

O PROCESSO DE PESQUISA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM A PARTIR DO CONDICIONAMENTO HIDROGEOLÓGICO DO AQUÍFERO COUTO MAGALHÃES EM MARABÁ-PA

Data de submissão: 27/12/2024

Data de aceite: 05/02/2025

Josué Souza Passos

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/UNIFESSPA
Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (2017), Mestrado pela Unicamp (2020) e Especialização em Recursos Hídricos pela Ibra de Minas Gerais (2024). Atualmente é geólogo do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina.
<https://orcid.org/0000-0003-1716-8048> 2

Ana Valéria dos Reis Pinheiro

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/UNIFESSPA
Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1996) e Especialização em Hidrogeologia Aplicada (1996) por esta universidade, mestrado em Geologia Aplicada - subárea Hidrogeologia, pela Universidade Federal do Ceará (1999) e doutorado em Geologia - subárea Hidrogeologia (2009) pela Universidade Federal do Pará.
<https://orcid.org/0000-0001-8244-2053>

cidade de Marabá, situada no sudeste do estado do Pará, com vistas ao processo de pesquisa de água subterrânea. Para tanto, utilizou-se conhecimentos de hidrogeologia, geomorfologia, fotointerpretação e geologia estrutural. Estes diversos parâmetros, analisados em conjunto, minimizam os erros inerentes à locação de poços em terrenos cristalinos. A área é constituída geologicamente por filitos, ardósias e xistos da Formação Couto Magalhães. Em se tratando dos aspectos geomorfológicos, é formada por morros e colinas do sistema denudacional e por extensas planícies com leves ondulações do sistema agradacional. As direções de alinhamentos estruturais obtidas pela interpretação das imagens são compatíveis com aquelas registradas nas rochas da região. As principais famílias de fraturas identificadas são as NW-SE e NE-SW e secundariamente N-S e E-W. Quando interceptadas, essas fraturas formam padrões anômalos em forma de romboedros. A análise das estruturas rúpteis e dúcteis junto com dados estruturais regionais possibilitou o reconhecimento das direções de fraturas de Riedel, bem ilustradas no elipsoide de McCLAY (1994). Com a integração dos dados concebidos, sugeriram-se as condições favoráveis a

RESUMO: Realizou-se a análise de diversos fatores que influenciam o condicionamento hidrogeológico do aquífero fissural Couto Magalhães na

estudos mais detalhados para assegurar a locação de poços mais produtivos na área.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrogeologia, Aquífero Fraturado, Geologia Estrutural, Marabá, Recursos Hídricos Subterrâneos.

ABSTRACT: Researchers analyzed several factors that have some influence on the hydrogeological conditioning of the fractured Couto Magalhães aquifer in the city of Marabá, located in the southeast of the Pará state, in Brazil. To do this, knowledge of hydrogeology, geomorphology, photo interpretation, and structural geology was used. Those parameters, when analyzed together, decrease the margin of error for wells drilling in the fractured rocks aquifers. The area where this work took place is geologically composed by phyllites, slates and micaschists from the Couto Magalhães Formation. With regards to geomorphology, there are both areas of denudation and aggradation. The first one is composed by various types of hills while the second one is formed by extensive plains. The structural trends obtained by photo interpretation of satellite and radar images are compatible with the results of fracking data obtained in the field. The main fracture sets are NW-SE and NE-SW, and secondarily, N-S and E-W. When those fractures intercept each other, they produce anomalous patterns in the form of rhombohedral fractures present in the rocks. The Analysis of brittle and ductile structures and the association of them with regional structural data, made possible the ability to recognize the main directions of Riedel fractures as well as the ability to illustrate them in the ellipsoid created by McCLAY (1994). Data integration allowed researchers to indicate the areas that should be investigated with more details in order to ensure the best places to drill and to produce good wells.

KEYWORDS: Hydrogeology, Fractured Aquifer, Structural Geology, Marabá, Groundwater Resources.

1 | INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a manutenção de todas as formas de vida. Desta forma, a necessidade deste recurso para suprir as demandas humanas tem impulsionado a realização de pesquisas que contribuam para a caracterização de fatores que controlam o condicionamento e a disponibilidade de águas subterrâneas. De acordo com Borghetti et al. (2004), o meio subterrâneo contém 98,7% da água acessível à demanda humana, enquanto somente 1,3% corresponde à água superficial que ocupa os rios e lagos.

Os aquíferos, materiais geológicos capazes de armazenar e transmitir água, são os principais focos de investigação para captação de água subterrânea. A ocorrência do recurso hídrico e sua correlação com sistemas aquíferos quer sejam estes de meio poroso, fissural ou aluvionar, depende principalmente de fatores geológicos, tectono-estruturais e fisiográficos (COSTA, 1985; PINHEIRO, 2000; REBOUÇAS, 2006).

Em estudos hidrogeológicos, os meios fissurais representam uma das abordagens mais difíceis, visto se tratarem de terrenos heterogêneos e anisotrópicos, cuja capacidade de armazenar e transmitir água depende de tramas predominantemente rúpteis. A distribuição e configuração dessas estruturas geralmente são aleatórias e dependem da

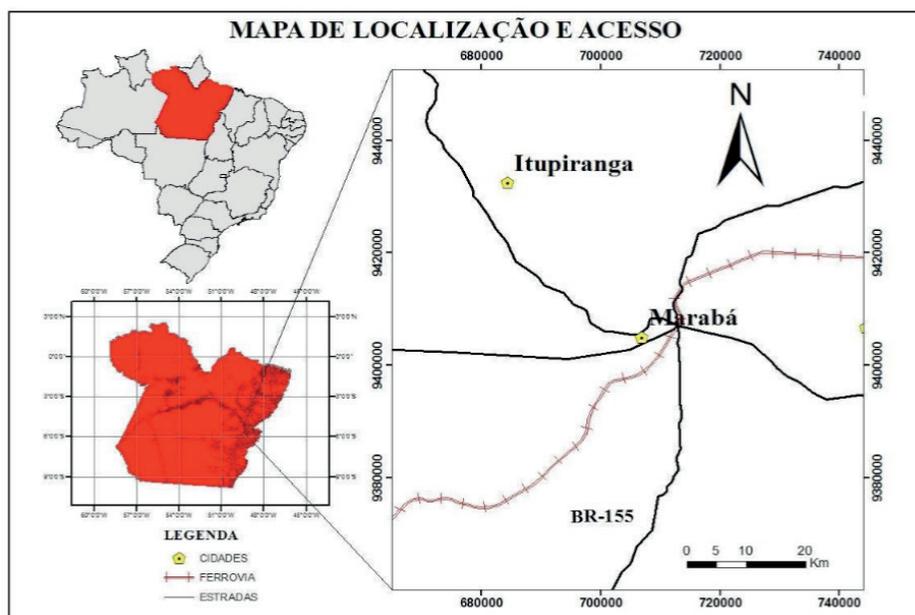
reologia das rochas quando submetidas a uma série de esforços tectônicos.

Na cidade de Marabá, o aquífero fissural Couto Magalhães, alvo desta pesquisa, tem sido palco de constantes investigações (SILVA 2010, PIMENTEL 2012). No entanto, até a consumação da presente pesquisa, não havia nenhum trabalho consolidado que reunisse e discutisse de maneira integrada uma série de fatores que influenciam e condicionam a hidrogeologia deste meio fraturado.

Portanto, o trabalho de conclusão de curso intitulado “Nova abordagem do condicionamento hidrogeológico do aquífero Couto Magalhães na cidade de Marabá-PA”, consta de uma série de dados e informações referentes ao controle e condicionamento hidrogeológico do aquífero em apreço, bem como apresenta essas informações de maneira integralizada e sistemática através de produtos cartográficos.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Marabá (Figura 1) está localizada no sudeste do estado do Pará, região norte do Brasil, sob as seguintes coordenadas geográficas 05° 21' 03"S, 49° 08' 49"W (IBGE, 1995). A partir de Belém, capital do estado, o acesso à cidade pode ser feito via terrestre pela PA-150, cujo trajeto é de aproximadamente 550 km e dura cerca de 8 horas em condições climáticas normais. O acesso à cidade pode ser feito, ainda, via aérea por meio de três companhias que realizam voos diários para o município a partir do Aeroporto Internacional de Belém; a duração da viagem é de aproximadamente 1 hora. A área de trabalho, localiza-se no núcleo Nova Marabá, cujos bairros recebem o nome de folhas numeradas na referida cidade.



2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A realização desta pesquisa constou de três etapas distintas, a saber: etapa preliminar, etapa de campo e etapa de escritório.

2.1 Etapa Preliminar

Esta etapa constou da aquisição bibliográfica referente ao tema, bem como dos utensílios utilizados para confecção da base cartográfica utilizada e apresentada neste trabalho. A bibliografia consistiu em livros, teses e dissertações referentes à hidrogeologia de terrenos cristalinos, bem como de trabalhos hidrogeológicos relativos ao aquífero Couto Magalhães na cidade de Marabá.

A base cartográfica foi elaborada por meio de imagens de radar do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30m, bem como com auxílio de imagens de satélite Landsat 8. Trabalharam-se essas imagens com assistência dos programas *Global Mapper* 15.0 para delimitação da área de trabalho e para aplicação de filtros direcionais simulando iluminação solar de 45° em 45°. Os produtos do sensoriamento remoto foram confeccionados no programa *ArcGis* 10.3. Além disso, lançou-se mão do programa *Spring* 5.4.3 para elaboração de diagramas de rosetas constando das principais direções dos fotoalinhamentos presentes no respectivo mapa.

A fotointerpretação e análise dos dados obtidos por meio dos produtos sensores seguiram a metodologia adotada por Soares e Fiori (1976), considerando as colocações de Lima (2002). Esses trabalhos foram fundamentais para a análise das propriedades da rede de drenagem e relevo, cujo resultado foram os mapas de zonas homólogas de drenagem, alinhamentos de drenagem e relevo e sistemas geomorfológicos.

2.2 Etapa de Campo

Durante as atividades de campo, realizou-se o reconhecimento das unidades e estruturas geológicas presentes na área de estudo. Para tanto, utilizou-se a bússola geológica do tipo *Silva* para extração de dados estruturais e o GPS *Garmin* 12 para o posicionamento espacial dos dados obtidos.

O reconhecimento geológico consistiu na descrição e análise de afloramentos e litotipos expostos no núcleo urbano da cidade. As principais exposições foram encontradas em cortes de estrada, ravinas e nas margens dos principais rios da cidade.

Na análise estrutural, buscou-se identificar e caracterizar principalmente as estruturas e feições rúpteis, pois são as essenciais para o estudo de meios cristalinos. As principais estruturas investigadas consistiram em: sistemas de fraturas e preenchimento destas estruturas, direções da rede de drenagem, falhas e indicadores cinemáticos. Além disso, secundariamente, coletaram-se dados sobre elementos dúcteis como foliação e

dobras.

Na análise topográfica e geomorfológica, buscou-se entender a disposição das geoformas e a dinâmica atuante em processos atuantes na disposição da paisagem. Lançou-se mão do sistema de classificação sugerida por Latrubesse (2006) e adotado por Felipe (2012) para análise geomorfológica da região de Marabá. A classificação detém como sistemas principais os denudacional e o agradacional, ambos ramificados em diversos subníveis.

As informações adquiridas nesta etapa confirmaram em meso escala as principais direções dos fotoalinhamentos obtidos por meio das imagens de satélite e radar. O levantamento de todas essas análises visou o entendimento da relação entre as diversas condicionantes e os resultados positivos ou negativos na locação de poços.

2.3 Etapa de Escritório

Nesta etapa, integraram-se os dados obtidos nas etapas anteriores no intuito de utilizá-los como subsídio para as interpretações e, conseqüentemente, as conclusões desta pesquisa. Diversos softwares foram empregados para a elaboração dos mapas e figuras. Os softwares *Georose* 0.5.1 e *Openstereo* 0.1.2 foram usados para o tratamento das estruturas rúpteis e dúcteis. Além destes, valeu-se do *ArcGis* 10.3 para confecção dos mapas finais e do *CorelDraw* X8 para edição de figuras e blocos diagramas.

3 | CONTEXTO GEOLÓGICO

A cidade de Marabá pertence à Folha Marabá (SB.22-X-D) e abrange geologicamente três grandes províncias geotectônicas, cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, cinturão de cisalhamento Araguaia e bacia do Parnaíba (CPRM, 1996), além dos depósitos sedimentares recentes.

O cinturão Itacaiúnas corresponde à unidade mais antiga, sua evolução é atribuída a uma tectônica colisional oblíqua, que incorpora componente direcional sinistral e movimentação de massas de SW para NE no final do Arqueano ao Proterozoico Inferior. Ocupa cerca de 10% da Folha Marabá sendo divididos em dois domínios litoestruturais. O primeiro compreende ao domínio imbricado com transcorrências associadas, envolvendo rochas da Suíte Metamórfica Bacajaí e do Complexo Xingu, dispostas em padrão anastomosado na direção geral E-W, com inflexões para NW-SE e NE-S. O segundo representado pelo domínio transcorrente, com cavalgamentos associados onde aparecem rochas do Grupo Rio Novo, Tapirapé e Paredão, os quais encontram-se também dispostos em padrão anastomótico com orientação geral WNW- ESE (CPRM, 1996).

A segunda unidade corresponde ao Cinturão Araguaia relacionado ao Proterozoico Inferior a Médio é resultante da atuação de regime compressivo oblíquo sinistral com

orientação de SE para NW. Corresponde a cerca de 40% da folha sendo representado pelas formações Xambioá, Pequizeiro e Couto Magalhães, as quais se apresentam segundo um padrão de imbricamento generalizado. As grandes anisotropias observadas apresentam duas orientações preferenciais. Uma de direção submeridiana configurando os traços das zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo sinistral e outra com orientação geral WNW-ESE, representando as zonas de cisalhamento transcorrentes (CPRM, 1996).

A terceira e última unidade geotectônica corresponde a Bacia do Parnaíba onde a mesma teve evolução e deposição de suas unidades geológicas, tanto no Paleozoico quanto no Mesozoico, através da implantação de um regime distensivo controlado pela estrutura antiga de seu embasamento. No Paleozoico, o referido regime extensional teve o eixo de estiramento máximo orientado segundo a direção NW-SE, completam o quadro geológico da Folha Marabá as coberturas cenozoicas compreendendo lateritos, coluviões, eluviões e aluviões, muitas vezes controladas por neoestruturas (CPRM, 1996).

A formação mais antiga da cidade é a Couto Magalhães, posicionada no Proterozoico Médio/Superior, formada por filitos, ardósias, xistos e subordinadamente quartzitos e calcários. No perímetro urbano o litotipo dominante são os filitos de coloração cinza a tons avermelhados ou amarelados, principalmente quando alterados. Ocasionalmente, afloram xistos de granulação fina, coloração cinza a esverdeada. Estes apresentam uma proeminente foliação milonítica e abundantes fraturas rúpteis (PRIMAZ, 1996).

Rochas anteriormente correlacionáveis à Formação Itapecuru por Oliveira (CPRM, 1996), são atualmente correlacionáveis aos sedimentos da Formação Barreiras, de idade oligo- miocênica, por Souza e Santos Junior (2010), bem como por Felipe (2012). De modo geral, afloram no norte do rio Tocantins e no complexo Cidade Nova, estendendo-se além do limite oeste da cidade de Marabá.

São rochas clásticas, constituídas por arenitos arcoseanos de cores avermelhadas, cinza e amarelada, granulação fina a média, heterogênea, friável, localmente com lentes de conglomerados, sendo frequentes as intercalações de pelitos avermelhados (PRIMAZ, 1996). Por fim, completa o quadro geológico da cidade, a cobertura quaternária que cobre as regiões mais proximais dos rios e seus tributários, merecendo registro os depósitos ao longo dos rios Tocantins e Itacaiúnas.

Esses depósitos são constituídos de sedimentos inconsolidados, formados por siltes, argilas, areias e cascalhos (PRIMAZ, 1996). Almeida *et. al.* (2001) propõe o mapa geológico para a cidade e cercanias.

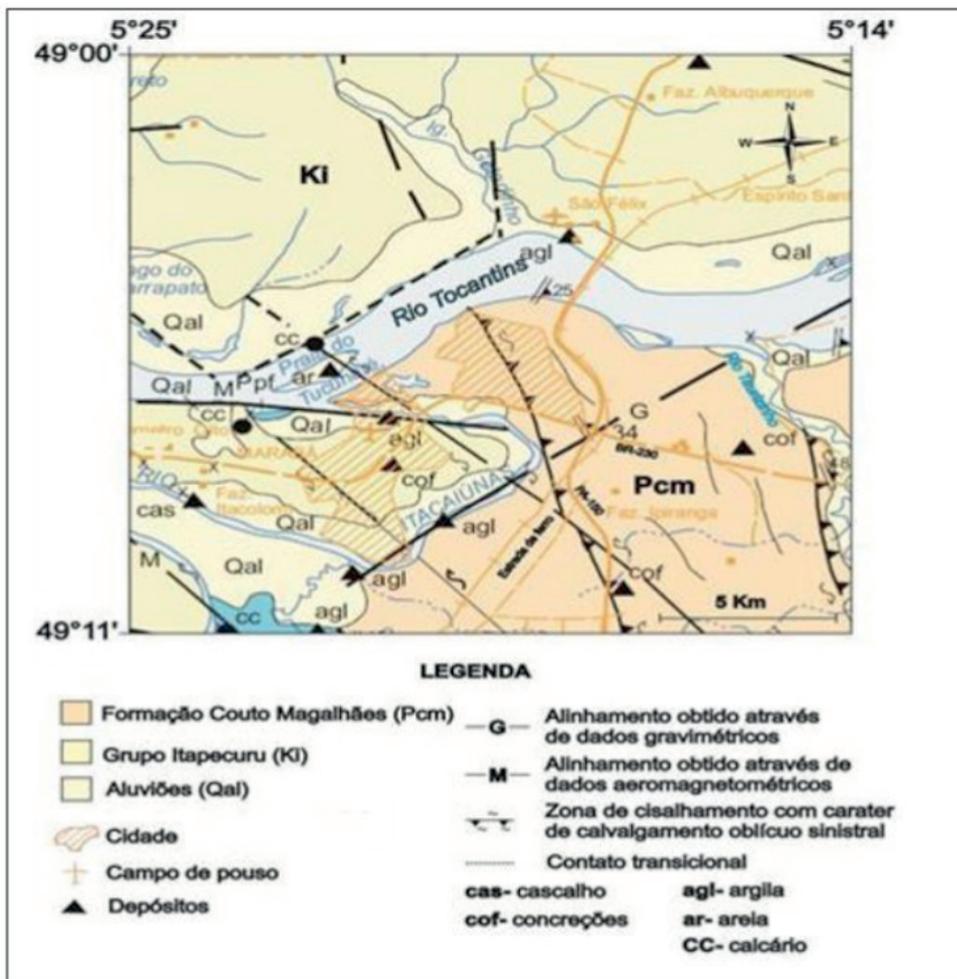


Figura 2 - Geologia de Marabá. Fonte: Almeida et al. (2001).

4 | RESULTADOS

4.1 DADOS DO SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto possibilitou a extração de informações fotogeológicas que resultaram nos mapas básicos apresentados neste item. Os produtos sensores são importantes para subsidiar a compreensão da dinâmica tectono-estrutural da área, bem como sua relação com ocorrência de água superficial e subterrânea.

4.1.1 Dados de Drenagem e Zonas Homólogas de Drenagem

A partir do mapa de drenagem, identificaram-se quatro zonas homólogas de drenagem (Figura 3), cujas principais propriedades são exibidas no Quadro 1.

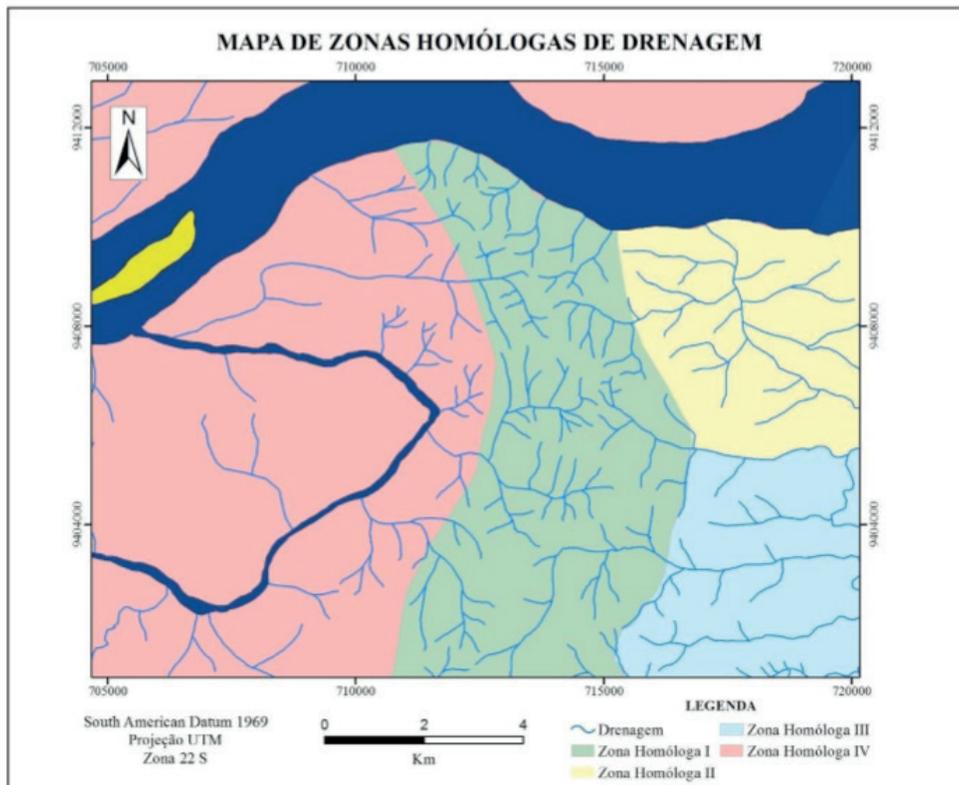


Figura 3 - Mapa de zonas homólogas de drenagem

Propriedade	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
Padrão	Subdendrítico	Subdendrítico	Subparalelo	Subdendrítico
Densidade	Média a Alta	Média	Baixa	Baixa
Sinuosidade	Mista	Mista	Mista	Mista
Angularidade	Média-Alta	Média-Alta	Média-Alta	Média-Alta
Tropia	Multidirecional N-S, E-W, NW- SE, NE-SW	Tridirecional E-W, NW-SE, NE-SW	Tridirecional E-W, NW-SE, NE-SW	Multidirecional N-S, E-W, NW- SE, NE-SW
Assimetria	Forte	Fraca	Forte	Forte
Anomalias	Cotovelos, arcos, canais retilíneos	Cotovelos, arcos	Meandros isolados	Cotovelos, arcos e meandros isolados

Quadro 1 – Propriedades da rede de drenagem na área de estudo

De acordo com a lógica e análise sistemática de fotointerpretação geológica sugerida por Soares e Fiori (1976) e da análise da drenagem e seu significado geológico-geomorfológico sugerido por Lima (2002), os elementos de drenagem presentes nas

zonas homólogas I, II, III e IV indicam a presença de forte controle estrutural, litológico ou litoestrutural na área em apreço.

O padrão subdendrítico nas zonas homólogas I, II e IV, bem como aquele subparalelo na zona III, são comuns em terrenos controlados pela presença de estruturas tectônicas (LIMA, 2002).

De modo geral, as zonas homólogas constam de drenagem com baixa a média densidade, exceto pela zona I que apresenta densidade média a alta. A densidade média a alta aponta a existência de um terreno com baixa permeabilidade favorecendo o escoamento superficial da água. Por outro lado, baixa densidade pode estar associada à ocorrência de aluviões ou rochas permeáveis que permitem a infiltração da água ao invés do seu escoamento superficial.

A tropia multidirecional junto à tendência tridirecional, aliadas à sinuosidade mista e angularidade média-alta presente em todas as zonas, fortalecem o indício de influência de fortes fatores estruturais ao longo do terreno. Soares e Fiori (1976) enfatizam que ângulos elevados entre os tributários são típicos em terrenos estruturados enquanto a presença de ângulos agudos indica ausência ou fraco controle estrutural. De modo geral, os ângulos entre diversos tributários da rede de drenagem são altos ocorrendo, no entanto, alguns ângulos médios em cada zona.

Para Lima (2002), a assimetria é um importante parâmetro a ser analisado, pois exige o caimento do terreno a partir de estruturas primárias ou secundárias oriundas de blocos controlados tectonicamente. Via de regra, a drenagem apresenta forte assimetria entre os tributários que deságuam nos grandes rios (Tocantins e Itacaiúnas) da área em apreço, assim como entre os tributários e rios mais expressivos de cada zona, exceto pela zona II que apresenta fraca assimetria.

A abundante presença de anomalias em forma de arcos, cotovelos, meandros isolados e drenagens retilíneas são ocorrências que também corroboram a presença de controle tectônico na rede de drenagem da região.

4.1.2 Dados Topográficos

Os mapas topográficos são considerados mapas básicos, haja vista uma diversidade de outros mapas serem subprodutos deles. De modo geral, as cotas altimétricas da área estudada variam de 65 a 150 metros. Os pontos mais baixos estão localizados junto às extensas planícies aluvionares dos rios Tocantins e Itacaiúnas enquanto as maiores elevações são encontradas a sul, leste e regiões centrais da área de estudo, bem como são marcadas por relevo acidentado constituído por colinas e morros diversos como mostra o mapa e os perfis topográficos consequentes (Figura 4).

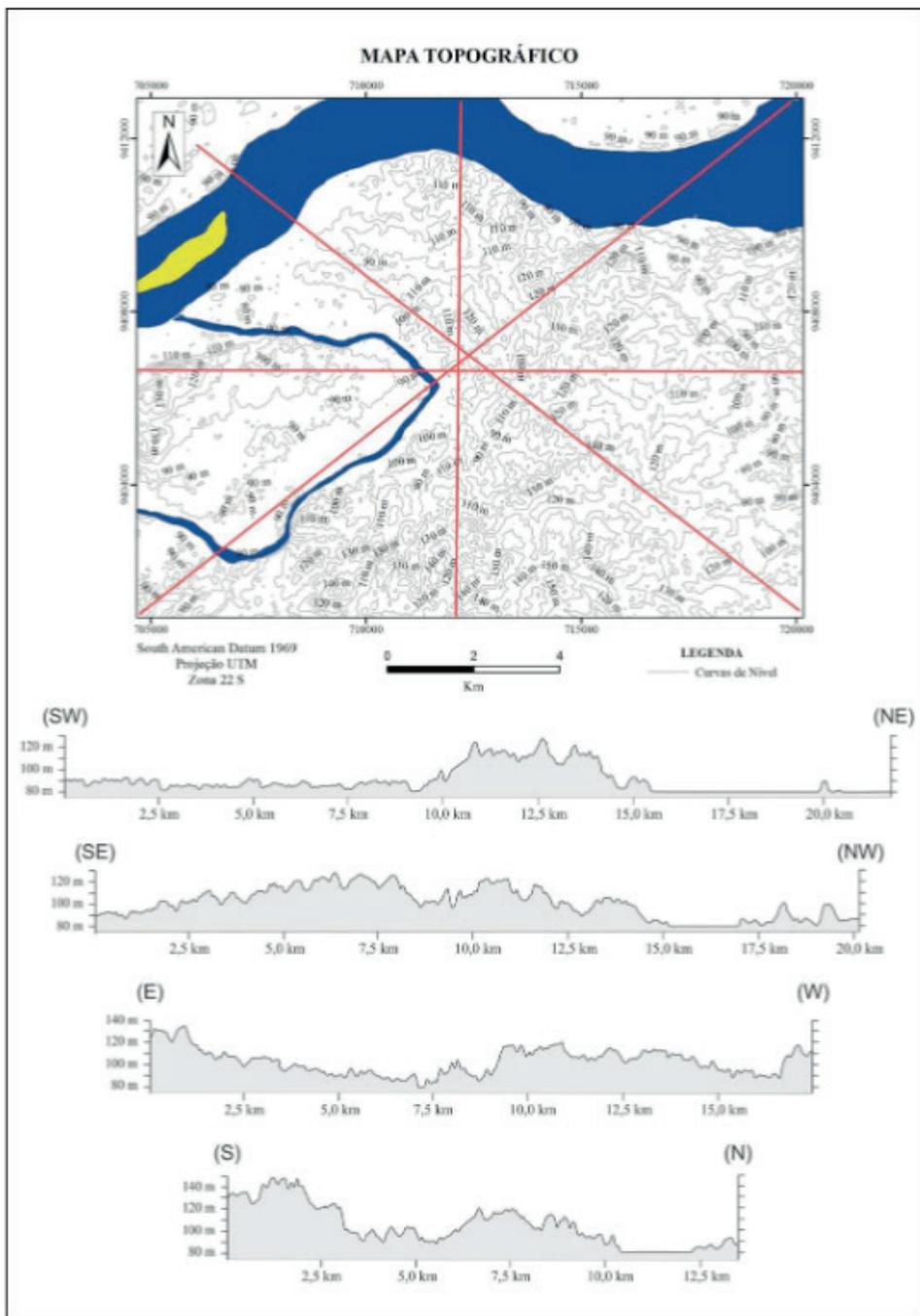


Figura 4 – Mapa e perfis topográficos enfatizando as cotas e formas de relevo em direções diversas

4.2 DADOS ESTRUTURAIS

As informações aqui apresentadas dizem respeito aos fotoalinhamentos de relevo e drenagem. Esses fotoalinhamentos são consequência das feições lineares de caráter retilíneos ou levemente encurvados que indicam a estruturação tectônica da área.

O mapa de fotoalinhamentos (Figura 5) e o diagrama geral de rosetas (Figura 5A) exibem alinhamentos cujas principais direções são NW-SE e subordinadamente NE-SW. As rosáceas referentes ao relevo (Figura 5B) apontam as direções NW-SE, NNW-SSE e NE-SW como principais. O diagrama de rosetas gerado para rede de drenagem (Figura 5C) evidencia as direções NNW-SSE, NW-SE e ENE-WSW/E-W como principais.

4.3 DADOS DE CAMPO

A campanha de campo permitiu o levantamento *in loco* dos quadros geológico, geomorfológico e estrutural apresentados neste item.

4.3.1 Quadro Geológico

Durante as expedições, identificaram-se rochas das formações Couto Magalhães (Figuras 6A e 6B) e Pós - Barreiras (Figura 6C), esta última, localmente, em contato direto com a primeira (Figura 6D).

4.3.1.1 Formação Couto Magalhães

A Formação Couto Magalhães compreende uma sequência metapelítica formada por filitos, ardósias e micaxistos. Esses litotipos afloram no Núcleo Nova Marabá com exposições chaves às margens dos rios, assim como em cortes de estrada distribuídos pela cidade. Os filitos constam os litotipos dominantes, exibem clivagem filítica marcante e forte influência estrutural. De modo geral, apresentam granulação fina e são constituídos por mica branca,

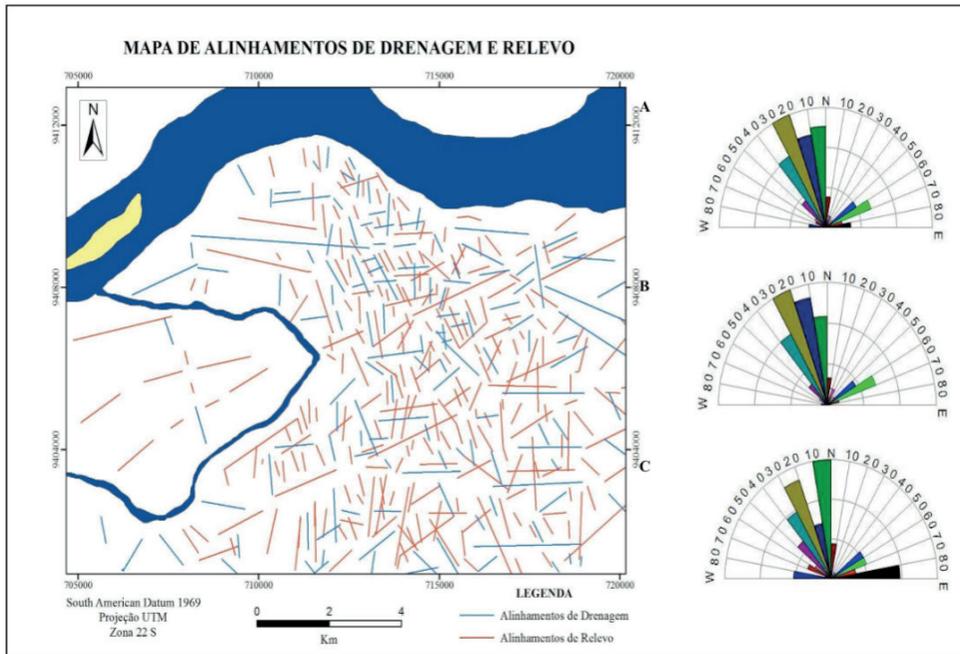


Figura 5 – Mapa de alinhamentos de drenagem e relevo. (A) Diagramas de rosetas geral para drenagem e relevo. (B) Diagrama de rosetas para drenagem. (C) Diagrama de rosetas para relevo.

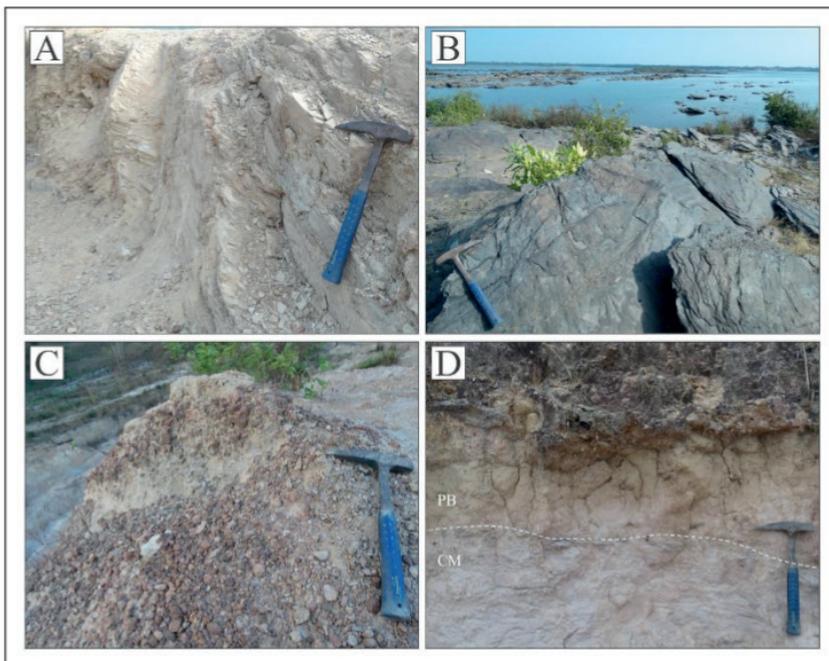


Figura 6 – Principais litologias presentes na área de estudo. (A e B) Filitos e ardósias da Formação Couto Magalhães. (C) Sedimentos Pós Barreiras contendo fragmentos de laterita retrabalhada. (D) Contato da Formação Pós Barreiras com a Formação Couto Magalhães.

Clorita e quartzo definindo uma textura orientada que destaca a foliação. Essas rochas são marcadas por clivagem filítica com direção N-S e mergulhos entre 20°/E e 40°/E, bem como por um padrão de fraturas em forma de romboedros. As ardósias ocorrem às margens do rio Tocantins exibindo coloração cinza-esverdeada e clivagem ardósiana evidente. Embora apresentem o padrão de fraturas, bem como direção e sentido de mergulho semelhante aos filitos descritos, o ângulo de mergulho dessas rochas não alcança 20°. Os micaxistos quando afloram, ocorrem como porções xistosas que se destacam entre os filitos da região. De modo geral, são constituídos por muscovita lepidoblástica e quartzo granoblástico.

4.3.1.2 Formação Pós Barreiras

Na cidade de Marabá, as melhores exposições dessa formação ocorrem no bairro Mirante do Vale, no núcleo Cidade Nova, seguidas de exposições na Nova Marabá. Os afloramentos são principalmente do tipo corte de estrada, destacando-se os cortes na rodovia Transamazônica. A unidade é caracterizada por um solo de coloração amarela, constituído por material arenoso, por vezes, areno-argiloso, maciço, friável e bastante intemperizado contendo fragmentos de laterita retrabalhada.

4.3.2 Quadro Geomorfológico

O quadro geomorfológico apresentado no mapa de sistemas geomorfológicos (Figura 7) é relativo aos sistemas geomorfológicos e às respectivas geoformas presentes na cidade de Marabá. Para tanto, adotou-se a classificação de relevos sugerida por Latrubesse (2006) e utilizada por Felipe (2012) no levantamento do sistema de relevo da região de Marabá. Latrubesse (*op. cit.*) sistematiza o quadro geomorfológico em diversos níveis, cujo nível 1 é representado pelos sistemas denudacionais e agradacionais. Na área de estudo, ocorrem ambos os sistemas, corroborando as geoformas reconhecidas por Felipe (2012) e por Passos, Pinheiro e Hentz (2013).

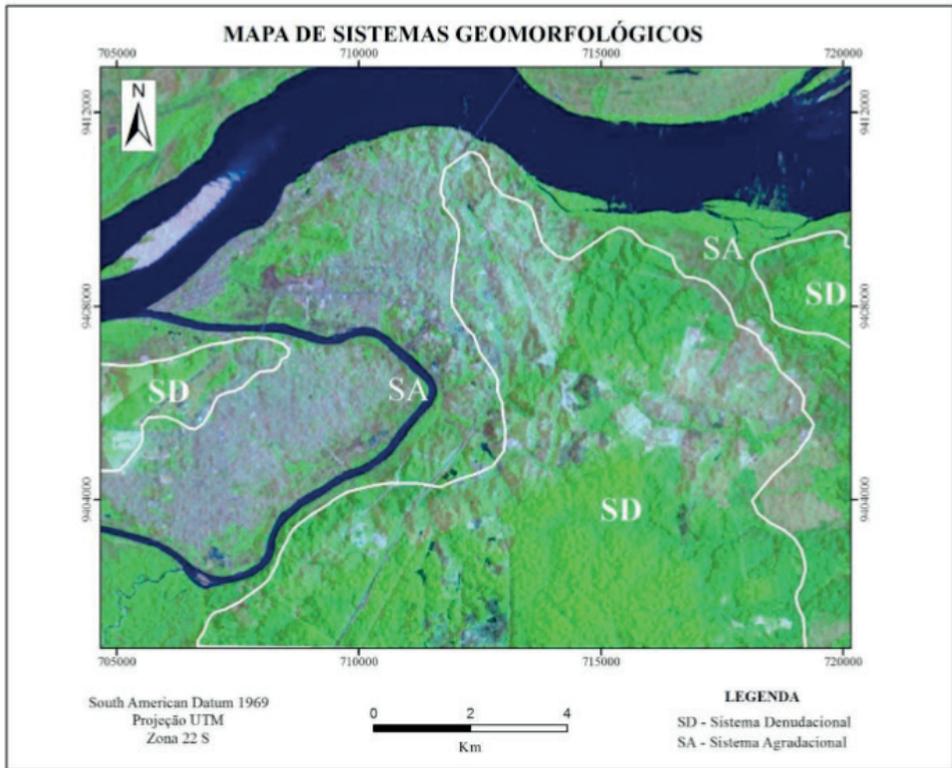


Figura 7 – Mapa de sistemas geomorfológicos

O sistema denudacional consta de cotas entre 100 e 150 metros em relação ao nível do mar e é representado por um relevo residual constituído por morros e colinas com forte controle estrutural (Figuras 8A e 8B). Estas geofomas são sustentadas por rochas da Formação Couto Magalhães, bem como são marcadas pela ocorrência ocasional de uma cobertura de solo amarelado rico em fragmentos de laterita retrabalhada correspondente à Formação Pós – Barreiras.

O sistema agradacional apresenta as cotas inferiores a 100 metros em relação ao nível do mar. De modo geral, é constituído por geofomas típicas de depósitos coluvionares e aluvionares. As principais feições são do tipo meandriformes associadas, geralmente, a planícies e bancos acrescidos pertinentes principalmente aos rios Tocantins, Itacaiúnas e Taurizinho (Figuras 8C e 8D).

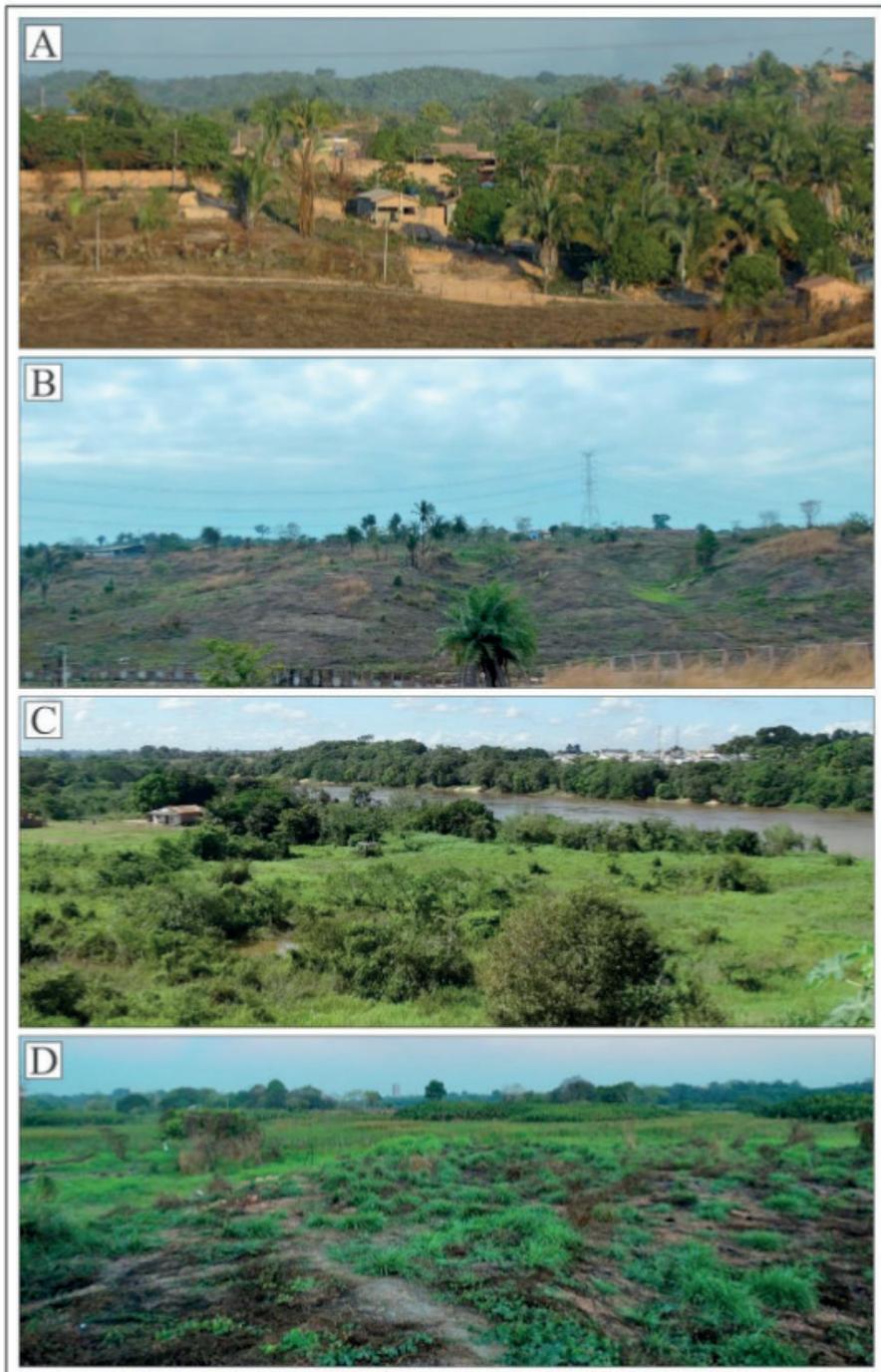


Figura 8 – Principais formas de relevo dos sistemas geomorfológicos que ocorrem na cidade de Marabá-PA. (A e B) Morros e colinas do sistema denudacional. (C e D) Planícies dos rios Itacaiúnas e Tocantins correspondendo a geformas do sistema agradacional

4.3.3 Quadro Estrutural

O quadro estrutural aqui abordado diz respeito, principalmente, à análise das estruturas planares de caráter rúptil, visto estas favorecerem a percolação e acumulação de água subterrânea em aquíferos fissurais. No entanto, de maneira secundária, coletaram-se atitudes de estruturas dúcteis em virtude de caracterização geológica-estrutural da área, bem como para entender a influência dessas estruturas no condicionamento estrutural e, conseqüentemente, hidrogeológico do aquífero em apreço.

4.3.3.1 Tectônica Rúptil

A análise de estruturas rúpteis presentes no aquífero Couto Magalhães, na cidade de Marabá, resultou em 117 atitudes. De modo geral, são fraturas que ocorrem nas direções NW-SE, NE-SW, N-S e E-W. O diagrama de rosetas (Figura 9A) mostra a principal disposição das fraturas com mergulho vertical. Construiu-se, ainda, um estereograma para o conjunto de atitudes extraídas a partir de planos de falhas e fraturas não verticalizados (Figura 9B).

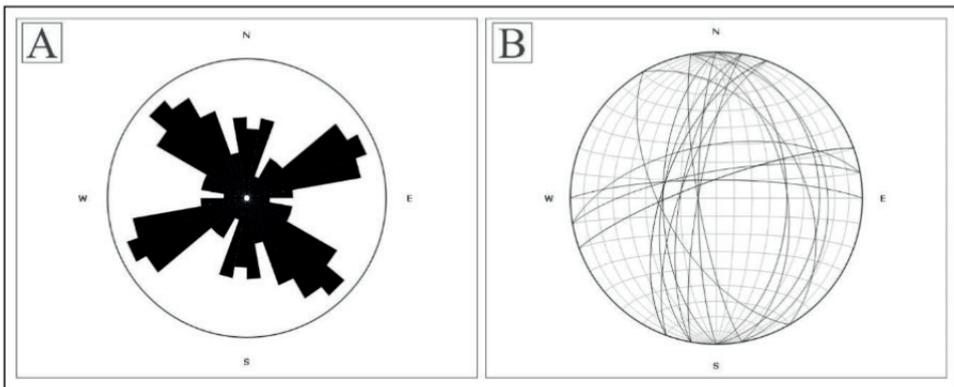


Figura 9 – Diagrama e estereograma para estruturas rúpteis da área de estudo (A) Diagrama de rosetas para fraturas. (B) Estereograma para planos de juntas e falhas.

Com base nas rosáceas, a direção mais proeminente das fraturas é a NW-SE e NE-SW seguidas das direções N-S e E-W. Essas estruturas apresentam espessuras milimétricas a centimétricas e podem ocorrer vazias, preenchidas por quartzo ou por um material silto-argiloso, por vezes, ferrificado. Além de pares conjugados (Figura 10A) é comum o registro nas rochas de um padrão anômalo de fraturamento com aspecto romboédrico (Figura 10B). As direções N-S e NNW-SSE constam de cavalgamentos com mergulhos entre 25°/E e 30°/E e ENE (Figura 10C e 10D). Falhas de rejeito direcional são observadas nas direções NW-SE e NE-SW. De modo geral, as NW-SE apresentam movimentação sinistral enquanto as NE-SW dextral (Figuras 11A a 11F). Falhas normais com mergulho 80°/350 também são observadas.

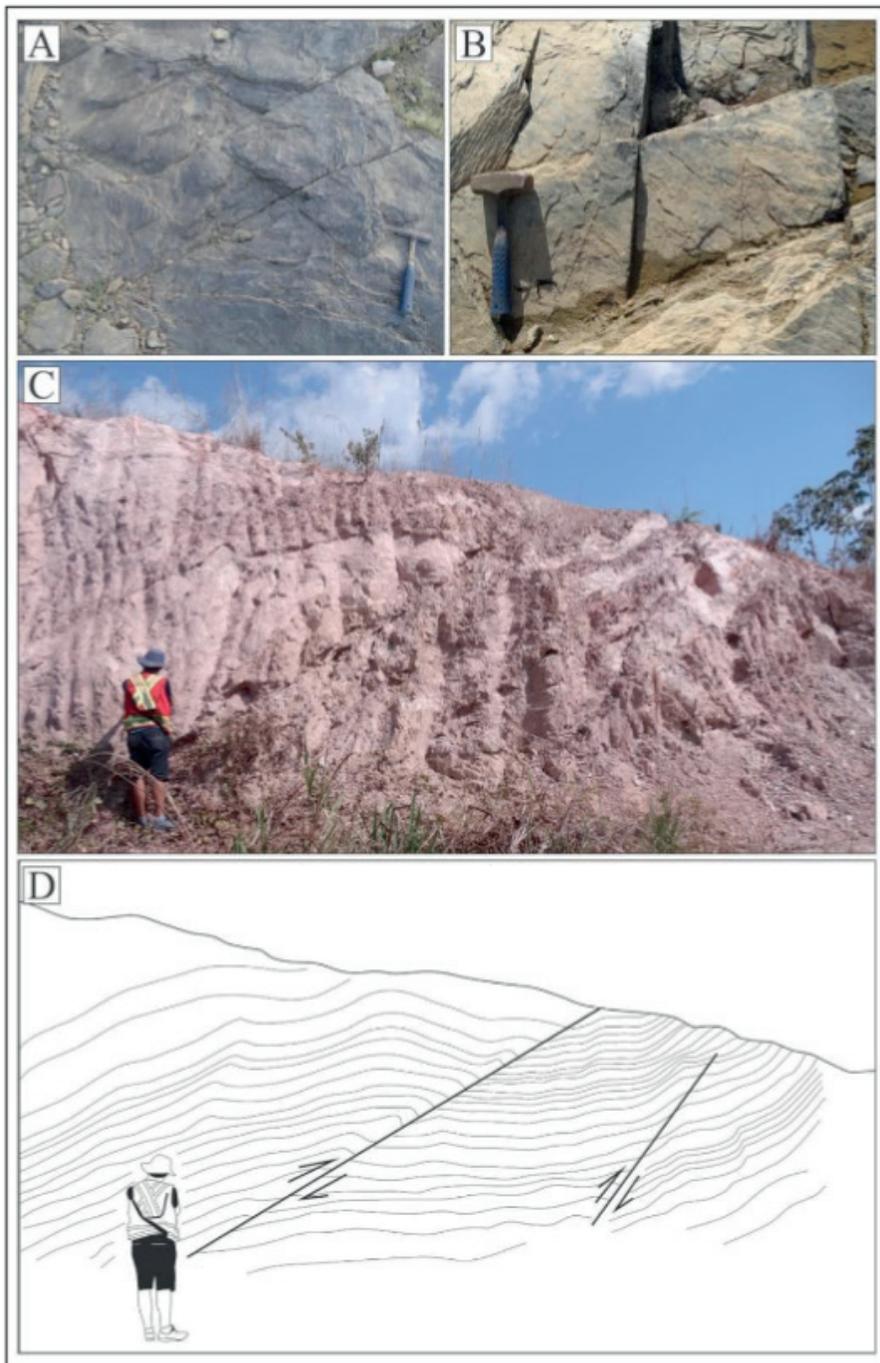


Figura 10 – Principais estruturas rúpteis registradas nas rochas da área de estudo. (A) Mosaico de fraturas em pares conjugados. (B) Padrão romboédrico formado a partir da combinação de fraturas. (C) Falha de cavalgamento com direção N-S e dobras associadas (D) Croqui ressaltando as principais feições presentes em C.

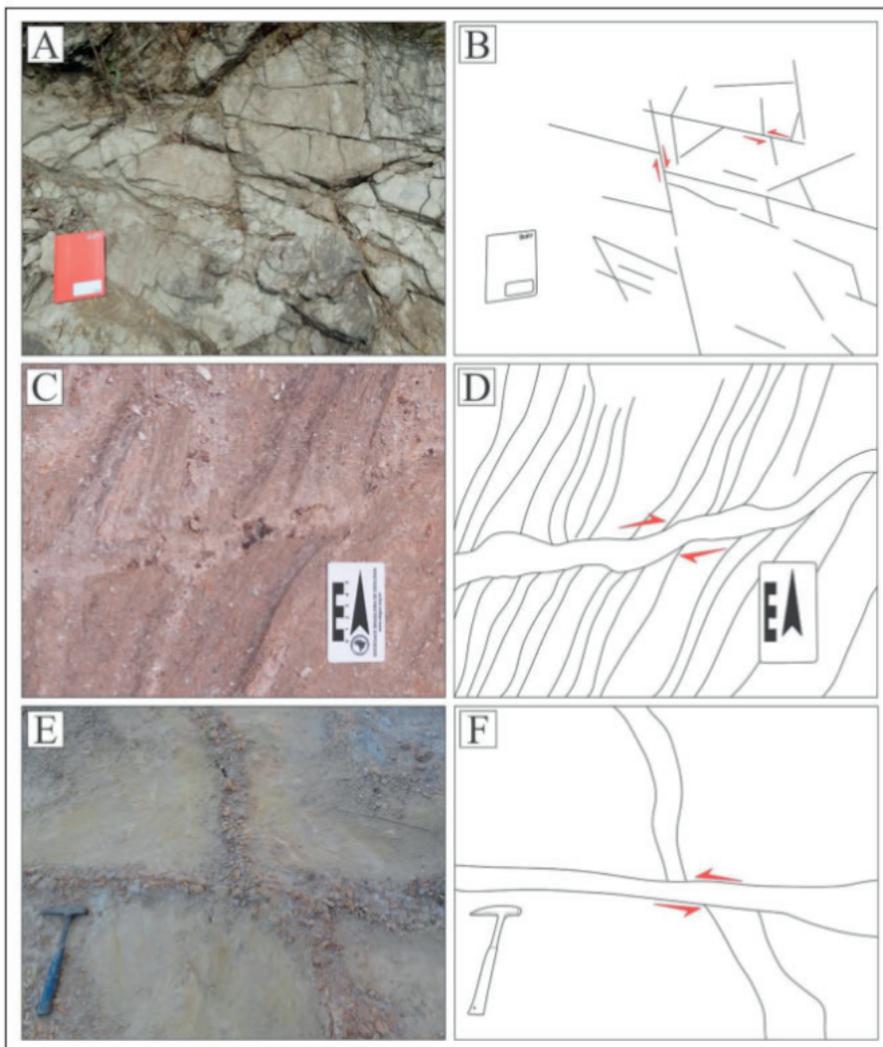


Figura 11 – Fraturas de cisalhamento. (A) Cisalhamentos formando pares conjugados com movimentação sinistral e dextral. (B) Croqui ressaltando as movimentações observadas em A. (C) Cisalhamento rúptil-dúctil de caráter dextral. (D) Croqui ressaltando as estruturas observadas em C. (E) Fraturas de cisalhamento preenchido por material argilo-arenoso ferrificado e com movimento sinistral.

4.3.3.2 Tectônica Dúctil

A área é constituída, principalmente, por uma sequência metapelítica foliada composta por filitos, ardósias e micaxistos. Dessa forma, as estruturas dúcteis predominantes são a clivagem filítica seguida da clivagem ardosiana e da xistosidade com ocorrência de clivagem de crenulação em alguns litotipos (Figuras 12A, 12B e 12C). Além da foliação, ocorre a presença de dobras (Figura 12D), por vezes, essas são associadas a falhamentos e classificadas como de arrasto.

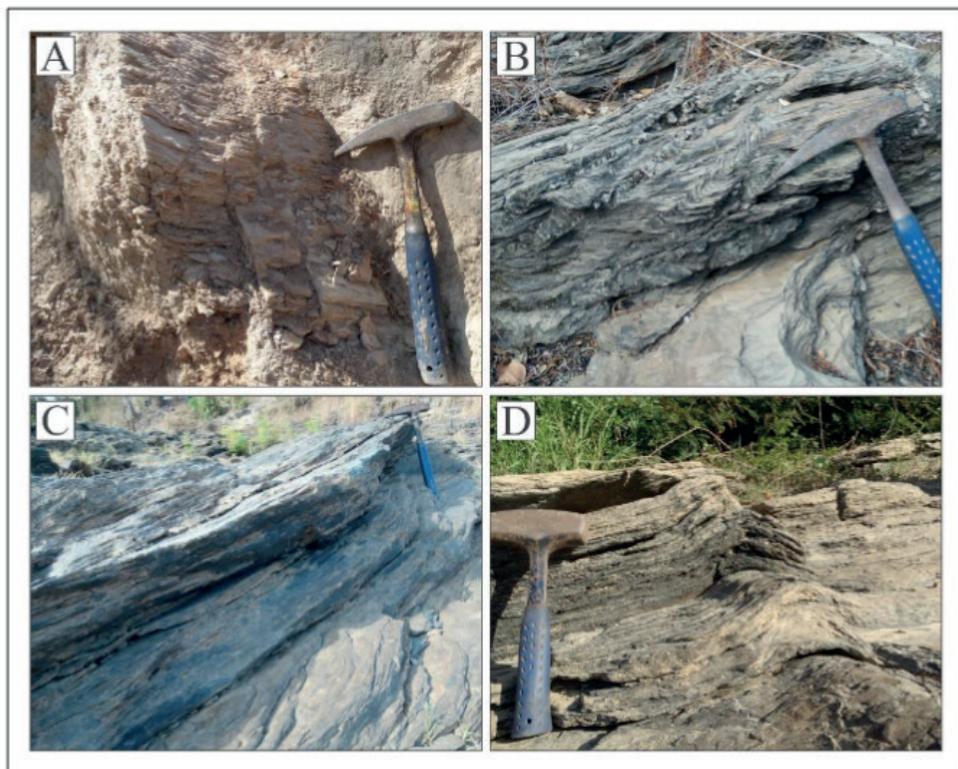


Figura 12 – Principais estruturas dúcteis presentes nas rochas da área de estudo. (A) Clivagem filítica em filitos fraturados. (B e C) Clivagem de crenulação e xistosidade em micaxisto fino. (D) Dobra em ardósias expostas às margens do rio Itacaiúnas.

A distribuição da foliação pela área mostra direções N-S, NNW-SSE e NNE-SSW com ângulos de mergulho variando entre 15° e 60° para E, ENE ou ESE (Figura 13). As dobras quando encontradas são assimétricas exibindo eixos que mergulham entre 10 e 50° para S ou SSE.

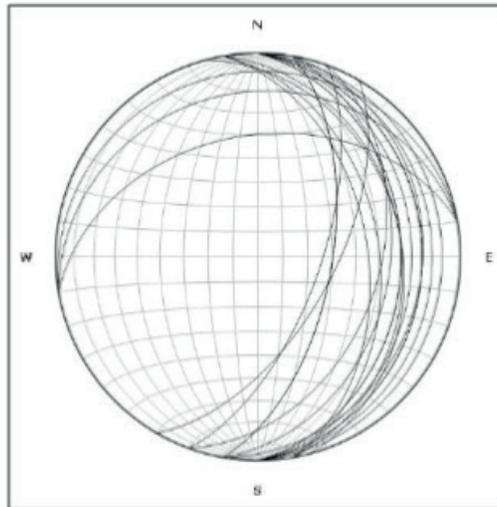


Figura 13 – Estereograma mostrando a distribuição da foliação das rochas que afloram na região de estudo. Notar o mergulho preferencial para E com leves inflexões para ENE e ESE.

4.3.3.3 Análise de Riedel e Aplicação do elipsoide de McCLAY (1994)

A análise dos fotoalinhamentos, bem como da estruturação da área, possibilitou visualizar um padrão de fraturas de cisalhamento Riedel (1929) bem demonstrado por meio do elipsoide de deformação concebido por McCLAY (1994) (Figura 14). Para a análise desse padrão, considerou-se a influência de estruturas tectônicas reconhecidas no mapa geológico concebido por Almeida (2001) (ANEXO 1) e corroboradas por meio dos produtos sensores e dos dados de campo que constam neste trabalho. O elipsoide de deformação arquitetado por McCLAY (*op. cit*), além de comprovar as fraturas reconhecidas por Riedel, demonstra a ocorrência de uma série de dobras e falhas de empurrão perpendiculares ao esforço compressivo.

Na área de trabalho, os falhamentos transcorrentes de caráter sinistral e direção NW representam famílias de fraturas fechadas (R1). A partir dessas estruturas, em direção mais proeminente a N, ocorrem as direções principais de foliação, bem como de eixos de dobras e falhas de cavalgamento que corroboram a concepção de estruturas resultantes de esforços compressivos de direção E-W com leves inflexões. As famílias de fraturas ENE-WSW estão relacionadas à (R2) e aquelas com direção NE-SW à fraturas e falhas extensionais (X), ambas denotam as principais direções de desenvolvimento de falhas e fraturas abertas resultantes de esforços distensivos.

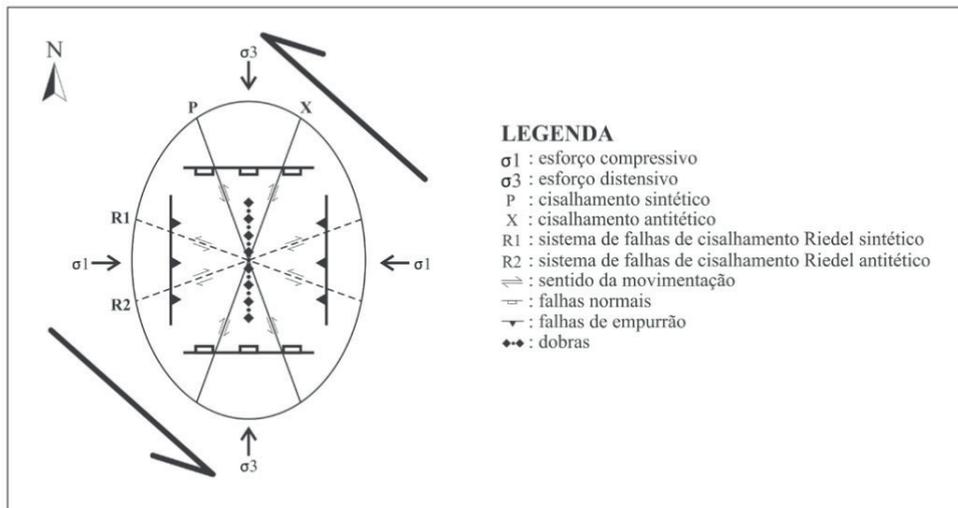


Figura 14 – Diagrama esquemático elaborado para área de estudo com ênfase na organização de fraturas de Riedel a partir do elipsoide de McClay (1994).

4.3.3.3.1 Evolução das Fraturas de Riedel e Quadro Morfotectônico

A partir da análise estrutural e das estruturas reconhecidas por Almeida (2001), é possível ilustrar um quadro hipotético da evolução das fraturas de Riedel na área de trabalho e, conseqüentemente, apresentar um suposto quadro morfotectônico (Figura 15A a 15E).

As estruturas reconhecidas sugerem uma evolução de deformação progressiva para implantação das fraturas de interesse. Durante uma deformação dúctil – rúptil de caráter compressivo a compressivo – oblíquo, um esforço compressivo, essencialmente, E-W, talvez aquele reconhecido por Almeida (*op. cit.*), iria promover a origem da foliação das rochas da Formação Couto Magalhães com direção N-S, seguida do surgimento das fraturas Riedel (R1) e dobramentos associados. A progressão da deformação, ocasionaria uma série de cavalgamentos submeridianos, tais quais os reconhecidos por Almeida (*op. cit.*), e corroborados durante a etapa de campo. Após o estabelecimento das fraturas R1, fraturas P seriam formadas em virtude de variações temporais no campo de esforço. A deformação ocasionaria, ainda, o surgimento das fraturas de cisalhamento R2 e das fraturas X, assim como de falhas normais. As principais estruturas abertas condicionariam a instalação da rede de drenagem, assim como a configuração morfotectônica.

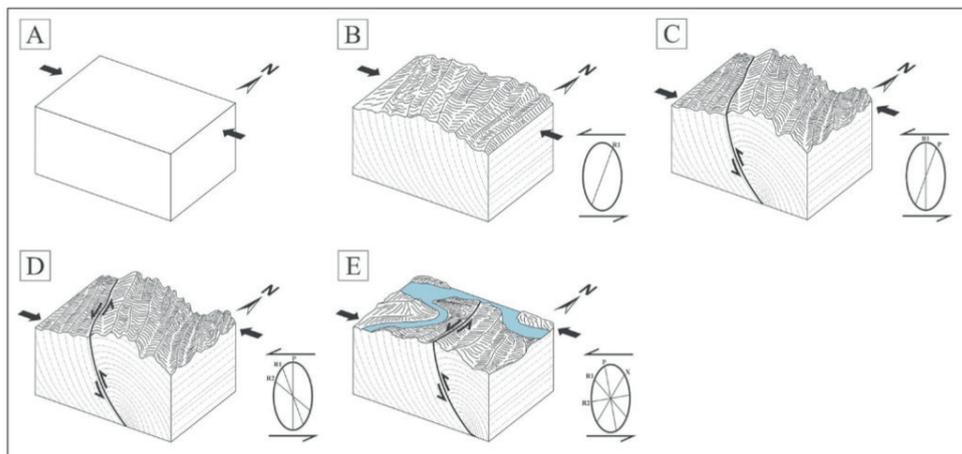


Figura 15 – Modelo morfotectônico hipotético com fraturas de Riedel associadas. (A) Esforço compressivo E-W. (B) Deformação e origem da foliação, bem como de R1. (C) Progressão de deformação e instalação de falhas de empurrão e dobras e fraturas P. (D) Progressão de esforços com instalação dos cavalgamentos oblíquos com cisalhamentos associados. (E) Configuração atual e distribuição das fraturas de Riedel, segundo elipsoide de McCLAY(1994).

4.3.3.4 Integralização de Dados: Condicionantes e Poços Locados

Na tentativa de analisar os dados de maneira mais detalhada, vincularam-se os dados topográficos, geomorfológicos e estruturais aos dados de vazão de 20 poços apresentados por Pimentel (2013) (Quadro 2). Dessa forma, tornou-se mais fácil entender a relação das informações concebidas neste trabalho com os poços locados. Para tanto, elaboraram-se dois mosaicos de mapas sobre os quais plotaram-se os 20 poços e suas respectivas vazões.

Poço	Latitude	Longitude	Vazão m ³ /h
1	711824	9407516	3
2	709908	9409892	3
3	709488	9410172	2
4	715039	9406734	7
5	715374	9406996	6
6	709488	9409823	10
7	713041	9408557	12
8	713039	9407912	11
9	710510	9408244	5
10	712586	9410527	9
11	710310	9408525	4

12	710406	9408491	4
13	711470	9408349	2
14	711661	9408276	1,5
15	712703	9408920	5
16	712786	9407158	3
17	710660	9408261	3
18	709854	9409107	4
19	710949	9410755	3
20	711921	9409933	2

Quadro 2 – Poços utilizados por Pimentel (2013) no estudo de estruturas rúpteis que influenciam o sistema aquífero no núcleo Nova Marabá. Fonte: Pimentel, 2013

O mapa de zonas homólogas de drenagem aponta a zona homóloga I como detentora dos poços mais produtivos, com vazões que alcançam até 12 m³/h (Figura 16A).

Nos mapas topográfico (Figura 16B) e geomorfológico (Figura 17A), os poços com maior produtividade estão localizados dentro do sistema denudacional, entre as cotas 110 e 130 metros. De modo geral, estas regiões fazem parte da base das vertentes das colinas e morros com forte controle estrutural. Por outro lado, a maior parte dos poços com baixa produção, localiza-se em cotas inferiores a 110 metros e encontra-se localizada na transição do sistema denudacional para o agradacional.

Em se tratando da condicionante estrutural, os poços mais produtivos estão situados próximos a um acervo de feições lineares que se interceptam formando anomalias estruturais sob a forma de romboedros, cujas principais direções de alinhamentos são NNW-SSE com leves inflexões N-S e ENE-WSW com leves inflexões E-W (Figura 17B).

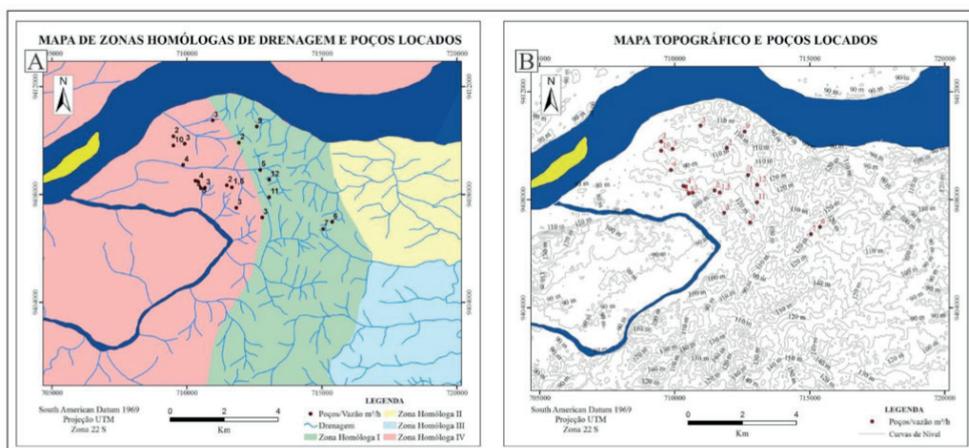


Figura 16 – Mosaico de Mapas e poços associados. (A) Mapa de zonas homólogas de drenagem e poços localizados e (B) Mapa Topográfico e poços localizados.

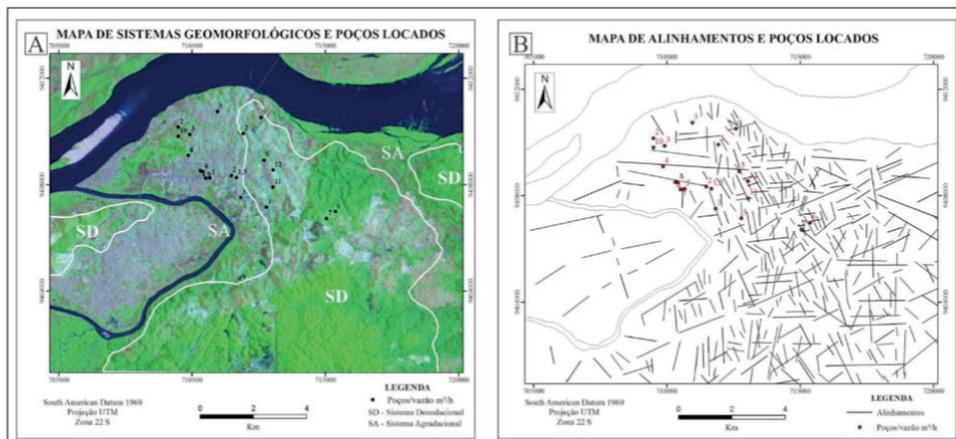


Figura 17 – Mosaico de Mapas e poços associados. (A) Mapa de sistemas geomorfológicos e poços localados. (B) Mapa de alinhamentos e poços localados.

5 | DISCUSSÃO SOBRE CONDICIONAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O aquífero fissural Couto Magalhães, em Marabá, demonstra relação direta com as condicionantes geológicas, hidrográficas, geomorfológicas e estruturais presentes na área urbana da cidade.

Litologicamente, o aquífero em apreço é formado por filitos, ardósias e micaxistos. A influência da constituição litológica em meios fraturados foi alvo dos estudos realizados por Legrand (1959). No trabalho realizado, filitos e ardósias embora se tratando de rochas pouco competentes e, conseqüentemente, favoráveis a intenso fraturamento, apresentaram fraturas mais fechadas em relação às rochas com maior competência como os gnaisses e granitos, desfavorecendo, portanto, vazões elevadas. Em contrapartida, os micaxistos além da característica promissora ao fraturamento, apresentam certa permeabilidade em função da xistosidade constituindo as melhores rochas para infiltração e armazenamento de água em aquíferos cristalinos (FEITOSA et al, 2008).

Levando em consideração essas afirmações, observa-se, de modo geral, compatibilidade dos estudos realizados com a condicionante litológica presente no aquífero alvo deste estudo. No entanto, embora filitos e ardósias sejam rochas com fraturas mais fechadas e com baixa permeabilidade, não se pode descartar a diversidade dos outros fatores endógenos e exógenos que condicionam a infiltração, o fluxo e armazenamento de água no meio fissural. Enquanto Legrand (1959) descreve vazões em torno de 2.4 m³/h para filitos e ardósias em Halifax, Pimentel (2013) reconhece valores que alcançam até 12 m³/h para os mesmos litotipos presentes no aquífero Couto Magalhães na cidade de Marabá. Dessa forma, os dados abordados e interpretados nesta pesquisa, evidenciam a influência de outros fatores no condicionamento hidrogeológico do meio fraturado em Marabá.

A rede de drenagem, extraída a partir de sensores remotos e analisada por meio da metodologia adotada por Soares e Fiori (1967) e Lima (2002), consta de uma série de elementos apresentados no quadro 1 (pág-34), bem como indica que a maioria dos poços produtivos apresentado por Pimentel (2013), encontra-se localizada em uma zona homóloga caracterizada por alta densidade de drenagem e forte controle estrutural. O controle tectônico é comprovado, ainda, pelo mapa de fotoalinhamentos que se encontra densamente carregado e consta de estruturas retilíneas e curvo lineares que se interceptam formando estruturas romboédricas que são observadas em escala mesoscópica nas rochas da região. Pinheiro (2000), descreve feições semelhantes a estas em zonas de fraturamento do aquífero fissural do município de Mombaça no estado do Ceará. A autora interpreta essas linhas retilíneas de drenagem que formam um padrão anômalo romboédrico como fraturas resultantes dos esforços aplicados durante a deformação das rochas, assim como os indica como pontos potenciais para ocorrência de água subterrânea e locação de poços.

O potencial hídrico para topo, vertente e depressão em bacias hidrográficas já foi apresentado por Legrand (1959) e apresentado por Feitosa et al. (2008). De acordo com os autores, enquanto valores mais baixos de vazão são encontrados em poços locados nos topos dos morros e colinas, valores mais elevados são reconhecidos naqueles presentes nas depressões das bacias, restando, portanto, valores intermediários para poços em vertentes. No entanto, a distribuição topográfica e geomorfológica dos poços apresentados por Pimentel (2013), mostra que os poços mais produtivos do aquífero Couto Magalhães, na área em apreço, estão locados em condições topográficas entre 110 e 130 metros, mais precisamente, próximo à base das vertentes das colinas e morros das regiões mais centrais do sistema denudacional. Por outro lado, a maior parte dos poços menos produtivos, não alcançam cotas topográficas superiores a 110 metros e encontram-se localizados nas porções mais periféricas do sistema denudacional, mais especificamente, na transição para o sistema agradacional.

Baseado nessas considerações, uma das possibilidades a ser considerada para os dados de vazão de Pimentel (2013), seria uma menor quantidade de estruturas que influenciam a infiltração e armazenamento de água em direção ao sistema agradacional o que, por sua vez, é bem ilustrada no mapa de fotoalinhamentos. Dessa forma, as boas vazões seriam resultantes da recarga nas próprias fraturas abertas, bem como nas foliações das rochas, ambas interconectadas a outras fraturas e/ou falhas abertas nestas regiões, tornando assim, os poços mais eficientes sem direção ao sistema agradacional. Além disso, em direção ao sistema agradacional, as geoformas são marcadas por coberturas de material predominantemente argiloso e, conseqüentemente, com baixa permeabilidade, o que enfraquece o fluxo do fluido.

A aplicação de modelos estruturais que condicionam uma interpretação da disposição das estruturas tectônicas para o estudo de águas subterrâneas tem mostrado resultados positivos em diversos estudos hidrogeológicos (PINHEIRO, 2000; BARBOSA &

NETO, 2000).

Os dados geológicos informados, somados aos fotointerpretados e aos coletados em campo, mostram os *trends* principais da área, bem como favorecem a aplicação do elipsoide de McCLAY (1994) para análise das estruturas tectônicas que controlam o condicionamento hidrogeológico da cidade. As direções NW-SE, NNW-SSE e N-S são assinaladas por zonas de cisalhamento de carácter sinistral com falhas de cavalgamentos e dobras associadas, sendo a direção N-S o *trend* preferencial da foliação das rochas da Formação Couto Magalhães. De modo geral, essas estruturas são reconhecidas como fechadas, exceto pela foliação que embora originalmente fechada, no sentido de não permitir taxas elevadas de fluxo de fluido, pode ser aberta quando submetida à reativação, intemperismo e descompressão (FEITOSA et al.; 2008). Por outro lado, as direções ENE-WNW, NE-SW e E-W são predominantemente abertas e, portanto, favorecem a infiltração e armazenamento de água. Essa afirmação é corroborada tanto pelo posicionamento relativo às estruturas abertas - falhas normais - presentes no elipsoide de McCLAY (1994) e reconhecidas durante as expedições de campo, quanto pelos rios e afluentes mais expressivos da rede de drenagem que podem estar encaixadas em falhas geológicas com direção E-W e ENE-WSW predominantemente (pág - 33).

O modelo estrutural aplicado neste trabalho, em princípio, apontaria como melhor localização para locação de poços produtivos, o cruzamento das fraturas essencialmente abertas NE-SW, NNE-SSW e E-W. Não obstante, levando em consideração os dados obtidos das condicionantes estruturais e fotogeológicas, constata-se a grande contribuição das estruturas NNW-SSE com expressivas inflexões N-S. Estas direções, embora relacionadas a estruturas originalmente fechadas e opostas àquelas primordialmente abertas, parecem estar relacionadas a fraturas longitudinais e à direção principal da foliação das rochas da Formação Couto Magalhães, sugerindo, portanto, significativa contribuição dessas estruturas ao aquífero em apreço. Além disso, há outros fatores a serem considerados como preenchimento de fraturas por material silto-argiloso ferrificado e/ou quartzo. Esse preenchimento ocorre comumente nas fraturas das mais diversas direções e implica em uma barreira hídrica para infiltração e armazenamento de água.

Portanto, baseado nas considerações acima, descarta-se a caracterização do condicionamento hidrogeológico, do aquífero em apreço, a partir de fatores isolados, bem como também se fortalece a necessidade de confrontar diversas variáveis para determinar as localidades favoráveis à locação de poços com boa vazão. Neste aspecto, a relação das condicionantes examinadas, neste trabalho, com os poços apresentados por Pimentel (2013), mostra que embora o aquífero Couto Magalhães seja constituído essencialmente por filitos e menores proporções de ardósias e micaxistos, é possível que se encontre poços com vazões consideráveis ao meio fraturado. As análises realizadas apontam que poços mais produtivos estão situados próximo a alinhamentos de direção ENE-WSW, E-W e NNW-SSE que, ocasionalmente, interceptam-se formando romboedros. Além disso, estes

poços ocorrem em uma zona homóloga de drenagem caracterizada por alta densidade e forte estruturação. As principais formas de relevo nesta área são morros e colinas do sistema geomorfológico denudacional, cujos poços com melhor vazão ocorrem próximos à base dessas geoformas, entre as cotas de 110 e 130 metros, sendo possível que estejam explorando descontinuidades abertas interconectadas e observadas no elipsoide de McCLAY (1994).

6 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho analisou os principais fatores que condicionam o aquífero Couto Magalhães na cidade de Marabá, utilizando dados de hidrogeologia, fotogeologia e informações obtidas em campo, organizados em uma base cartográfica. Os fatores estudados incluíram o clima, a geologia, a hidrografia, a geomorfologia e a análise de estruturas rúpteis e dúcteis presentes nas rochas. O meio cristalino predominante é composto por filitos, seguidos de menores proporções de ardósias e micaxistos, caracterizando uma região de baixa permeabilidade, o que dificulta a infiltração e o armazenamento de água subterrânea.

A rede de drenagem da área apresenta forte controle estrutural, com alta densidade na zona homóloga I. A geomorfologia é marcada pelos sistemas agradacional e denudacional. O sistema agradacional é representado por regiões aluvionares constituídas predominantemente por pacotes espessos e extensos de material argiloso a argilo-arenoso, o que desfavorece o fluxo de água devido à baixa permeabilidade. Por outro lado, o sistema denudacional é formado por morros e colinas com forte controle estrutural.

A análise das estruturas, baseada na literatura e confirmada pelos dados de campo, mostrou que as direções E-W e NE-SW são abertas e apresentam potencial para acumulação de água. Além disso, estruturas NNW-SSE também exercem influência significativa, principalmente nos cruzamentos com as direções abertas, onde foram identificados poços com vazões expressivas.

Dessa forma, as melhores condições para locação de poços foram observadas nas zonas com alta densidade de drenagem, situadas próximas à base das geoformas do sistema denudacional, sob o controle de estruturas E-W ou ENE-WSW, cruzadas com estruturas NNW-SSE. Essas configurações estruturais formam padrões romboédricos que favorecem a infiltração e o armazenamento de água subterrânea.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H.G.; MARINHO, P.A.C.; MARTINS, R.C. Marabá Folha SB.22-X-D: estados 1518 do Pará, Maranhão e Tocantins: escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2001. Programa 1519 Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

Anderson, E.M. 1942. *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation*. London: Oliver Boyd.

BARBOSA, M.F., SILVA NETO, A.F. & SANTOS, M.J. **Aplicação de dados de baixa resolução espacial TM/LANDSAT-5, na pesquisa de águas subterrâneas na bacia do alto rio Surucu**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8,1994, Recife. Anais...Recife: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1994, p.395-404.

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, José Roberto; DA ROSA FILHO, Ernani Francisco. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Ed. dos Autores, 2004.

CASA DA CULTURA DE MARABÁ. Arquivo pessoal fornecido em mídia. Dados relevantes ao ano de 2009.

CONAMA. RESOLUÇÃO 396/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Costa, W. D. - 1985, **Avaliação dos Critérios de Locação de Poços em Rochas Cristalinas**. Anais do 1º Simpósio Nacional de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas, Belo Horizonte.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1996. Disponível em: <www.cprm.gov.br>.

FEITOSA, AC; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**, v. 2, p. 13-33, 2000.

FEITOSA, F. A. C. et al. **HIDROGEOLOGIA: conceitos e aplicações**. Organização e coordenação científica: 3º ed. ver. e ampl. **Rio de Janeiro: CPRM: LABHID**, v. 812, 2008.

FELIPE, L. B. **GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E MORFOTECTÔNICA DA REGIÃO DE MARABÁ – PA**. 2012. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

FOSSSEN, H. Geologia Estrutural. 2012. **Editora Oficina de Textos. São Paulo**.

LARSSON, I. Groundwater in hard rock. *In*: **GROUND WATER IN HARD ROCKS INTERNATIONAL SEMINAR**, Cagliari. **Anais...Stockholm, Sweden**, 1997, 40p.

LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás, 2006.

LEGRAND, H. E. **Groundwater of the Piedmont and Blue Ridge Provinces of the Southeastern States**. US Geol. Survey. Circular. 238: 11. 1967.

Lima M.I.C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: 2002, CD-ROM

NEVES, Mirna Aparecida. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiáí (SP)**. 2005.

McCLAY, K.-1994- **The mapping of geological structures**. Ed. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, 161p.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; CORRÊA Filho, Diogo (Coord.). **Ensaios de permeabilidade em solos: orientações para sua execução**. 3. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1996. (Boletim, n. 4).

PASSOS, J. P.; PINHEIRO, A.V.R; HENTZ A.; **Subsídio para a elaboração de EIA/RIMA para área de extração de argila a partir da caracterização geológica na planície de inundação do rio Itacaiúnas em Marabá/PA.** 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, 2013.

PIMENTEL, E. N. **Análise das estruturas rúpteis e suas relações com a hidrogeologia do núcleo Nova Marabá, cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pará, Marabá-PA. 2013.

PINHEIRO, A.V.R. **Sensoriamento remoto aplicado à hidrogeologia de meio cristalino no município de Mombaça – estado do Ceará.** Dissertação de Mestrado. Hidrogeologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2000.

PRIMAZ. Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia. Superintendência Regional de Belém. Potencialidades hidrogeológicas da área urbana de Marabá com proposta técnica para perfuração de poços tubulares para abastecimento de água subterrânea. Marabá, 1996.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas.** Academia Brasileira de Ciências. São Paulo: USP. 1996.

SANTANA, A.F. **Análise geométrica e cinemática dos elementos litoestruturais das formações açuruá, tombador e caboclo na região norte de Lençóis – Chapada Diamantina – Bahia.** Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal da Bahia, Salvador- BA, 2011.

SILVA, V.G. **Diagnóstico preliminar do abastecimento de água no núcleo nova marabá na cidade de Marabá/PA – uma contribuição à gestão dos recursos hídricos.** Universidade Federal Do Pará, Centro De Geociências, Curso De Especialização Em Gestão Hídrica E Ambiental, 2008.

SIQUEIRA, L. **Contribuição da geologia à pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino.** Sudene, Recife/PE, 51p. 1963.

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

SOUZA, S.C.R; SANTOS JÚNIOR, A.E.A. **Fácies e estratigrafia da sedimentação proximal da Formação Barreiras, sul do Sistema de Grabén do Marajó, região de Marabá.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45º, 2010, Belém. Desenvolvimento e mudanças globais: a importância das geociências. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010.

TUNDISI, José Galizia. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado.** Ciência e Cultura, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

WENDLAND, E. **Modelos Matemáticos e Métodos Numéricos em Águas Subterrâneas.** São Carlos, SP: SBMAC, 2003 xii, 95 p. - (Notas em Matemática Aplicada; 3).