distribuição granulométrica e a concentração das espécies geoquímicas, as quais conformam três associações interelementares que formam grupos entre os metais Cr – V- Mn, Ni -Cd – Pb e Cu – Zn, cujos padrões coincidem com os grupos texturais predominantes, assim como com a tipologia de canal A3, B4 e C5; procede-se à verificação de tais relações de correspondências como emprego de métodos estatísticos. Neste sentido, os atributos quantitativos relativos à forma de canal, foram codificados e transformados em dados quantitativos (Tabela 6) e assim aplicar os métodos multivariados de Análises de Componentes Principais (ACP) e Análises de Correspondências (AC).

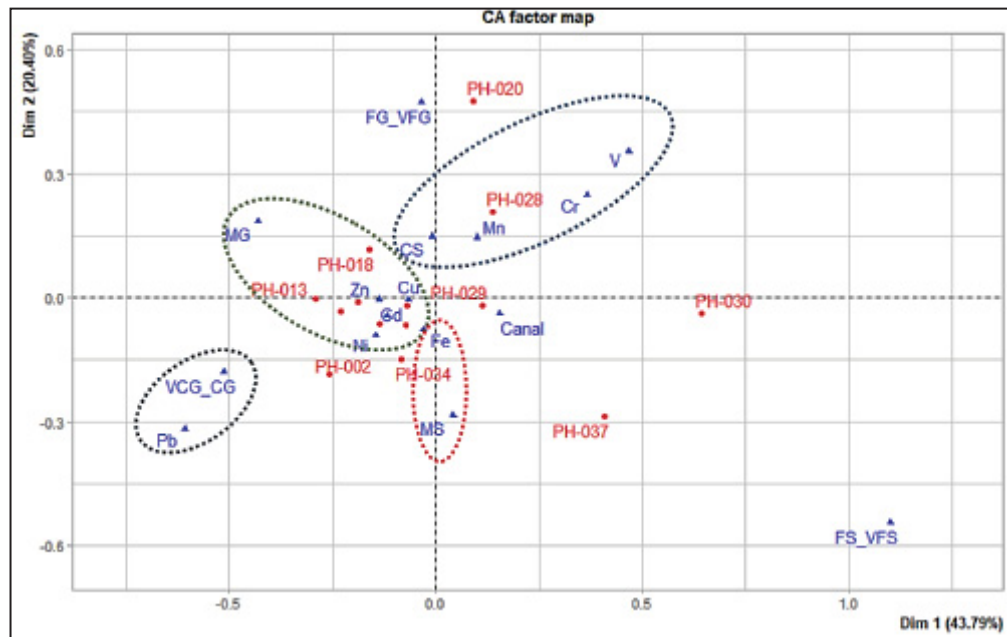
TABELA 6 – MATRIZ DE ATRIBUTOS QUANTITATIVOS PARA O ANALISE DE CORRESPONDENCIA E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM DADOS GRANULOMÉTRICOS

| Mostras | Conteúdo residual de metais pesados | | | | | | | | Canal | Codigo Canal | Fração granulométrica dos locais de amostragem | | | | | | | | Altitude | |
|---------|-------------------------------------|-----|------|------|------|-----|----|----|-------|--------------|--|---------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-----------|----------|-------------|
| | Pb | Cd | Cr | Zn | Ni | Mn | Cu | V | | | V COARSE GRAVEL | COARSE GRAVEL | MEDIUM GRAVEL | FINE GRAVEL | V FINE GRAVEL | COARS E SAND | MEDIUM SAND | FINE SAND | | V FINE SAND |
| | PH-001 | 14 | 7,5 | 34,6 | 83,8 | 49 | 78 | 25 | | | 7 | B4 | 24 | 16,2% | 14,6% | 11,4% | 0,0% | 16,3% | | 16,7% |
| PH-002 | 13 | 7,9 | 8,9 | 76,7 | 35 | 69 | 28 | 5 | A3 | 13 | 33,9% | 14,8% | 9,3% | 0,0% | 11,9% | 11,4% | 10,8% | 5,7% | 2,2% | 520 |
| PH-003 | 11 | 6,5 | 9,3 | 72,8 | 30 | 80 | 24 | 6 | B4 | 24 | 24,2% | 15,3% | 12,4% | 0,0% | 14,8% | 18,1% | 10,2% | 3,6% | 1,4% | 306 |
| PH-012 | 8 | 5,5 | 17,8 | 65,4 | 30 | 91 | 23 | 9 | B4 | 24 | 23,9% | 12,9% | 5,5% | 0,0% | 16,2% | 16,7% | 12,6% | 11,0% | 1,2% | 157 |
| PH-013 | 9 | 6,9 | 10,6 | 115 | 31 | 72 | 24 | 7 | B4 | 24 | 25,7% | 13,8% | 18,2% | 0,0% | 15,9% | 16,7% | 8,0% | 1,7% | 0,0% | 158 |
| PH-015 | 9 | 7,1 | 18,9 | 78,3 | 35 | 115 | 37 | 12 | A3 | 13 | 37,9% | 15,4% | 9,4% | 0,0% | 13,0% | 14,3% | 5,2% | 3,7% | 1,1% | 350 |
| PH-018 | 10 | 7,2 | 10,8 | 79,9 | 29 | 88 | 46 | 7 | C5 | 35 | 3,5% | 11,5% | 19,9% | 22,6% | 20,8% | 16,8% | 3,3% | 1,2% | 0,5% | 138 |
| PH-020 | -3 | 4,3 | 29,9 | 69,5 | 16 | 125 | 15 | 24 | B4 | 24 | 0,0% | 0,0% | 11,4% | 31,2% | 26,8% | 26,8% | 2,5% | 0,8% | 0,5% | 60 |
| PH-026 | -3 | 5,9 | 18,5 | 49,6 | 19 | 101 | 26 | 14 | B4 | 24 | 23,5% | 18,1% | 12,2% | 0,0% | 12,0% | 15,8% | 11,6% | 3,3% | 3,5% | 77 |
| PH-028 | -3 | 7,5 | 54,5 | 58,4 | 29 | 158 | 41 | 43 | B4 | 24 | 21,3% | 15,1% | 11,2% | 0,0% | 14,2% | 16,2% | 11,2% | 4,0% | 6,8% | 87 |
| PH-029 | 3 | 5,9 | 25,7 | 115 | 29 | 110 | 28 | 20 | C5 | 35 | 5,60% | 10,2% | 9,4% | 0,0% | 8,7% | 26,4% | 15,6% | 12,9% | 11,2% | 51 |
| PH-030 | -3 | 5,7 | 49,7 | 57,4 | 26 | 129 | 25 | 35 | C5 | 35 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 11,8% | 13,6% | 10,1% | 19,7% | 44,8% | 54 |
| PH-034 | 4 | 5 | 10,1 | 52,6 | 20 | 74 | 19 | 9 | B4 | 24 | 20,3% | 14,8% | 11,7% | 0,0% | 14,2% | 10,5% | 16,3% | 7,8% | 4,4% | 126 |
| PH-037 | 3 | 4,6 | 12,3 | 51,3 | 19 | 71 | 25 | 9 | C6 | 36 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 5,6% | 13,1% | 14,2% | 12,8% | 21,6% | 32,7% | 31 |

FONTE: Arquivo do autor

De acordo com os resultados obtidos nas análises de correspondências (Gráfico 17), observa-se uma correlação positiva entre a fração granulométrica predominante nas áreas de captação das amostras de sedimento e as concentrações residuais de metais pesados. Neste sentido, os sedimentos predominantemente de seixo muito grossos (*Very Coarse Gravel* = VCG) e seixo grossos (*Coarse Gravel* = CG) têm correspondência com a presença de chumbo (Pb). A diferença do grupo conformado pelo cádmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu) e zinco (Zn), quem exibem forte vinculação como seixos médios (*Medio Gravel* = MG). Nesta mesma ordem de ideias, as areias grossas (*Coarse Sand* = CS) mostram correspondência como grupo de metais com alta relação inter - elemental conformado pelo manganês (Mn), cromo (Cr) e vanádio (V) das texturas de areias grossas e, as areias meias (MS), tem estreita relação com a presença de ferro (Fe). Destaca-se que a proporção residual de ferro é alta em todos os locais de amostragem em comparação com as quantidades determinadas nos outros metais.

GRÁFICO 17. RESULTADO DO ANÁLISES DE CORRESPONDÊNCIAS.

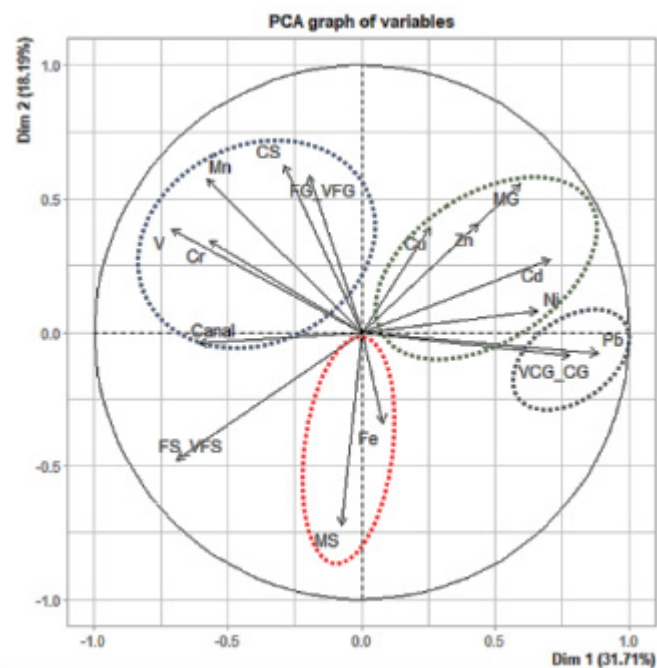


FONTE: Arquivo do autor.

Os resultados obtidos, ao aplicar as análises de componentes principais, evidenciam similitude entre a distribuição de metais pesados e a forma dos canais fluviais com suas respectivas granulometrias. Do mesmo modo, evidencia iguais relações interelementares entre os grupos de metais pesados (Gráfico 18) obtidos no Análise de Correspondência.

Quanto à relação entre o tipo de canal e as quantidades residuais de metais determinados nos sedimentos de fundo do rio Aroa, observou-se que nos canais tipo B4, C5 e C6, existem as maiores concentrações destes elementos, com uma mínima diminuição nos canais tipo A3. Essas diferenças nos conteúdos de elementos químicos não é uma simples resposta à forma do canal, pois depende também da conjugação de outros fatores como a cobertura geológica predominante na área de captação dos locais de amostragem, assim como as formas de relevo dominantes nas sub-bacias rio acima. Não obstante, os resultados sugerem que existe um padrão de canal que favorece uma maior retenção de metais pesados nos sedimentos do rio, correspondente com o tipo de canal Tipo B4. Neste particular, é importante destacar que, em ambos os métodos de determinação de relações multivariadas, existe correlação entre os atributos granulométricos presentes no fundo dos canais fluviais com as determinações de metais pesados estudados por Cuenca (2017).

GRÁFICO 18. RESULTADO DAS ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS.



FONTE: Arquivo do autor.

CONCLUSÕES

A concentração de metais pesados nos sedimentos do rio Aroa tem forte correlação com a natureza das rochas metamórficas das formações Aroa, Nirgua e Yaritagua, da mesma forma que se observa a influência das rochas vulcânicas do complexo Yumare que se associa com a formação La Zurda e San Quintín, tudo isso foi corroborado com a análise de correspondência. Enquanto que, a concentração de carbono inorgânico, fósforo e nitrogênio nos sedimentos do rio Aroa tem forte correlação com a natureza das rochas metamórficas das formações Aroa e Nirgua. Assim como das rochas sedimentarias das formações Capadare, San Lorenzo e Agua Linda, respectivamente.

A modelagem da paisagem montanhosa, com a conformação de encostas côncavas nos relevos de substrato xistosos têm alta incidência na captação e posterior mobilização de metais pesados, fósforo e carbono inorgânico em direção à rede fluvial do rio Aroa, seguida das encostas convexas e relevo de morros. Destaca-se o fato de que a jusante não foi obtida um maior efeito cumulativo nas concentrações de metais pesados e de fósforo, mas sim de nitrogênio, o que sugere que o controle fluvial do tipo de canal é importante.

O papel da cobertura da terra nas maiores concentrações de NT não tem relação direta com a potencial contribuição de águas domésticas, agrícolas, animais (uso de fertilizantes e pesticidas) devido a que a floresta mostra recuperação nestes oito anos de abandono das atividades produtivas do setor agrícola, isto derivado pela precariedade na economia pela situação política da Venezuela.

Além disso, a geoacumulação de metais pesados, fósforo e carbono inorgânico não é linear, mas depende das características geológicas e geomorfológicas de cada área de captação em que as amostras de sedimento foram extraídas. Assim as formas de canal fluvial cujas características impõem um controle no acúmulo de maiores quantidades de metais pesados residuais nos sedimentos são os do Tipo B4. No caso do resultado no acúmulo de maiores quantidades de fósforo, nitrogênio e carbono nos sedimentos, os canais do Tipo B4 e B5, C4, C5 e D4 são os que mais retem.

A modelagem da paisagem fluvial e as suas características granulométricas do fundo, constituem uma valiosa ferramenta para demonstrar que a geomorfologia tem alta incidência na captação de metais pesados nos diferentes setores da bacia do rio Aroa. Destaca-se o fato que as formas de canal fluvial cujas características impõem controle na acumulação das maiores quantidades residual de metais pesados correspondem definitivamente com os Tipos B4, C5 e C6.

REFERÊNCIAS

- Arnold, R. **Apuntes de agrología**. Ministério de Obras Públicas (MOP), documento inédito. Barquisimeto, Venezuela. 1968.
- ARTAXO, P. (2014). Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. *Revista Usp*, (103), 13-24.
- AUDEMARD, F. **Paleoseismicity studies on the Oca-Ancón fault system, northwestern Venezuela**. Tectonophysics. Volume 259, Issues 1–3, 30 June 1996, Pages 67-80. 1992.
- AUDEMARD, F. ROMERO, G. RENDON, H. CANO, V. **Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions**. *Earth-Science Reviews* 69 181–233, 2005
- BAUTISTA, F. **Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados**. México. Ediciones de Universidad Autónoma de Yucatán, 101p., 1999.
- BASU, NB.; DESTOUNI, G.; JAWITZ, JW.; THOMPSON, SE,; LOUKINOVAN, V,; DARRAC, QA. **Nutrient loads exported from managed catchments reveal emergent biogeochemical stationarity**. *Geophysical Research, USA*, v. 37, n. L23404, p. 1-5. 2010.
- BELLIZZIA A. & D. RODRÍGUEZ G. **Guía de la excursión a la región de Duaca-Barquisimeto-Bobare**. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(16): 284-309. 1967.
- BELLIZZIA A. & D. RODRÍGUEZ. G. **Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo**. *Bol. Geol.*, MMH, Caracas, 9(18): 515-563. 1968.
- BELLIZZIA A., D. RODRÍGUEZ G. & E. ZAMBRANO. **Mapa geológico de la región de Barquisimeto-Urachiche-RíoTocuyo, estados Lara y Yaracuy**. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. Mapa escala 1:100.000. Inédito. (Este mapa no fue publicado, pero debió acompañar el trabajo de: BELLIZZIA A. & D. RODRÍGUEZ-G. 1972. Geología de la región Barquisimeto-Urachiche-Río Tocuyo (Resumen). *Mem.IV Cong. Geol. Venezolano*, Caracas, noviembre 1969. *Bol.Geol.*, Caracas, *Public. Esp.* 5, 1: 93-95). Mapa reproducido en A. BELLIZZIA, D. RODRÍGUEZ, E. ZAMBRANO & J. BUSHMAN. 2012. Mapas geológicos de la región centro occidental de Venezuela. *Rev. Venezolana Cienc. Tierra (Geos)*, UCV, Caracas, 43: 33-34.
- BLOTT, S. **A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer**. Kenneth Pye Associates Ltd. Crowthorne Enterprise Centre Old Wokingham Road Crowthorne. UK. 2008.
- BRIDGES, E. M. RUHE, R. **Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology**. Boston, Massachusetts: Houghton Mifflin. 246 pp. *Progress in Physical Geography*, v. 1, n. 2, p. 369-371, 1977.

CAMPBELL, N; REECE J. **Biología**. Séptima edición. Editorial medica panamericana. Espanha. 1500 pag. 2007.

CASANOVA, EDUARDO. **Introducción a la Ciencia del Suelo**. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, p. 482. 2005.

CHARLES, R; DE OLIVEIRA, R; SÃO JOSE, V. **Enfoque sistémico del fenómeno de deforestación en Haití, una relación aparente con catástrofes naturales**. Revista geográfica de América Central, ISSN-e 2215-2563, ISSN 1011-484X, Vol. 2, N° 65, 2020 págs. 239-255. 2020.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio** (Editorial Ariel). 2008.

COLÍN, B. **Química ambiental**. España: Editorial Reverte S.A., 373p., 2001.

COLOTTI, E. **La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida**. Terra Nueva Etapa, Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela. vol. XV, núm. 24, pp. 99-116, 1999.

CONACHER, A. J., & DALRYMPLE, J. B. (1977). **The nine-unit landscape model: an approach to pedogeomorphic research**. *Geoderma* 18, 1-154. 1977.

CUENCA, RONALD. **Estudio geoquímico de metales pesados presentes en la fracción limo-arcilla asociada a los sedimentos de fondo de la cuenca del río Aroa, Venezuela**. 2017. 127 f. Tese (Licenciatura en Geoquímica) Escuela de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2017.

DALE M. ROBERTSON, D; SAAD, D; GLENN, A; BENOY, I; VOUK, G; SCHWARZ, M; LAITTA, M. **Phosphorus and Nitrogen Transport in the Binational Great Lakes Basin Estimated Using SPARROW Watershed Models**. First published: 03 September 2019.

DOBOS, E., MICHELI, E., BAUMGARDNER, M. F., BIEHL, L., & HELT, T. **Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping**. *Geoderma* 97(3-4), 367-391. 2000.

DOMÍNGUEZ LÓPEZ, A (2015). **Análisis geoestadístico de los niveles de metales pesados en suelos de Asturias**. Universidad de Oviedo. Trabajo de Grado Master en Geología. España, 2015.

DOYLE, M.; STANLEY, E.H.; HARBOR, J. **Hydrogeomorphic controls on phosphorus retention in streams**. *Water Resources Research, USA*, v.39, n. 6, p. 1147. 2003

DU LAING, G.; DE GRAUWE, P.; MOORS, W.; VAN DECASTEELE, B.; LESAGE, E.; MEERS, E.; TACK, FMG.; VERLOO, MG. **Factors affecting metal concentrations**

in the upper sediment layer of intertidal reedbeds along the river Scheldt. Journal Environment Monitoring, Great Britain, n. 9, p. 449–455. 2007.

DU LAING, G.; RINKLEBEB, J.; VAN DECASTEELE, B.; MEERSA, E.; TACKA, F. **Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review.** Science of the Total Environment, Belgium, n. 407, p. 3972 – 3985. 2009.

FASSBENDER, H. e BORNEMISZA, E. **Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina.** (2a Ed.). Editorial IICA. 420 p. 1987.

FAO. **Guía para la descripción de suelos.** Cuarta ed. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. p. 111. 2009.

FOLK, R. I. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary – rock nomenclature.** USA. Journal of Geology, 62 (4), p.344-59. 1954.

FOLK, R. I.; WARD, W. C. **Brazos River bar; a study in the significance of grain size parameters.** USA. Journal of Sedimentary Petrology, 27 (1), p. 394-416. 1957.

FORMAN, R. T; GODRON, M. **Landscape ecology.** New York: John Wiley. 1986.

FLORES, F; JIMÉNEZ, A; FLORES, M; GONZALEZ, O. **Analysis of the land use and cover changes in the metropolitan area of Tepic-Xalisco (1973–2015) through Landsat images.** Journal of Sustainability, Volume 10 (6). 2015.

FRANZEN, DAVID W., et al. **Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management.** Agronomy Journal 94.2 p. 381-389. 2002.

FUJIMOTO, M.; OHTE, N.; TANI, M. **Effects of hillslope topography on hydrological responses in a weathered granite mountain: comparison of runoff properties between the valley-head and the side slope, Japan.** Hydrological Processes, USA, n.22, p. 2581–2594. 2008.

FUJIMOTO, M.; OHTE, N †.; TANI, M. **Effects of hillslope topography on runoff response in a small catchment in the Fudoji Experimental Watershed, central Japan.** Hydrological Processes, USA, n. 25, p.1874–1886. 2011.

FUNVISIS. Mapa de Fallas Cuaternarias de Venezuela. U. S. Geological Survey (USGS) y la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas. 2000

FUNVISIS. Mapa Neotectónico de Venezuela. Departamento de Ciencias de la Tierra. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas. 1993.

GARZÓN, J; CÁRDENAS E. **Emisiones antropogénicas de amoniaco, nitratos y óxido nitroso: Compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano.** Revista Médica de Veterinaria y Zootecnología. V. 60 (II), Mayo – Agosto 2013: 121 -138. 2013.

GONZÁLEZ, F. **Introducción A La Geoquímica**. Secretaría General de los Estados Americanos. Washington, D.C. 139p., 1982.

GONZÁLEZ, E., TORNERO, M., CRUZ, Y., BONILLA, N. **Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano**. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 25(1), 15-22., 2009.

HENGL, T. **Pedometric mapping. Bridging the gaps between conventional and pedometric approaches**. ITC Dissertation 101. Enschede, The Netherlands. 2003.

HENGL, T.; MACMILLAN, R. A. **Geomorphometry: a key to landscape mapping and modelling**. Developments in Soil Science, v. 33, p. 433-460, 2009.

HUBER, O; ALARCON, C. **Mapa de vegetación de Venezuela**. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas. 1988.

HUTCHINSON, M. F., & GALLANT, J. C. **Digital elevation models and representation of terrain shape. Terrain analysis: principles and applications**, p. 29-50, 2000.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advanced course**. Madison: University of Wisconsin, 2005.

JAIMES, E; ELIZALDE, G. **Metodología para la caracterización de la forma del terreno en sistemas pedo geomorfológicos montañosos**. Revista Agricultura Andina, Venezuela. Vol. 6, p. 65-84.1991.

JAIMES, M. **Estudio geológico-petrográfico de la zona de Crucito – Albarico - Carabobo, estado Yaracuy**. Tesis (Ingeniero Geología) Escuela de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 108p. 2011.

JOHNSON, L.B.; RICHARDS, C.; HOST, G.E.; ARTHUR, J.W. **Land scape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems**. Freshwater Biology, USA, n. 37, p.193–208. 1997.

JORDAN, TE.; CORRELL, D.L.; WELLER, D.E. **Relating nutrient discharges from watersheds to land use and stream flow variability**. Water Resources Research, USA, v.33, n. 11, p.2579-2590. 1997.

KOHLER, HEINZ CHARLES. **A Escala na Análise Geomorfológica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº1, p. 21-33. 2001.

KJELDAHL, J. **Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern**. Zeitschrift Für Analytische Chemie, 22(1), 366–382. 1883. doi:10.1007/bf01338151

KRUMBEIN, W.C. and PETTIJOHN, F.J. **Manual of Sedimentary Petrography**. Appleton Century Crofts, New York, 549 p. 1938.

LIN, L.; DAVIS, L.; COHEN, S.; CHAPMAN, E.; EDMONDS, J. **The influence of geomorphic unit spatial distribution on nitrogen retention and removal in a large river.** Ecological Modelling. USA, n. 336, p. 26-35. 2016.

LOZANO, F; MUSSARI, A (2007). **Geología de los macizos ígneo-metamórficos del norte de Yumare, estados Yaracuy y Falcón.** Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 171 p. 2007.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. **Landforms and landform elements in geomorphometry.** Developments in Soil Science, v. 33, p. 227-254, 2009.

MARTÍ, E.; SABATER, F. **High variability in temporal and spatial nutrient retention in Mediterranean streams.** Ecological Society of America, USA, Ecology v, 77, n. 3, p. 854–869. 1996.

MCCUNE, B.; GRACE, JB. **Analysis of Ecological Communities.** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, USA, n. 289, p. 303 – 305. 2003.

MANAHAN, S. **Introducción a la química ambiental.** España, REVERTÉ EDICIONES, S.A. 620pag. 2007.

MANAHAM, S. **Frontmatter: Fundamentals of Environmental Chemistry.** USA. Boca Raton: Editorial CRC Press LLC. 568 p. 2001.

MASON, B. **Principios de Geoquímica.** Barcelona. Editorial Omega. Segunda Edición, 333p., 1690.

MEDINA, L; CASTAÑEDA, J; FERMÍN, I; PÉREZ-CASTRESANA, G; LÓPEZ-MONROY, F. **Variación espacio temporal del caudal y el transporte de nutrientes en el río Manzanares.** Boletín Instituto Oceanográfico. Venezuela, 52 (2): 67-75. 2013.

MÉNDEZ, J. **Petrología.** Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas-Venezuela. 363 p., 2006.

MONROE, J. WICANDER R. Y POZO, M. **Geología dinámica y evolución de la tierra.** España. Paraninfo s.a. 4ta edición., 2008.

MONTGOMERY, D.R. **Process domains and the river continuum.** JAWRA. Journal of the American Water Resources Association, USA, v. 35, n. 2, p. 397–436. 1999.

MOORE, I.; GESSLER, G.; NIELSEN, A.; PETERSON, G. **Soil attribute prediction using terrain analysis.** Soil Science Society of America Journal, USA, n. 57, p. 443-452. 1993.

MUSOLFF, A.; SCHMIDT, C.; BENNY, S.; JAN, H.; FLECKENSTEIN, J. **Catchment controls on solute export.** Advances in Water Resources, Germany, n. 86, p. 133–146, 2015.

NELSON, A.; REUTER, H. **Soil projects.** Landform classification from EU Joint

Research Center. Institute for Environment and Sustainability. <http://eu-soils.jrc.ec.europa.eu/projects/landform>, 2012.

OLAYA, V. **Basic land-surface parameters**. Developments in Soil Science, Amsterdam: Elsevier, v. 33, p. 141-169, 2009.

OSTOS, M. **Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos**. Geos (Caracas) (30): 1-294. 1990.

PADRÓN, KARLY. **Estudio de la distribución espacial de carbono, nitrógeno, y fósforo en los sedimentos de fondo de la cuenca del río Aroa, Venezuela**. 2015. 94 f. Tese (Licenciatura en Geoquímica) – Escuela de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2015.

PRADO, RB.; NOVO, EML. **Modelagem do potencial de contribuição da bacia de drenagem para a poluição da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, São Paulo – Brasil**. Brazil Journal of Biology. Brasil, v.75, n.2, p.314-323. 2015.

PERRY, C. AND TAYLOR, K. **Environmental Sedimentology**. First edition. Blackwell Publishing. Singapore. 441 p., 2007.

PIKE, RICHARD J. **Geomorphometry-progress, practice, and prospect**. Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband, n. 101, p. 221-238, 1995.

PINTO, C. (1996). **Metodología para la elaboración de planes maestros de cuencas: marco conceptual**. Instituto de Promoción para la Gestión del Agua (IPROGA), Lima Perú, p.17-32., 1996.

PITNEY BOWES. **MapInfo Professional [software GIS]. Versión 10.0**. Pitney Bowes Software Inc. 2009

RAMÍREZ, M. **Caracterización geoquímica de los sólidos suspendidos de la cuenca baja del río Tocuyo y los sedimentos de sus zonas de influencia, estado Falcón**. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 109p., 2006.

RAYNER - CANHAM, G. **Química inorgánica descriptiva**. México: Editorial Prentice Hall. Second edition, 595p., 2000.

REPÚBLICA DE VENEZUELA. Gaceta Oficial N° 5.021 (Extraordinario) de fecha 18 de diciembre de 1995.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2021.

REDLANDS, CA. **ArcGIS [software GIS]. Versión 10.5**. Environmental Systems Research Institute, Inc., 2018.

RINKLEBE, J.; *Differenzierung Von Auenböden Der Mittleren Elbe und Quantifizierung des Einflusses von deren Bodenkennwerten auf die mikrobielle Biomasse und die Bodenenzymaktivitäten von b-Glucosidase, Protease und alkalischer Phosphatase*. 2004. 113 f. Tese (Ph.D). With English summary. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Germany, 2004.

RINKLEBE, J.; FRANKE, C.; NEUE, HU. **Aggregation of floodplain soils as an instrument for predicting concentrations of nutrients and pollutants**. Geoderma, Germany, n. 23, p.141-210, 2007.

ROBERTSON, DALE; SAAD, DAVID. **SPARROW Models Used to Understands Nutrient Sources in the Mississippi/Atchafalaya River Basin**. Journal of Environmental Quality, Technical Report, Landscape and Watershed Processes, June, 2014.

ROSGEN, DAVID. **A classification of natural rivers**. Wildland Hydrology, United State, Pagosa Springs, Colorado. Catena, n. 22, p. 169-199, 1994.

RUHE, R. V. **Elements of the soil landscape**. Madison. USA. 7th international Congress of Soil Science. Vol.4 pp.165-170. 1960.

SAAD, D.A., BENOY, G.A., AND ROBERTSON, D.M. **Estimates of long-term mean-annual nutrient loads considered for use in SPARROW models of the Midcontinental region of Canada and the United States, 2002 base year**. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2018-5051, p.14, 2018. <https://doi.org/10.3133/sir20185051>.

SCHLESINGER, William H.; ANDREWS, Jeffrey A. **Soil respiration and the global carbon cycle**. *Biogeochemistry*, v. 48, n. 1, p. 7-20, 2000.

SCHLESINGER, W. **Biogeoquímica, un análisis del cambio global**. Primera edición. Editorial Ariel. Barcelona. 554 p., 2000.

SCHWARZ, G.E., A.B. HOOS, R.B. ALEXANDER, AND R.A. SMITH. **“The SPARROW Surface Water-Quality Model: Theory, Application and User Documentation.”** U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Book 6, Chapter B3, Reston, VA, 2006.

SEKELY, A.C., D.J. MULLA, AND D.W. BAUER. **Streambank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River, Minnesota**. Journal of Soil Water Conservations, n. 57(5), p. 243-250, 2002.

SIEGEL, F. **Environmental Geochemistry of potentially toxic metals**. Berlin: Springer. First edition, 218p., 2002.

SLIVA, L.; WILLIAMS, D. **Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality**. Water Resources, Great Britain, v. 35, n. 14, p. 3462-3472. 2001.

SMALL, R. J. **The study of landforms**. A textbook of geomorphology. London:

Cambridge University Press. 1970.

STAFF SOIL SURVEY. **Soil Taxonomy**. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. US Department of Agriculture. Handbook 436p. Washington DC: US Gov Printing Office. 1999.

STRALHER, ARTHUR. **Geografía Física**. Ediciones Omega. Barcelona, España. 1985.

TARBUCK, E.J. Y LUTGENS, F.K. **Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología Física**. Octava edición. Editorial Prentice Hall. 686 p., 2005.

THOMBER, M. **The chemical mobility and transport of elements in the weathering environment** (Chapt. 1.5) en Butt, C. y Zeegers, H. (Eds). *Geochemistry in tropical and subtropical terrains*. Elsevier, 79-96p., 1992.

THOMPSON, SE.; BASU, NB.; LASCURAIN, J.; AUBENEAU, A.; RAO, P. **Relative dominance of hydrologic versus biogeochemical factors on solute export across impact gradients**. *Water Resources Research, USA*, n. 47, p.1-20, W00J5. 2011.

TRICART, Jean. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson. *Soil Science*, v. 100, n. 4, p. 300, 1965.

UCAB. **Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (Encovid-2020)**. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, 2020. Disponible em: <https://www.proyectoencovi.com/informe-interactivo-2019>

URBANI, F.; GRANDE, S.; GÓMEZ, A.; MENDI, D.; REÁTEGUI, W.; BAQUERO, M. **Descripción estratigráfica actualizada de algunas unidades geológicas de la región comprendida entre Carora y Cabo Codera, Venezuela**. *Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*. N. 47, 2015

USGS. **Geologic Shaded Relief Map of Venezuela**. United State Geological Survey. U.S Department of the Interior, UCV and FUNVISIS. 2005.

VARANKA, S.; HJORT, J.; LUOTO, M. **Geomorphological factors predict water quality in boreal rivers**. *Earth Surface Processes and Landforms, Finland*, n. 40, p. 1989-1999. 2015.

VENTURA, S.J. AND B.J. IRVIN. **Automated landform classification methods for soil-landscape studies**. *Terrain Analysis: Principles and Applications*, p. 267-294, 2000.

VOGEL, RM.; RUDOLPH, B.; HOOPER, R. **Probabilistic behavior of water-quality loads**. *Journal of Environmental Engineering, England*, n. 131, p. 1081–1089, 2005.

WATANABE, F. S., & OLSEN, S. R. **Test of an Ascorbic Acid Method for Determining Phosphorus in Water and NaHCO₃ Extracts from Soil**. *Soil Science Society of America Journal*, 29(6), p. 677. 1965.

WAY, D. S. **Terrain analysis. A guide to site selection using aerial photographic interpretation.** Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross. 1973.

WEN, L.-S., P. SANTSCHI, G. GILL & C. PATERNOSTRO. **Estuarine trace metal distributions in Galveston Bay: importance of colloidal form in speciation of dissolved phase.** Marine Chemistry., 63 pp 185-212., 1999.

WENTWORTH, C. K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** Journal of Geology. 30 (5), p. 377 – 92. 1922.

WILSON, J.; e GALLANT, J. **Digital Terrain Analysis. In: Terrain Analysis: Principles and Applications,** New York, USA, John Wiley and Sons. v. 6, n. 12, p. 1-27, 2000.

ZINCK, J. A. **Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos.** Cursos de Agrología (1974) y sobre Geomorfología (1980). ULA-CIDIAT. Mérida 107 pp. 1981.

ZINCK, ALFRED. **Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales.** ITC Special Lecture Notes Series, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands, p. 123. 2012.

ZINCK, J. A., METTERNICHT, G., BOCCO, G., & DEL VALLE, H. F. **Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies.** Springer, 2015.

ZINCK, J. A., & VALENZUELA, C. R. **Soil geographic database: structure and application examples.** ITC Journal, The Netherlands, n.3, p. 270-294, 1990.

ZONNEVELD, Isaak S. **The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications.** Landscape ecology, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.

ZINCK, J. A., & VALENZUELA, C. R. **Soil geographic database: structure and application examples.** ITC Journal, The Netherlands, n.3, p. 270-294, 1990.