



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**NICOLLE CERQUEIRA SAMPAIO**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CONTROLES  
ESTRUTURAIS E HIDROTERMAIS DA MINERALIZAÇÃO AURÍFERA  
DA MINA DO PAIOL, ALMAS (TO)**

São Cristóvão  
2026

NICOLLE CERQUEIRA SAMPAIO

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE E CONTROLES  
ESTRUTURAIS E HIDROTERMAIS DA MINERALIZAÇÃO  
AURÍFERA DA MINA DO PAIOL, ALMAS (TO)**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz

**BANCA EXAMINADORA:**

- A) Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz (DGEOL-UFS)
- B) Prof. Dr. Luiz Henrique Passos (DGEOL - UFS)
- C) Geol. Débora Ellen Santos Ribeiro (Aura Minerals)

Monografia de Conclusão de  
Curso apresentada como requisito  
para a obtenção do Título de  
Bacharel em Geologia pela  
Universidade Federal de Sergipe.

São Cristóvão  
2026



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me conceder força e resiliência ao longo destes anos de graduação, repletos de desafios, alegrias e conquistas.

Aos meus pais, Lúcia Carneiro e Miranda Sampaio, pelo amor incondicional e por terem sido o alicerce de toda a minha vida e educação. Às minhas irmãs, Lorena e Amanda, por acreditarem em mim mais do que eu mesma. Aos meus cunhados, Adriano e Diego, pelo apoio e cuidado.

À minha amiga Mayana Selestino, irmã de alma, pelos conhecimentos compartilhados, conselhos e incentivos, que foram essenciais e ficarão sempre lembrados.

Aos colegas de turma, que tornaram incríveis todos esses anos de geologia, em especial Luana Áfele, Kedma Dourado, Ádila Renally, Fillipe de Paula, Isadora Fiuza, Nívia Lopes e Luiz Henrique Brito.

Aos colegas de trabalho, João Pedro, Paulo e Marília, que se tornaram grandes amigos e tornaram os dias de escrita mais leves e divertidos. Em especial, a Neres Júnior, pelo companheirismo, incentivo e suporte constante, essenciais para a conclusão desta etapa.

Agradeço ao geólogo Josafá Santos pelos ensinamentos e orientação, fundamentais para a construção deste trabalho e uma verdadeira inspiração profissional. Aos geólogos Thiago Xavier e Davi Saldanha, pelo acompanhamento e valiosas orientações. À Débora Ellen Santos Ribeiro, pelo carinho, disponibilidade e por abrir caminhos que possibilitaram oportunidades importantes.

À Marina Del Mestre, que viabilizou processos essenciais para a realização deste trabalho.

A todos os docentes do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe, pelo empenho em transmitir conhecimento e por lapidar-me ao longo destes anos como discente e futura geóloga. Em especial, ao Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz, pela orientação, direcionamento e confiança depositada em mim para o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

Depósitos auríferos hospedados em sequências de *Greenstone Belt* requerem abordagens integradas para a adequada compreensão de seus controles litológicos, estruturais e hidrotermais. No município de Almas, sudeste do estado do Tocantins, localiza-se o depósito aurífero Paiol, inserido no extremo norte da Faixa Brasília, na base do Grupo Riachão do Ouro, em contexto geológico associado a *Greenstone Belt*. A área é caracterizada por rochas metamorizadas na fácies xisto verde, posteriormente afetadas por eventos hidrotermais. Nesse cenário, este trabalho teve como objetivo a elaboração do mapa litológico-estrutural de detalhe da Mina Paiol, com foco na identificação e caracterização das litologias, na interpretação dos principais controles estruturais e na análise da relação entre os teores de Au, os litotipos e os estilos de alteração hidrotermal. A metodologia integrou o mapeamento geológico da cava, a descrição de furos de sondagem rotoperfussiva de circulação reversa (RC), análises geoquímicas de amostras de RC e pontuais de rocha por fire assay com leitura por MP-AES, além da interpretação dos dados e do tratamento estatístico aplicado aos resultados geoquímicos. O mapeamento permitiu a individualização de cinco litotipos principais, derivados de um protólito vulcânico máfico da Formação Córrego do Paiol, o qual, segundo dados regionais e estudos petrográficos prévios, foi submetido a metamorfismo em fácies anfibolito e posteriormente retrometamorfizado para condições de fácies xisto-verde. Na área da Mina Paiol, esses litotipos encontram-se intensamente retrabalhados por cisalhamento transcorrente dúctil e por processos de alteração hidrotermal, reconhecidos macroscopicamente por associações mineralógicas envolvendo cloritização, sericitização, carbonatação, silicificação e sulfetação. Foram reconhecidas zonas de cisalhamento com orientação preferencial NNE–SSW, responsáveis pelo desenvolvimento de foliação milonítica penetrativa e pelo controle geométrico da mineralização. A análise estatística por litologia indica que os maiores teores médios de ouro estão associados aos litotipos mais deformados e mais intensamente silicificados, evidenciando a relação direta entre permeabilidade estrutural, interação fluido-rocha e eficiência de precipitação do metal. O primeiro mapa geológico de detalhe da Mina Paiol permitiu representar as zonas de cisalhamento dúcteis de caráter dextral que controlam o depósito, influenciam a direção e a continuidade da mineralização e definem a arquitetura interna das litologias hospedeiras.

**Palavras-chave:** Mina Paiol; Mineralização Aurífera; Zona de Cisalhamento; Depósito de Ouro Orogênico.

## ABSTRACT

Gold deposits hosted in greenstone belt sequences require integrated approaches for the proper understanding of their lithological, structural, and hydrothermal controls. In the municipality of Almas, southeastern Tocantins State, the Paiol gold deposit is located at the northernmost portion of the Brasília Belt, at the base of the Riachão do Ouro Group, within a greenstone belt–related geological setting. The area is characterized by rocks metamorphosed under greenschist facies conditions and subsequently affected by hydrothermal events. In this context, this study aimed to produce a detailed lithological–structural map of the Paiol Mine, focusing on the identification and characterization of lithologies, the interpretation of the main structural controls, and the analysis of the relationship between Au grades, lithotypes, and hydrothermal alteration styles. The methodology integrated open-pit geological mapping, description of reverse circulation (RC) drill holes, geochemical analyses of RC samples and grab rock samples by fire assay with MP-AES determination, as well as data interpretation and statistical treatment of the geochemical results. The mapping allowed the individualization of five main lithotypes, derived from a mafic volcanic protolith of the Córrego do Paiol Formation, which, according to regional data and previous petrographic studies, was subjected to amphibolite facies metamorphism and subsequently retrogressed to greenschist facies conditions. In the Paiol Mine area, these lithotypes are intensely reworked by ductile transcurrent shear and hydrothermal alteration processes, macroscopically recognized by mineral assemblages involving chloritization, sericitization, carbonation, silicification, and sulfidation. Shear zones with a preferential NNE–SSW orientation were recognized, responsible for the development of penetrative mylonitic foliation and for the geometric control of mineralization. Lithology-based statistical analysis indicates that the highest average gold grades are associated with the most deformed and most intensely silicified lithotypes, highlighting the direct relationship between structural permeability, fluid–rock interaction, and metal precipitation efficiency. The first detailed geological map of the Paiol Mine enabled the representation of dextral ductile shear zones that control the deposit, influence the direction and continuity of mineralization, and define the internal architecture of the host lithologies.

**Keywords:** Paiol Mine; Gold Mineralization; Shear Zone; Orogenic Gold Deposit.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO .....	14
1.1.1	Objetivos Gerais .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
1.2	LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....	15
1.3	ÁREA DE ESTUDO.....	16
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
1.4.1	Levantamento Bibliográfico .....	16
1.4.2	Etapa Pré-campo: preparação cartográfica e planejamento do mapeamento.....	17
1.4.3	Etapa de Mapeamento Geológico de Detalhe .....	17
1.4.4	Etapa pós-campo: organização e sistematização dos dados .....	20
1.4.5	Etapa de descrição da sondagem rotoperfussiva de circulação reversa .....	23
1.4.6	Etapa de Amostragem e Análises Químicas .....	24
1.4.7	Análise e Interpretação de Dados.....	27
1.4.8	Elaboração dos produtos cartográficos e redação do trabalho.....	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	28
2.1	DEPÓSITOS DE OURO OROGÊNICO .....	28
3	GEOLOGIA REGIONAL .....	33
3.1	PROVÍNCIA TOCANTINS .....	33
3.1.1	Faixa Brasília .....	36
4	GEOLOGIA LOCAL .....	43
4.1	DOMÍNIO ALMAS-CONCEIÇÃO DO TOCANTINS .....	43
4.1.1	Grupo Riachão do Ouro .....	45
4.1.2	Complexo Ribeirão das Areias .....	47
4.1.3	Suíte Conceição do Tocantins .....	47
4.1.4	Granito Príncipe.....	48
4.2	CONTEXTO GEOLÓGICO E HISTÓRICO DA MINA PAIOL.....	49
5	RESULTADOS .....	51
5.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA MINA PAIOL .....	51
5.1.1	Sericita-quartzo xisto (SQX) .....	51
5.1.2	Sericita-dolomita-quartzo xisto (SDQX).....	53
5.1.3	Calcita-dolomita-quartzo xisto (CDQX).....	55

5.1.4	Quartzo-calcita-clorita xisto (QCCX).....	57
5.1.5	Quartzo-sericita-anfibólio-clorita xisto (QSACX).....	58
5.1.6	Características da Mineralização Aurífera da Mina Paiol .....	61
5.2	GEOLOGIA ESTRUTURAL DA MINA PAIOL.....	61
5.3	RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE OURO NAS AMOSTRAS DE ROCHA E SONDAGEM RC DA MINA PAIOL .....	65
5.3.1	Amostragem de rocha .....	65
5.3.2	Resultados de Au nas amostras da Sondagem RC.....	66
6	DISCUSSÕES .....	74
6.1	INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA E CONTROLES ESTRUTURAIIS .....	74
6.2	CONTROLES DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE OURO NA MINA PAIOL .....	75
6.3	Comparação das paragêneses minerais com modelos clássicos de alteração HIDROTHERMAL em depósitos auríferos orogênicos.....	76
7	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização e acesso da área de estudo.....	15
<b>Figura 2</b> – Mapa topográfico da Mina Paiol com quadrículas utilizadas para organizar o mapeamento de detalhe. ....	19
<b>Figura 3</b> – Imagens ilustrando o mapeamento de detalhe e aquisição dos dados estruturais na Mina do Paiol. ....	20
<b>Figura 4</b> – Imagem ilustrando o banco de dados.....	21
<b>Figura 5</b> – Mapa de pontos litológicos e estruturais da Mina do Paiol.....	22
<b>Figura 6</b> – Descrição de caixas de amostras de sondagem RC na Mina Paiol. ....	24
<b>Figura 7</b> - Modelo esquemático de margem convergente com subducção oceânica, ilustrando a distribuição dos principais tipos de depósitos auríferos ao longo de diferentes domínios tectônicos. ....	29
<b>Figura 8</b> - Formação do depósito de Au orogênico em regime compressional a transpressional em ambiente de greenstone ( fácies xisto verde a anfibolito superior). ....	29
<b>Figura 9</b> - Classificação dos depósitos de Au orogênico quanto a sua profundidade de formação: epizonal, mesozonal e hipozonal.....	30
<b>Figura 10</b> - Distribuição de rochas paleoproterozoicas no escudo brasileiro. (T) Província do Tocantins, (A) Faixa Araguaia, (P) Faixa Paraguai, (B) Faixa Brasília, (BOR) Província de Borborema, (M) Província da Mantiqueira. ....	35
<b>Figura 11</b> - Mapa estrutural e de compartimentação da Faixa Brasília. ....	38
<b>Figura 12</b> – Mapa de domínios do Maciço de Goiás. ....	42
<b>Figura 13</b> – Mapa Geológico local evidenciando a geologia do entorno da Mina Paiol (área Paiol). ....	48
<b>Figura 14</b> - Afloramento da litologia sericita-quartzo xisto (SQX), intensamente silicificado, com foliação milonítica definida pela orientação preferencial da	

sericita. Observam-se <i>boudins</i> de quartzo assimétricos, interpretados como indicadores cinemáticos de cisalhamento destrai. ....	52
<b>Figura 15</b> - Amostra de mão da litologia Sericita-Quartzo Xisto. ....	53
<b>Figura 16</b> - Talude da litologia SDQX. ....	54
<b>Figura 17</b> - SDQX foliado com bandas finas de quartzo e py fina disseminada e euédrica bandada. ....	55
<b>Figura 18</b> - Afloramento de CDQX em gradação com o QCCX. ....	56
<b>Figura 19</b> - Amostra de mão da litologia CDQX com enfoque na pirita euédrica e fina bandada, paralela aos planos da foliação bem marcado. ....	56
<b>Figura 20</b> - Talude da litologia QCCX. ....	57
<b>Figura 21</b> - (a) QCCX com bandas de py euédrica. (b) veio de calcita com quartzo e pirita fina no QCCX. ....	58
<b>Figura 22</b> - (a) Afloramento do QSACX. (b) QSACX com veio de quartzo carbonatado e veio de epídoto. (c) QSACX com pirita euédrica grossa e disseminada. ....	59
<b>Figura 23</b> - Mapa geológico da Mina Paiol .....	60
<b>Figura 24</b> - Foliação milonítica marcada pela sericita e estiramento do quartzo. ....	62
<b>Figura 25</b> - Em (a) estereograma das foliações miloníticas, em (b) estereograma de lineação de estiramento mineral. ....	63
<b>Figura 26</b> - Estereogramas com a média da foliação milonítica (a) e a média da lineação de estiramento mineral (b). ....	63
<b>Figura 27</b> - (a) Plano de falha e em (b) zona de cisalhamento. ....	64
<b>Figura 28</b> - (a) Medidas estruturais das zonas de cisalhamento com média indicada pela linha azul tracejada, em (b) medidas estruturais dos planos de falha. ....	64
<b>Figura 29</b> - Seção geológica transversal A - A' dos furos Paiol 01, 02 e 03. ....	69

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1</b> - Resultado das análises de teor de Au em amostras de rocha.....	65
<b>Tabela 2</b> - Análise química de teor do furo Paiol 01. ....	66
<b>Tabela 3</b> . Análise química de teor do furo Paiol 02.....	67
<b>Tabela 4</b> . Análise química de teor do furo Paiol 03.....	68
<b>Tabela 5</b> - Estatística descritiva dos teores de Au (ppm) por litologia nos furos Paiol 01, 02 e 03 .....	70
<b>Tabela 6</b> - Teor médio de Au, mineralogia média estimada dos litotipos e coeficiente de correlação de Pearson (r).....	72
<b>Tabela 7</b> - Correlação entre teores médios de Au e associações minerais (paragêneses) obtidas pela soma dos percentuais minerais .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

O ouro (Au) é um elemento químico que ocorre na natureza como um metal de cor amarela e brilho característico, apresentando dureza entre 2,5 e 3 na escala de Mohs e densidade variando entre 15 e 19,3 g/cm<sup>3</sup>. Cristaliza-se no sistema isométrico e destaca-se por suas propriedades físico-químicas, como elevada condutividade elétrica, resistência à oxidação e alta maleabilidade, características que o tornam amplamente utilizado em diferentes setores industriais (Hough, Butt & Fischer-Bühner, 2009).

Entre suas principais aplicações, destacam-se a joalheria, as finanças e investimentos, indústria eletrônica, médica e aeroespacial, além da fabricação de medalhas e prêmios. Na indústria de alta tecnologia, por exemplo, fios de ouro são utilizados em sistemas de micro-ondas, equipamentos aeroespaciais e dispositivos eletrônicos de difícil manutenção, devido à sua durabilidade e alta condutividade. Na joalheria, o ouro é geralmente empregado em liga com a prata e cobre (ouro amarelo), com níquel (ouro branco), paládio ou platina (Lobato & Costa, 2018).

Do ponto de vista financeiro, o ouro é amplamente reconhecido como um ativo de proteção contra a inflação, a desvalorização cambial e períodos de instabilidade econômica, uma vez que não está diretamente vinculado a governos ou moedas fiduciárias. Sua elevada liquidez no mercado global e sua resistência à corrosão reforçam sua posição como um dos ativos mais confiáveis do sistema financeiro internacional. Esses fatores sustentam e justificam os investimentos contínuos em projetos de exploração e mineração de ouro, especialmente em países com elevado potencial geológico, como o Brasil (Souza, 2023).

O Brasil apresenta uma expressiva produção de ouro (ANM, 2024), com depósitos concentrados principalmente em terrenos arqueanos, paleoproterozoicos e neoproterozoicos. Dados indicam que, entre 1982 e 1999, o país possuía dez grandes minas de ouro, com produção superior a 20 toneladas, e sete minas de menor porte, com produção entre 3 e 8 toneladas, destacando-se os depósitos hospedados em greenstone belts arqueanos

(Lobato et al., 2016; AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2024). Esses cinturões, assim como o Greenstone Belt de Almas, constituem importantes alvos de exploração mineral por estarem associados a ambientes geológicos favoráveis à formação de depósitos do tipo ouro orogênico (Groves et al., 1998; Porto, Palermo & Pires, 2002).

O Greenstone belt de Almas, localizado na porção sul da Província Tocantins, integra o Maciço de Goiás e é constituído por uma sequência de rochas metavulcânicas da Formação Córrego Paiol, sobrepostas por unidades metassedimentares da Formação Morro do Carneiro, intrudidas por corpos graníticos. As rochas da Formação Córrego Paiol foram metamorfizadas em fácies anfíbolito, e posteriormente retrometamorfizadas para fácies xisto verde. As áreas afetadas pelas zonas de cisalhamento sofreram deformação dúctil e alteração hidrotermal, condições que favoreceram a formação da mineralização aurífera na região (Ferrari; Choudhuri, 2004).

A Mina Paiol, localizada no município de Almas, insere-se neste contexto de Greenstone Belt. Descoberta em 1980 e representando o maior depósito aurífero da região - com recursos medidos e indicados de 690 mil onças de ouro (AURA MINERALS INC., 2025), a mina está hospedada em anfíbolitos hidrotermalizados em zona de cisalhamento transcorrentes característicos de depósitos de ouro orogênico (Ferrari; Choudhuri, 2004).

Diante da relevância geológica e econômica da Mina do Paiol, o presente trabalho tem como objetivo realizar o mapeamento geológico de detalhe da cava Paiol, com ênfase na caracterização das litologias e das estruturas que controlam a mineralização aurífera. O estudo baseia-se na integração de dados de mapeamento geológico de campo, descrições de furos de sondagem rotoperfuração de circulação reversa e resultados de análises químicas de ouro, com apoio de métodos estatísticos, visando à elaboração de um mapa litológico-estrutural detalhado da unidade e à compreensão dos fatores que influenciam a distribuição do ouro.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo desta monografia é elaborar um mapa geológico de detalhe da cava da Mina Paiol, na unidade Almas, pertencente à mineradora Aura Minerals Inc. Por se tratar do primeiro mapa litológico-estrutural da unidade, este trabalho tem como finalidade caracterizar os padrões geométricos das litologias, identificar os principais controles estruturais da mineralização aurífera e compreender sua distribuição espacial. Para isso, são integrados dados de mapeamento geológico de campo, descrições de furos de sondagem rotoperussiva de circulação reversa (RC) e resultados de análises químicas de ouro em amostras de RC e amostras pontuais de rocha, com apoio de métodos estatísticos para avaliação dos controles da mineralização.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

1. Realizar o mapeamento geológico de detalhe da cava da Mina Paiol, em escala 1:1.000.
2. Identificar os principais tipos litológicos, suas relações de contato e disposições em campo;
3. Interpretar os controles estruturais da mineralização aurífera, visando compreender os principais os fatores que influenciam sua distribuição espacial;
4. Analisar os resultados químicos de ouro obtidos em amostras de sondagem RC e em amostras pontuais de rocha, avaliando sua variação em função das litologias e da posição espacial.

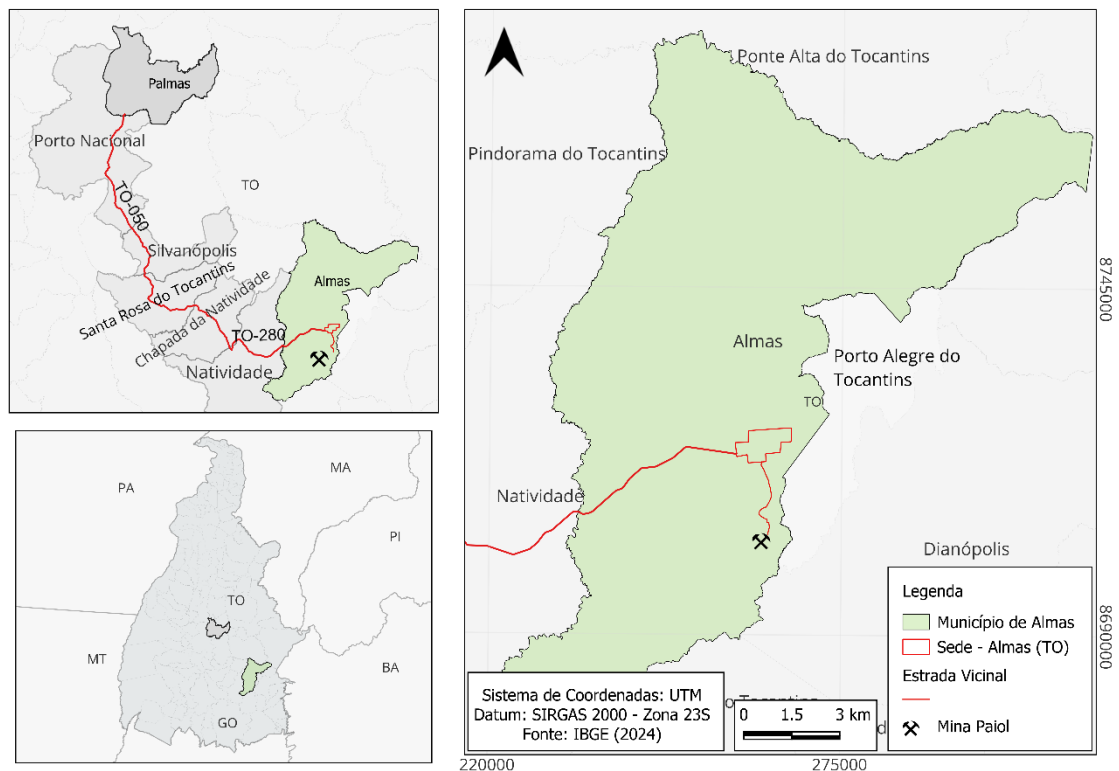
5. Aplicar métodos de estatística descritiva e análise de correlação para investigar a relação entre os teores de Au, os litotipos, as associações minerais (paragêneses) e os estilos de alteração hidrotermal.

6. Elaborar um mapa litológico-estrutural, representando as unidades mapeadas e os elementos estruturais do depósito.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está situada na região Norte do país, mais precisamente no sudeste do estado do Tocantins, no município de Almas, a aproximadamente 298 km de Palmas, capital estadual (Figura 1). O acesso à região é feito predominantemente pela rodovia estadual TO-050, passando pelos municípios de Porto Nacional e Silvanópolis até Santa Rosa do Tocantins. Deste ponto, o trajeto prossegue em direção a Natividade e, por meio da rodovia TO-280, alcança Almas. O empreendimento localiza-se a 17 km ao sul da sede municipal, sendo acessado por estradas vicinais.

**Figura 1 - Mapa de localização e acesso da área de estudo.**



Fonte: Próprio autor (2025).

### 1.3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à jazida de ouro denominada Mina Paiol, com cerca de 1.500 m de comprimento e 745 m de largura. Trata-se de um depósito classificado no modelo de ouro orogênico, atualmente em lavra a céu aberto. A mina está localizada ao sul da sede do município de Almas, na porção sudeste do estado do Tocantins, inserida no Grupo Riachão do Ouro, em contexto geológico associado a um *greenstone belt*.

### 1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada de modo a atender diretamente aos objetivos propostos, com ênfase na elaboração de um mapa geológico de detalhe da cava da Mina Paiol e na interpretação dos controles litológicos e estruturais da mineralização aurífera. O desenvolvimento da monografia baseou-se na integração entre dados de mapeamento geológico de campo, descrições de furos de sondagem rotoperfussiva de circulação reversa (RC) e resultados de análises geoquímicas de amostras de RC e de amostras pontuais de rocha, complementados por revisão bibliográfica e por etapas de organização, análise e interpretação dos dados.

As etapas metodológicas foram organizadas de acordo com a sequência lógica de aquisição, tratamento e interpretação das informações, conforme descrito a seguir.

#### 1.4.1 Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico constituiu a etapa inicial do trabalho e teve como objetivo subsidiar a compreensão da geologia regional e local da área de estudo, bem como dos modelos metalogenéticos aplicáveis ao depósito. Foram consultados artigos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos, com foco nos aspectos litológicos, estruturais e metalogenéticos do Grupo Riachão

do Ouro e de depósitos auríferos do tipo orogênico associados a *greenstone belts*.

#### **1.4.2 Etapa Pré-campo: preparação cartográfica e planejamento do mapeamento**

A etapa de pré-campo envolveu a preparação da base cartográfica utilizada no mapeamento geológico de detalhe. Nessa fase, foi elaborado um mapa topográfico na escala 1:1.000, a partir do qual a área da cava Paiol foi subdividida em dezesseis quadrículas, com o objetivo de organizar o mapeamento, garantir a cobertura integral da área e apoiar as interpretações geológicas realizadas em campo (Figura 2).

Para a confecção da base topográfica, as curvas de nível foram geradas por meio do software Deswik CAD, utilizando a ferramenta *around polyfaces*, no menu *Contours*, aba *Geology*. Ainda nessa etapa, foram definidas as áreas passíveis de mapeamento, considerando a circulação de caminhões, as frentes de lavra e os riscos geotécnicos, de modo a assegurar a segurança das atividades de campo.

#### **1.4.3 Etapa de Mapeamento Geológico de Detalhe**

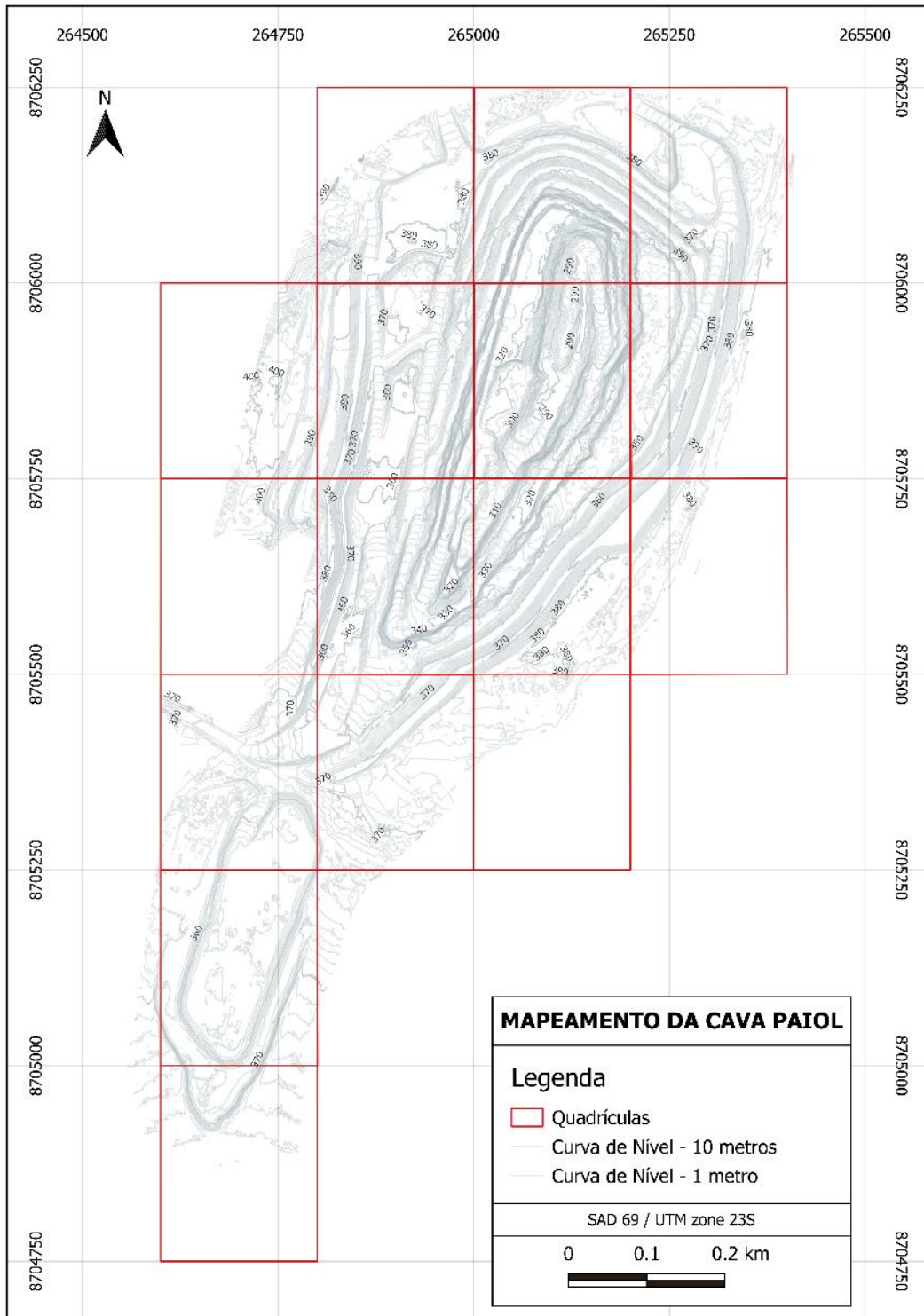
O mapeamento geológico de detalhe da cava da Mina Paiol foi conduzido em três campanhas distintas. A primeira ocorreu entre os dias 18 e 22 de outubro de 2024, a segunda entre 04 e 18 de dezembro de 2024 e a terceira consistiu em uma etapa contínua, integrada à rotina da mina, iniciada em 04 de fevereiro de 2025.

Durante essa etapa, foram mapeados 258 pontos na área da cava, nos quais foram realizadas descrições litológicas e coletadas medidas estruturais. Ao todo, foram obtidas 240 medições de foliação, 82 de lineação e 14 de planos de falha, as quais subsidiaram a interpretação dos controles estruturais da mineralização aurífera. A Figura 3 ilustra o mapeamento geológico de detalhe

realizado na Mina do Paiol, bem como a aquisição dos dados estruturais diretamente nas frentes de lavra, que subsidiaram a interpretação estrutural e a elaboração do mapa litológico estrutural da cava.

As atividades de campo foram realizadas com o auxílio de lupa de mão, caneta risca rocha, imã, martelo geológico, ácido clorídrico e caneta permanente. A coleta de dados estruturais foi efetuada com o uso de bússola do tipo Brunton, modelo Geo Pocket Transit (F 5010). Para a execução das atividades em cava, foram utilizados todos os equipamentos de proteção individual exigidos, incluindo máscara PFF2, bota de segurança, capacete com jugular, protetor auricular tipo concha e a análise preliminar de risco devidamente preenchida.

**Figura 2** – Mapa topográfico da Mina Paiol com quadrículas utilizadas para organizar o mapeamento de detalhe.



Fonte: Próprio autor (2024).

**Figura 3** – Imagens ilustrando o mapeamento de detalhe e aquisição dos dados estruturais na Mina do Paiol.



Fonte: Próprio autor (2024).

#### **1.4.4 Etapa pós-campo: organização e sistematização dos dados**

A etapa de pós-campo compreendeu a catalogação das amostras de mão, a organização das informações litológicas e estruturais em um banco de dados específico (Figura 4) e a plotagem dos pontos de mapeamento. Nessa fase, também foram realizadas a interpretação e a elaboração dos produtos cartográficos, incluindo o mapa de formas e o mapa de pontos litológicos e estruturais, por meio do *software QGIS*, versão 3.40.4 *Bratislava* (Figura 5).

Essas atividades permitiram a definição dos domínios litológicos e forneceram subsídios para a interpretação integrada das litologias e estruturas mapeadas.

Figura 4 – Imagem ilustrando o banco de dados.

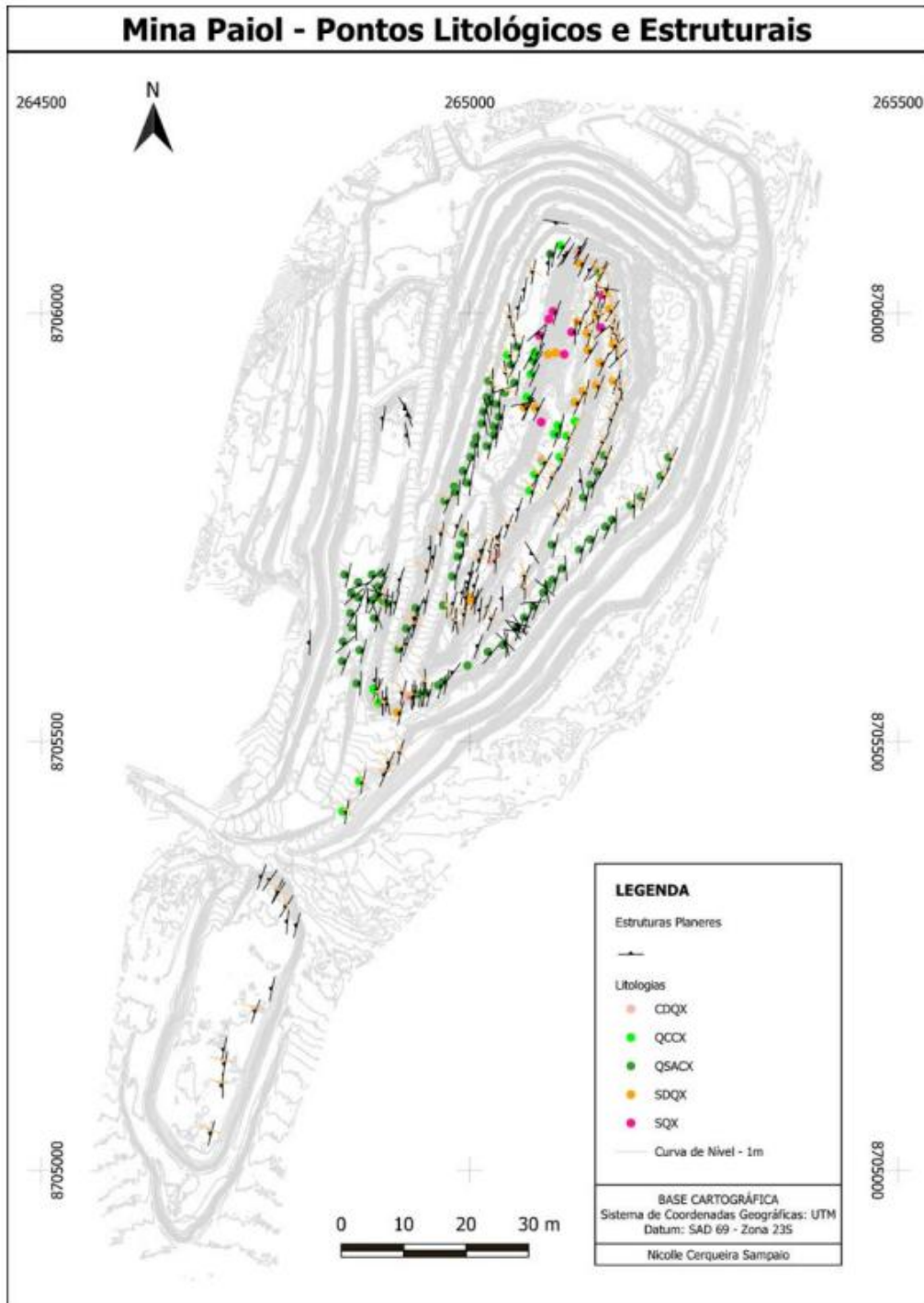
	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K
1	DATA	PONTO	X	Y	Z	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO DO PONTO	Responsável 1	Responsável 2	Responsável 3
219	06/02/2025	PAI-MAP-218	265063.60	8705890.00	281.28	QCCX	Contato com SDQX no piso e CDQX na parede do talude; magnetismo (I); SN 292/62 foliação da camada; Esta rocha (QCCX) e verde, apresenta Py grossa Berma 280, contato aproximado com QCCX do ponto anterior, Rocha cinza, veio de quartzo, apresenta silicificação, predomina sericitização, sulfeto oxidado e	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
220	06/02/2025	PAI-MAP-219	265063.90	8705890.00	279.75	SDQX	Foliação 296/57 SN, Zona sinuosa	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
221	06/02/2025	PAI-MAP-220	265076.60	8705890.00	280.22	SDQX		Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
222	06/02/2025	PAI-MAP-221	265066.70	8705902.00	281.56	QCCX	Sinuoso, Boudin, fluxo de py nas vênulas de quartzo do boudin, py grossa e fina (bastante), fluxo de ANK, clorita e sericita, Foliação 295/59 SN, ANK e sericita Foliação 294/58 SN, ANK ainda penetrando na foliação da rocha na base do talude, veio de carbonato, quartzo boudin,	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
223	06/02/2025	PAI-MAP-222	265071.50	8705929.00	281.18	QCCX	Afloramento é um plano de falha, apresenta veios de quartzo e carbonato, py grossa e fina formando bandas ao longo de todo talude,	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
224	12/02/2025	PAI-MAP-223	265073.80	8705945.00	281.18	QCCX	Afloramento apresenta coloração verde na base e cinza no topo, apresenta sericita no plano da foliação, com vênulas de carbonato e quartzo, Há alteração Foliação crenulada incipiente; boudin de qtz, Py fina disseminada; cor cinza escuro, silicificação presente, zona sinuosa, Fratura: 137/42, Foliação: 286/72,	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
225	12/02/2025	PAI-MAP-224	265076.10	8705954.00	280.44	QCCX	Apresenta-se com alteração intempérica, quartzo boudin, ( muito), silicificação, py fina e grossa no plano da foliação, cor cinza,	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
226	12/02/2025	PAI-MAP-225	265081.60	8705974.00	280.17	SDQX	Cor cinza (esbranquiçada devido a grande quantidade de sericita), tem veio de quartzo, e py fina no plano da foliação formando bandas,	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
227	12/02/2025	PAI-MAP-226	265091.50	8705952.00	276.83	SDQX	Bancada 275, Afloramento de cor cinza escuro foliação bem incipiente devido a grande intensidade da silicificação, Py fina disseminada e formando brndas (S),	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
228	12/02/2025	PAI-MAP-227	265100.50	8705954.00	277.68	SDQX	Cinza escuro, foliação incipiente, Bastante silicificação, py mais grossa do que comparada ao ponto anterior, Py esta acompanhando as vênulas de quartzo que	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
229	12/02/2025	PAI-MAP-228	265097.30	8706002.00	276.99	SDQX	Veio de quartzo, foliação presente, silicificação, fundo de cava 275	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
230	12/02/2025	PAI-MAP-229	265092.40	8705993.00	276.94	SDQX	cota 270; oitar liberação; centro da cava; Cor cinza( levemente esverdeada na foliação, devido a cloritização presente); Bastante silicificado(S); com muita py	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	Davi Saldanha
231	11/03/2025	PAI-MAP-230	265110.40	8705952.00	275.64	SDQX	Talude leste, py grossa, clorita, levemente foliado, bastante cinza esverdeado; SN 281/46 E 277/54	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	
232	11/03/2025	PAI-MAP-231	265083.50	8705873.00	270.04	SDQX	Apresenta foliação SN 295/ 61 e 290/76	Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	
233	11/03/2025	PAI-MAP-232	265102.70	8705869.00	271.33	QCCX		Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	
234	11/03/2025	PAI-MAP-233	265098.70	8705859.00	271.81	QCCX		Nicolle Sampaio	Marília Ahndrew	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DATA	PONTO	ESTRUTURA	Az	Dip	X	Y	Z			
2	18/10/2024	PAI-MAP-001	Sn	279	70	264852	8705419	384			
3	18/10/2024	PAI-MAP-001	Ln	223	45	264852	8705419	384			
4	18/10/2024	PAI-MAP-002	Sn	282	72	264871	8705454	367			
5	18/10/2024	PAI-MAP-002	Ln	240	60	264871	8705454	367			
6	18/10/2024	PAI-MAP-003	Sn	295	85	264897	8705463	361			
7	18/10/2024	PAI-MAP-003	Ln	190	25	264897	8705463	361			
8	18/10/2024	PAI-MAP-004	Sn	294	58	264902	8705477	359			
9	18/10/2024	PAI-MAP-004	Ln	225	50	264902	8705477	359			
10	18/10/2024	PAI-MAP-005	Sn	284	58	264915	8705489	356			
11	18/10/2024	PAI-MAP-005	Ln	242	42	264915	8705489	356			
12	18/10/2024	PAI-MAP-006	Sn	284	79	264915	8705534	351			
13	18/10/2024	PAI-MAP-007	Sn	272	64	264868	8705568	350			
14	19/10/2024	PAI-MAP-008	Sn	288	60	265126	8705990	284			
15	19/10/2024	PAI-MAP-008	Ln	222	55	265126	8705990	284			
16	19/10/2024	PAI-MAP-009	Sn	274	65	265119	8705978	287			
17	19/10/2024	PAI-MAP-010	Sn	282	72	265147	8705998	294			
18	19/10/2024	PAI-MAP-010	Ln	237	70	265147	8705998	294			
19	19/10/2024	PAI-MAP-011	Sn	284	78	265144	8706003	297			
20	19/10/2024	PAI-MAP-011	Ln	235	45	265144	8706003	297			
21	19/10/2024	PAI-MAP-013	Sn	300	65	265137	8706052	302			
22	19/10/2024	PAI-MAP-014	Sn	321	70	265147	8706052	301			
23	19/10/2024	PAI-MAP-014	Ln	220	60	265147	8706052	301			
24	19/10/2024	PAI-MAP-015	Sn	294	74	265150	8706049	307			
25	19/10/2024	PAI-MAP-015	Ln	300	70	265150	8706049	307			
26	19/10/2024	PAI-MAP-016	Sn	298	80	265151	8706048	309			
27	19/10/2024	PAI-MAP-016	Ln	290	60	265151	8706048	309			

Fonte: Próprio autor (2024).

**Figura 5** – Mapa de pontos litológicos e estruturais da Mina do Paiol.



Fonte: Próprio autor (2025).

#### **1.4.5 Etapa de descrição da sondagem rotopercussiva de circulação reversa**

A descrição das amostras de furos de sondagem rotopercussiva de circulação reversa constituiu uma etapa complementar ao mapeamento geológico de detalhe. As amostras tipo *chip* foram obtidas a partir de caixas contendo material britado, gerado por perfuração realizada com sonda Prospector W-100, operada pela empresa Geosedna.

A sondagem rotopercussiva de circulação reversa combina rotação e percussão, permitindo a perfuração de litologias mais densas e resistentes. Durante o processo, o ar injetado na sonda promove o transporte das amostras do fundo do furo até a superfície, por meio do interior das hastes, com comprimento individual de três metros. O material coletado é direcionado ao ciclone, onde ocorre o quarteamento e o armazenamento em caixas com capacidade para trinta metros de amostras (Figura 6), destinadas à posterior descrição litológica.

Na etapa de descrição, os intervalos foram separados de acordo com a litologia e caracterizados quanto à intensidade, em uma escala de 1 a 5, dos processos de epidotização, carbonatação, cloritização, sericitização e silicificação, bem como quanto à presença de veios de quartzo, magnetismo e sulfetos. Também foram descritos aspectos como cor, identificação de carbonatos, presença de caulinita, textura da pirita e outras observações relevantes, como a ocorrência de solo e saprólito.

Para essa etapa foi utilizado caneta risca rocha, imã, piloto para quadro branco para fazer as marcações dos contatos litológicos nas caixas, lupa com aumento de 20x e planilha para anotação das descrições e observações dos intervalos.

**Figura 6** – Descrição de caixas de amostras de sondagem RC na Mina Paiol.



Fonte: Próprio autor (2025).

#### **1.4.6 Etapa de Amostragem e Análises Químicas**

As amostras destinadas às análises químicas são provenientes de sondagem rotoperfussiva de circulação reversa (RC) e de amostras pontuais do tipo *grab sample*. Todos os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pela Aura Minerals Inc. Por motivos de confidencialidade, não será divulgada a localização exata das amostragens.

##### **1.4.6.1 Amostras de sondagem RC**

A Aura Minerals Inc. disponibilizou os resultados analíticos de ouro referentes a três furos de sondagem rotoperfussiva de circulação reversa, totalizando 220 resultados. O furo Paiol 01 apresentou 110 resultados de Au, correspondentes ao intervalo entre 0 m e 110 m de profundidade. O furo Paiol 02 forneceu 60 resultados, referentes ao intervalo entre 0 m e 60 m, enquanto o

furo Paiol 03 apresentou 50 resultados, correspondentes ao intervalo entre 0 m e 50 m.

As amostras de sondagem RC foram obtidas a partir do material proveniente do subsolo, que chega à superfície por meio de hastes com comprimento individual de três metros, responsáveis por transportar o material até o ciclone, equipado com sistema interno de quarteamento. O material proveniente da sondagem já chega ao ciclone fragmentado em função do próprio método de perfuração rotopercussiva.

Para cada metro perfurado, o material é homogeneizado e subdividido em quatro frações representativas do mesmo intervalo. Dentre essas frações, uma amostra é selecionada para envio ao laboratório para análise química, enquanto as demais podem ser descartadas ou utilizadas como duplicatas previamente selecionadas. As três amostras armazenadas apresentam massa média de aproximadamente 4,7 kg cada, enquanto a quarta corresponde ao volume remanescente do intervalo amostrado.

As análises químicas das amostras de sondagem RC foram realizadas no laboratório da SGS Geosol, instalado no site da empresa.

#### *1.4.6.2 Amostragem de rochas*

A amostragem de rochas foi realizada pela autora, de forma pontual e direcionada, caracterizando-se como amostragem do tipo *grab sample*, considerando os aspectos litológicos e mineralógicos observados durante o mapeamento geológico de detalhe da cava da Mina Paiol. Foram selecionadas amostras representativas de cada tipo litológico descrito na área de estudo, totalizando cinco amostras, com o objetivo de caracterizar a variação dos teores de ouro em função das diferentes litologias presentes na mina.

A coleta das amostras foi realizada com o auxílio de martelo geológico da marca Estwing, sendo extraídos fragmentos frescos e representativos dos litotipos aflorantes. Cada amostra coletada foi acondicionada individualmente em saco plástico resistente, devidamente lacrado e identificado com o nome da

amostra, assegurando a rastreabilidade do material desde a coleta em campo até o envio ao laboratório.

Após a etapa de coleta, as amostras de rocha foram encaminhadas para análise química em laboratório, juntamente com as amostras provenientes da sondagem rotopercussiva de circulação reversa, seguindo os mesmos procedimentos analíticos descritos no item 1.4.6.3.

#### 1.4.6.3 Análises químicas

As análises químicas de ambos os tipos de amostras foram realizadas a partir da preparação pelo método *fire assay*, seguido de leitura instrumental por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES).

Embora o material proveniente da sondagem RC já se encontre fragmentado devido ao próprio método, tanto as amostras selecionadas de RC quanto as amostras do tipo *grab sample* foram submetidas, em laboratório, a etapas adicionais de cominuição. Inicialmente, as amostras foram britadas até atingir granulometria de aproximadamente 2 mm e, posteriormente, pulverizadas até granulometria de 200 mesh, sendo então homogeneizadas para garantir a representatividade do material analisado.

Após a homogeneização, foi retirada uma alíquota representativa entre 30 g e 50 g, a qual foi misturada a fundentes apropriados, incluindo carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), bórax anidro, quartzo moído fino, litargírio granulado vermelho ( $\text{PbO}$ ) e nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), com o objetivo de concentrar o ouro em um botão metálico de chumbo. Após a fusão, o botão metálico foi submetido à copelação para remoção do chumbo, resultando em um *prill* metálico contendo o ouro.

O *prill* obtido foi posteriormente dissolvido e analisado por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES, modelo 4210), permitindo a determinação dos teores de ouro, expressos

em g/t. O limite de detecção inferior do método é de 0,01 ppm, enquanto o limite superior é de 100 ppm.

#### **1.4.7 Análise e Interpretação de Dados**

A análise e interpretação dos dados basearam-se na integração entre as informações obtidas no mapeamento geológico de detalhe e na descrição dos furos de sondagem. Essa etapa teve como objetivo identificar as litologias presentes na área de estudo, interpretar a geometria dos corpos rochosos, reconhecer os principais controles estruturais e litológicos da mineralização aurífera e compreender sua distribuição espacial, subsidiando a elaboração do mapa litológico estrutural da cava da Mina Paiol.

#### **1.4.8 Elaboração dos produtos cartográficos e redação do trabalho**

A etapa final consistiu na elaboração do mapa geológico de detalhe da cava Paiol, integrando as unidades litológicas mapeadas e os elementos estruturais identificados. A redação da monografia foi desenvolvida a partir da integração entre o referencial teórico e os resultados obtidos nas etapas anteriores, consolidando as interpretações apresentadas ao longo do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

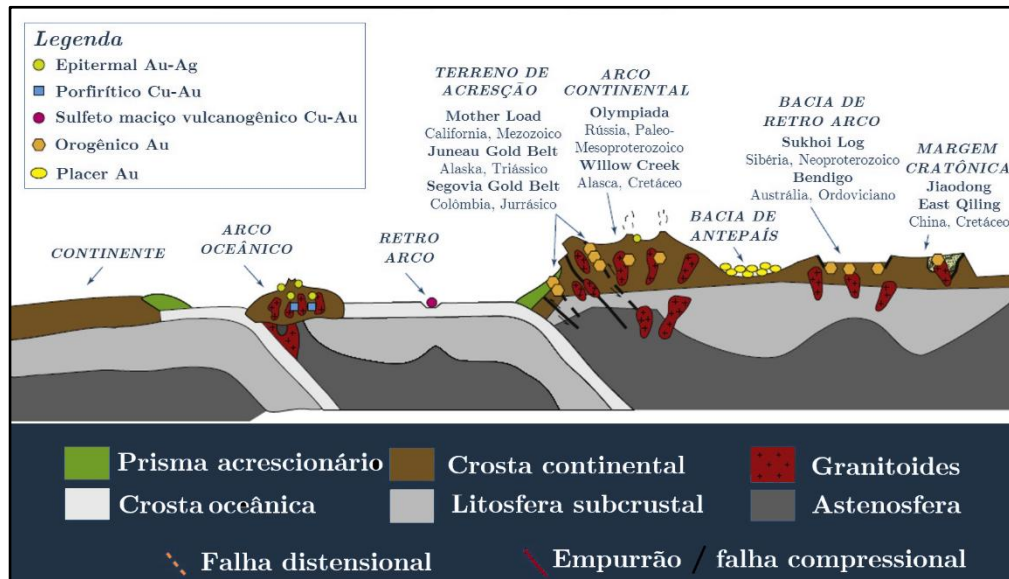
Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados aos depósitos de ouro orogênico, com ênfase em seus aspectos geológicos, estruturais e metalogenéticos, bem como nos modelos genéticos discutidos na literatura especializada.

### 2.1 DEPÓSITOS DE OURO OROGÊNICO

Os depósitos atualmente classificados como depósitos de ouro orogênico foram descritos anteriormente na literatura sob diversas denominações, como *mesothermal*, *turbidite-hosted*, *slate-belt*, *greenstone hosted*, *mother lode-type* ou *Only-gold deposits*. O termo depósito de ouro orogênico foi consolidado por Groves et al. (1998), que o definiram como uma classe de depósitos auríferos hospedados em terrenos metamórficos deformados, de diferentes idades, caracterizados por forte controle estrutural e distribuição espacial coerente em escala regional.

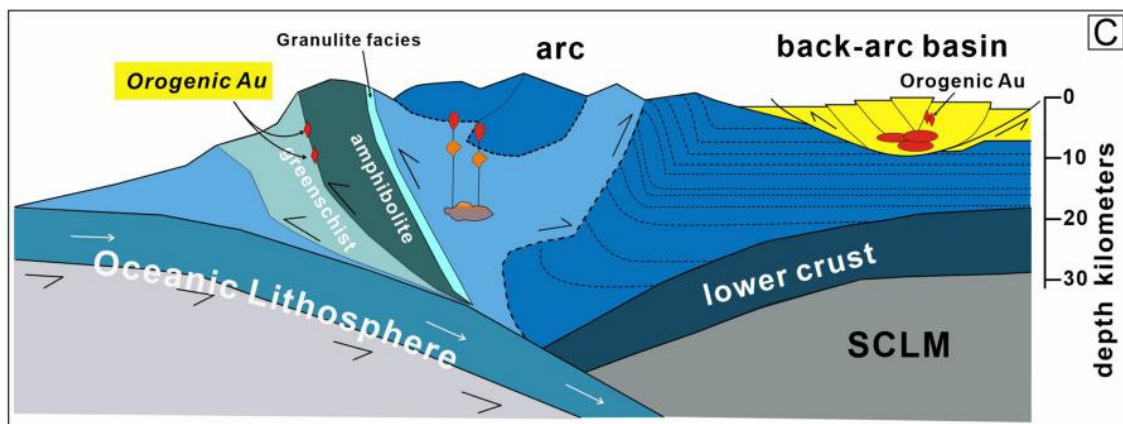
De acordo com esses autores, a formação dos depósitos de ouro orogênico ocorre em regimes tectônicos compressivos ou transpressivos associados a margens convergentes de placas, em ambientes de acreção ou colisão continental. Nesse contexto, os *greenstone belts* e os orógenos continentais representam os ambientes mais favoráveis à concentração de ouro, conforme ilustrado nos modelos apresentados nas Figuras 7 e 8.

**Figura 7** - Modelo esquemático de margem convergente com subducção oceânica, ilustrando a distribuição dos principais tipos de depósitos auríferos ao longo de diferentes domínios tectônicos.



Fonte: LOBATO; COSTA 2018, reproduzido de GOLDFARB; GROVES 2015.

**Figura 8** - Formação do depósito de Au orogênico em regime compressional a transpressional em ambiente de greenstone ( fácies xisto verde a anfibolito superior).

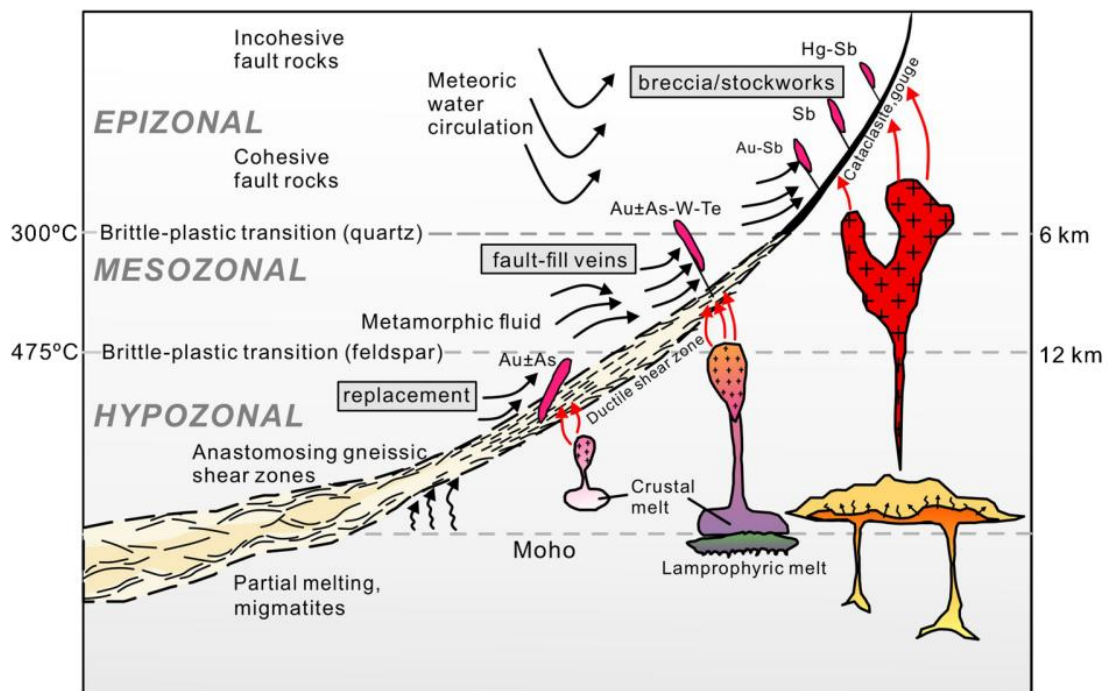


Fonte: Goldfarb & Pitcairn, 2023.

Groves et al. (1998) consolidaram o modelo genético metamórfico para os depósitos de ouro orogênico, atribuindo a gênese a fluidos exclusivamente metamórficos. De acordo com os autores para formação do depósito é, somente necessário, metamorfismo progressivo que permita a desvolatilização de rochas metassedimentares, decomposição da pirita diagenética e dos minerais hidratados. Os autores ainda propuseram a classificação dos depósitos

conforme sua profundidade crustal de formação com o uso dos termos epizonal, mesozonal e hipozonal. Os depósitos epizonais se formam a até 6 km da superfície, em temperaturas de 150–300 °C, os depósitos mesozonais se formam a profundidades de 6–12 km, em temperaturas de 300–475 °C e os depósitos hipozonais se formam acima de 12 km, em temperaturas superiores a 475 °C (Figura 9).

**Figura 9** - Classificação dos depósitos de Au orogênico quanto a sua profundidade de formação: epizonal, mesozonal e hipozonal.



Fonte: Goldfarb & Pitcairn (2023) modificado de Groves *et al.* (1998).

Em contrapartida, Ridley & Diamond (2000) argumentam que o modelo genético exclusivamente metamórfico é insuficiente para explicar o volume e a composição dos fluidos mineralizantes necessários para formação do depósito.

Com isso, os autores propõem o modelo genético magmático-hidrotermal, no qual os fluidos têm origem híbrida, envolvendo fontes magmáticas profundas situadas na crosta inferior ou no manto litosférico, mas sem excluir totalmente a contribuição metamórfica regional. Além disso, os autores também ressaltam que a composição dos fluidos mineralizantes não é um critério suficiente para descartar sua origem magmática, uma vez que, em condições de pressões e profundidades elevadas, se torna viável a exsolução de fluidos aquoso-carbonáticos durante a cristalização de magmas graníticos. Assim, a pressão de

cristalização passa a ser um fator determinante na evolução do fluido e em sua capacidade de transportar o ouro.

Goldfarb & Pitcairn (2023) concordam com Ridley & Diamond (2000) que magmas hidratados podem liberar fluidos ricos em CO<sub>2</sub>. No entanto, destacam que os volumes significativos desses fluidos só são exsolvidos e acumulados em crostas com profundidade inferior a 6km, o que difere da maioria dos depósitos de ouro orogênico que se formam entre 6 e 20km de profundidade. Além disso, os autores argumentam que os fluidos exsolvidos dos magmas não apresentam características aquoso-carbônica tipicamente encontrados nesse tipo de depósito. Observaram também que o modelo magmático-hidrotermal não explica a distribuição ampla e regional dos depósitos orogênicos, especificamente aqueles associados a longas zonas de cisalhamento, limitando o depósito a sistemas magmáticos locais. Por fim, Goldfarb & Pitcairn (2023) reforçam que a formação do ouro orogênico é consequência direta do metamorfismo progressivo que, com o aumento progressivo da pressão e temperatura durante a orogênese permite a desvolatilização de grandes volumes de rochas sedimentares ricas em pirritas diagenéticas e matéria orgânica, reforçando o que foi inicialmente proposto por Groves et al. (1998), e ressaltado por Evans & Tomkins (2020). Esse processo gera os fluidos aquoso-carbônicos capazes de transportar e precipitar o ouro pelas zonas de cisalhamento crustais profundas.

Em alguns casos, em associação espacial com granitoides, Goldfarb & Groves (2015) afirmam que essa associação não implica necessariamente uma relação genética, pois os granitoides podem ser sincrônicos ou pós-orogênicos, e os fluidos não derivam diretamente deles.

Os halos de alteração hidrotermal típicos dos depósitos orogênicos em fácies xisto verde são marcados por cloritização, carbonatação, sericitização e sulfetação, principalmente pirita (Cruz & Kuyumjian, 1999; Groves et al. 1998). O quartzo e carbonatos se apresentam como minerais de ganga predominantes, os minerais de minério são representados pela pirita, pirrotita, arsenopirita, teluretos e bismutita (Goldfarb e Pitcairn, 2023).

Os fatores estruturais são fundamentais para a formação de depósitos auríferos de grande porte, uma vez que é por meio das estruturas que ocorre a

percolação dos fluidos mineralizantes, além de atuarem como 'armadilhas' para sua acumulação. Groves et al. (1998) destaca que a configuração estrutural em diferentes níveis crustais constitui o principal fator de controle na formação de depósitos orogênicos de ouro, superando aspectos litológicos ou da fonte dos fluidos. Os grandes depósitos tendem a se localizar em zonas de *jogs* estruturais, ou seja, zonas de inflexão que permitem a concentração da mineralização, e em domínios de alta reativação tectônica, geralmente em limites entre blocos crustais. Os autores ainda destacam que há um conjunto de fatores estruturais repetitivos como falhas, zonas de cisalhamento e anisotropias que, quando combinados, favorecem a subida e concentração de fluidos mineralizantes.

Embora não haja restrições quanto à idade de formação, Goldfarb, Groves e Gardoll (2001) afirmam, através de compilação dos dados dos depósitos globais, que as rochas do Mesoproterozoico e a maior parte do Neoproterozoico se destacam pela ausência de sistemas de veios de ouro orogênico, tendo maior enriquecimento aurífero as rochas do Arqueano e do Paleoproterozoico, no intervalo de 2,1 a 1,8 Ga, período associado a episódios de crescimento da crosta continental juvenil.

### 3 GEOLOGIA REGIONAL

#### 3.1 PROVÍNCIA TOCANTINS

As províncias estruturais brasileiras foram organizadas com base em aspectos geocronológicos e estruturais, refletindo os grandes ciclos tectônicos que moldaram o território nacional (Figura 10). Com base nesses critérios, Almeida et al. (1977; 1981) definiram e classificaram dez províncias estruturais. A Província Tocantins (PT) compõe uma das dez províncias e corresponde a um grande orógeno de idade Neoproterozoica, situado na região central-oeste do Brasil, abrangendo os estados de Tocantins, Goiás e o Distrito Federal, além de áreas ao sul dos estados do Mato Grosso e Pará e a oeste do Mato Grosso do Sul e de Minas Gerais (Frasca, 2015). Essa província estrutural é o resultado da colisão de três grandes blocos continentais, o Cráton Amazônico a leste, o Cráton São Francisco-Congo a oeste e o Bloco Paranapanema ao Sul, durante a Orogenia Brasileira-Pan-Africana, evento responsável pela amalgamação do supercontinente Gondwana (Fuck et al., 2014). Atualmente, o Bloco Paranapanema encontra-se recoberto por sedimentos fanerozoicos da Bacia do Parnaíba ao norte e da Bacia do Paraná ao sul (Pimentel et. al., 1997).

Inicialmente, Almeida et al. (1977) reconheceram na Província Tocantins a existência de três regiões estruturalmente distintas. Nesta, a região central corresponde, em grande parte, ao Maciço mediano de Goiás. A região oriental coincide aproximadamente com as faixas de dobramentos Uruaçu e Brasília, enquanto a região ocidental corresponde à Faixa Paraguai Araguaia. Posteriormente, Fuck et al. (1993) e Fuck (1994) propuseram uma compartimentação mais detalhada, individualizando diferentes domínios tectonoestruturais, incluindo a Zona Cratônica, o Maciço de Goiás, a Faixa Brasília com suas zonas interna e externa, o Arco Magmático de Goiás e a Faixa Paraguai Araguaia.

Trabalhos posteriores (Pimentel et al., 2000; Fuck et al., 2014) agruparam esses domínios em três grandes faixas orogênicas. A Faixa Paraguai

e a Faixa Araguaia estendem-se ao longo das margens leste e sudeste do Cráton Amazônico, respectivamente, enquanto a Faixa Brasília margeia a borda oeste do Cráton São Francisco. Cada uma dessas faixas apresenta domínios estruturais e unidades estratigráficas próprias.

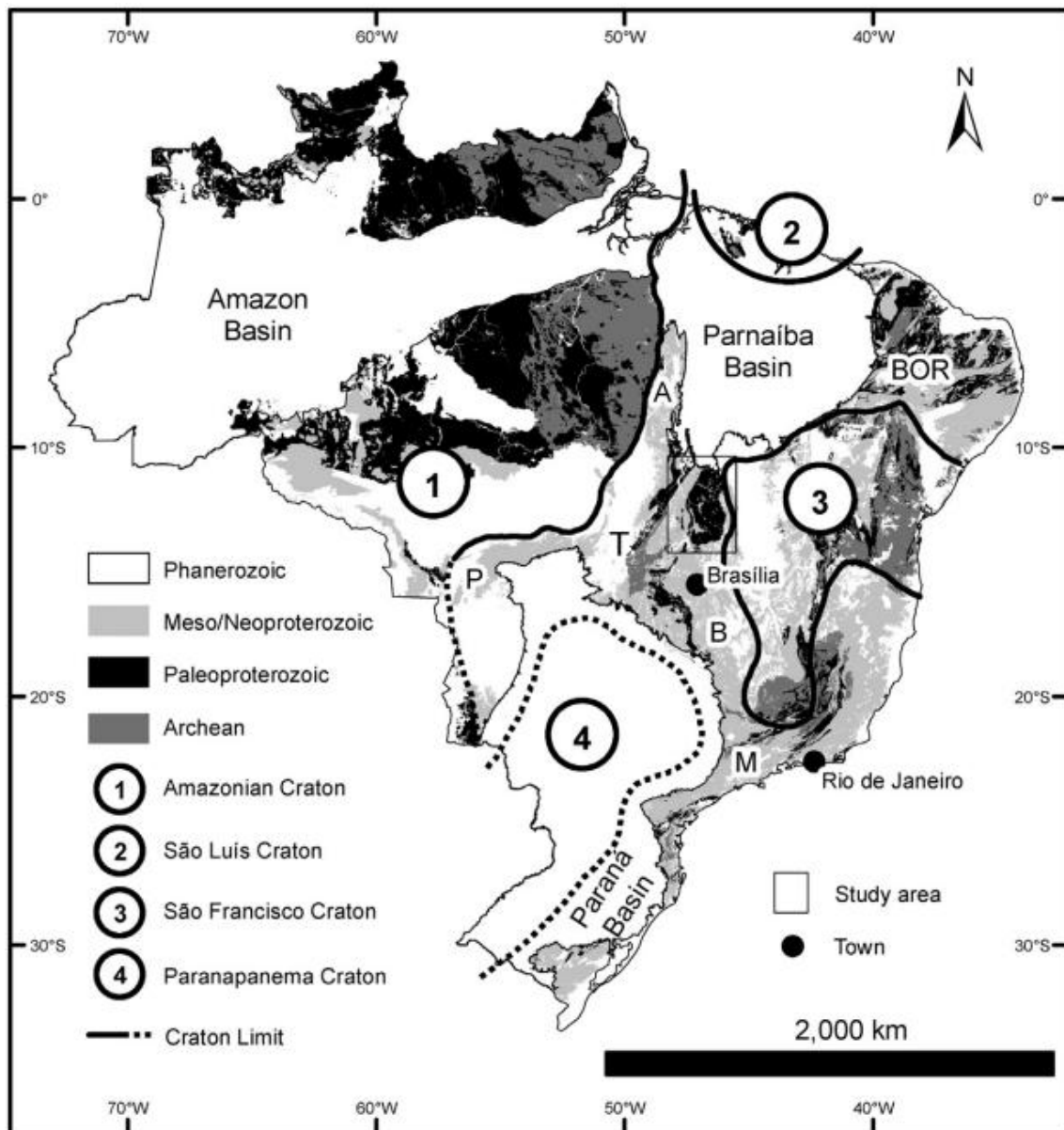
A Faixa Araguaia situa-se no norte da Província Tocantins, adjacente à borda leste do Cráton Amazônico (Almeida et al., 1981). A faixa ocorre desde o extremo norte do Estado do Tocantins até a região de São Miguel do Araguaia, no noroeste de Goiás, onde é recoberta pelos sedimentos da Bacia do Bananal (Bizzi et al., 2003). Mede aproximadamente 1.000 km de extensão e cerca de 150 km de largura, apresentando direção geral N–S. A leste é coberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, e a oeste ocorrem lâminas de empurrão de rochas metassedimentares sobre o Cráton Amazônico (Bizzi et al., 2003). As unidades estratigráficas exibem estruturação predominantemente norte-sul, com mergulho para leste. Essas rochas foram intensamente deformadas sob um regime dúctil e compressivo, que resultou em imbricações das unidades basais sobre as unidades do topo, no sentido leste-oeste (Frasca, 2015).

A Faixa Paraguai possui aproximadamente 1.200 km de extensão (Frasca, 2015) e apresenta uma porção norte de direção NE, que inflete para E-W, e uma porção sul de direção NNW, as quais representam dois braços de uma junção tríplice que evoluíram para o cinturão (Hasui, 2012). A faixa é formada por metassedimentos dobrados e metamorfizados que, ao se aproximarem do Cráton Amazônico, transicionam para rochas sedimentares menos deformadas, com dobras e falhas, não metamorfizadas, mas, em parte, contemporâneas às rochas da faixa. (Alvarenga & Trompette, 1993).

A Faixa Brasília (FB) possui cerca de 1.100 km de extensão, desenvolvida à leste da PT, estendendo-se N-S ao longo da margem oeste do Cráton São Francisco. Apresenta mistura ofiolítica, rochas de arco cálcio-alcalino, granitos colisionais do tipo S e estruturas de *nappe* em escala regional, sendo considerada um dos cinturões orogênicos neoproterozoicos mais bem preservados do Brasil (Pimentel et al., 2000).

Dentre as faixas orogênicas que compõem a Província Tocantins, destaca-se a Faixa Brasília, uma vez que é nessa unidade tectonoestrutural que se insere a área de estudo deste trabalho, incluindo a Mina do Paiol. Em função disso, essa faixa é descrita em maior nível de detalhe nos subitens a seguir, com ênfase em sua compartimentação tectônica e evolução estrutural.

**Figura 10** - Distribuição de rochas paleoproterozoicas no escudo brasileiro. (T) Província do Tocantins, (A) Faixa Araguaia, (P) Faixa Paraguai, (B) Faixa Brasília, (BOR) Província de Borborema, (M) Província da Mantiqueira.



Fonte: Fuck et al. (2014)

### 3.1.1 Faixa Brasília

A Faixa Brasília (FB) é um complexo cinturão de dobras e falhas de empurrão de idade neoproterozoica, cuja deformação tectônica, acompanhada de metamorfismo regional, torna-se progressivamente mais intensa do leste em direção ao oeste (Dardenne, 2000; Pimentel, Fuck e Botelho, 1999). Inicialmente definida por Almeida et al. (1977), a Faixa Brasília foi posteriormente compartimentada por Fuck et al. (1994) e Fuck (1994) em Zona Externa, Zona Interna, Arco Magmático de Goiás e Maciço de Goiás.

Cordani et al. (2013) interpretam o Maciço de Goiás como um microcontinente ou terreno siálico alóctone, enquanto que o Arco Magmático de Goiás é interpretado como um arco intraoceânico juvenil de idade neoproterozoica.

De acordo com Fuck et al. (2017), a origem da Faixa Brasília envolveu, além da colisão dos paleocontinentes Amazônico, São Francisco e Paranapanema, o aprisionamento de um fragmento continental exótico, a subducção de uma ampla litosfera oceânica e o desenvolvimento de arcos insulares primitivos. Os autores compartimentam a faixa em Zona Interna, composta pelo núcleo metamórfico, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás, Zona Externa, formada por um cinturão de dobramentos e empurrões que envolve o embasamento e rochas metassedimentares paleoproterozoicas a neoproterozoicas de baixo grau, e Zona Cratônica, que abrange dois domínios tectônicos, sendo um domínio oriental com unidades neoproterozoicas não deformadas e uma faixa de dobras e empurrões desenvolvida ao longo da borda do Cráton São Francisco (Figura 11).

Em relação a geologia estrutural, a FB pode ser subdividida em dois setores, o meridional e o setentrional (Valeriano et al., 2004). O setor Meridional apresenta uma estrutura N-S que inflete, formando um arco de concavidade para SW na região de Pirenópolis. Possui uma estrutura de lascas imbricadas, com grandes deslocamentos horizontais, com a formação de *nappes* de cavalgamento sub-horizontais empurradas em direção ao Cráton do São Francisco. O grau metamórfico e deformacional ligados ao cisalhamento

aumentam consideravelmente da área cratônica até a zona interna da FB (Frasca, 2015).

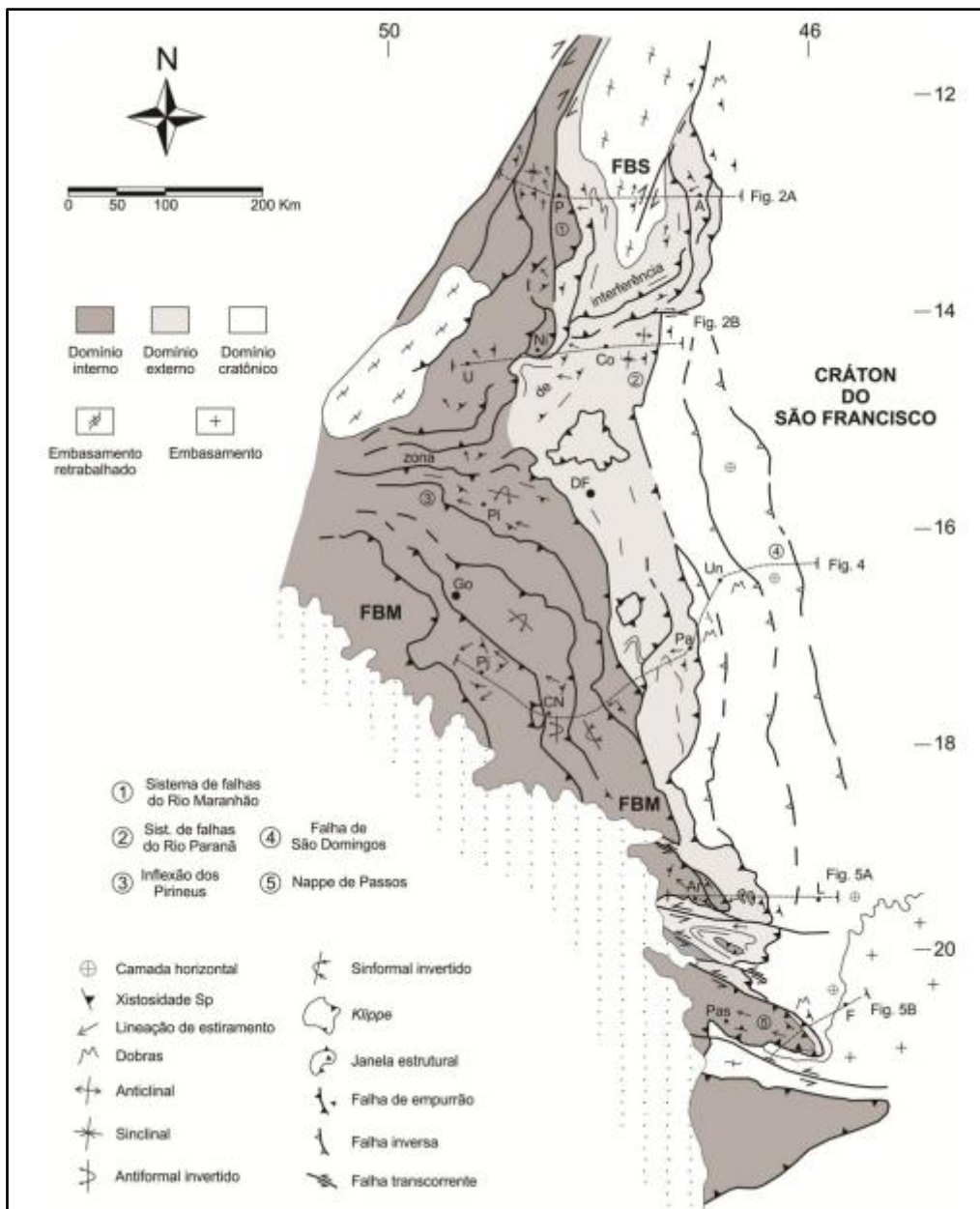
A estrutura do setor Setentrional é marcada pela formação de um grande arco voltado para noroeste, em direção ao Lineamento Transbrasiliano. Observam-se frequentes falhas e zonas de cisalhamento cuja intensidade aumenta na direção do lineamento, no domínio interno, enquanto no domínio externo é caracterizado por falhas reversas com vergência para sudeste, em direção ao Cráton do São Francisco (Uhlein et al., 2013). Esse setor exhibe deformação transpressiva, com falhas de empurrão oblíquas que gradualmente transicionam para zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais (Valeriano et al, 2004), relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano.

O setor Meridional é o mais antigo da FB, apresenta deformação e metamorfismo entre 650 e 580 Ma, resultado da colisão do Cráton Paranapanema com o Cráton do São Francisco. Já o setor Setentrional é mais jovem, relacionado à colisão mais recente entre os Crátons Amazônico e do São Francisco entre 560 e 540 Ma (Uhlein et al., 2013). Esses dois setores se encontram na altura do paralelo de Brasília, formando a Megaflexura dos Pireneus, marcada por lineamentos de orientação E-W (Frasca, 2015).

A Faixa Brasília mostra um gradiente metamórfico invertido, com rochas da fácies xisto verde no domínio externo a anfibolito superior no domínio interno. A ocorrência de rochas com menor grau metamórfico na base e rochas com alto grau metamórfico sobrepostas sugere que as inversões tectônicas ocorreram após o pico do metamorfismo (Uhlein et al., 2013; Frasca, 2015).

Essa compartimentação reflete o aumento progressivo de deformação e metamorfismo do leste do Cráton do São Francisco em direção à Zona Interna da Faixa Brasília, a oeste (Fuck et al., 2017).

**Figura 11** - Mapa estrutural e de compartimentação da Faixa Brasília.



Fonte: Uhlein et al., 2013.

### 3.1.1.1 Zona Interna

A zona interna da Faixa Brasília é composta por unidades alóctones atribuídas ao Grupo Araxá, constituídas predominantemente por micaxistos, paragnaisses, quartzitos e intercalações máficas, derivadas de sedimentos

turbidíticos e contribuições vulcânicas. Essas rochas registram metamorfismo inverso, com fácies variando de xisto verde na base a anfibolito no topo, especialmente na nappe Araxá-Canastra. A zona é marcada por intensa deformação dúctil e estruturas de imbricações tectônicas em direção ao Cráton do São Francisco (Fuck, 1994).

#### *3.1.1.2 Zona Externa*

A zona Externa é composta por unidades metassedimentares dos grupos Paranoá e Canastra, além de porções do embasamento representadas por terrenos granito-gnáissicos. Ao norte, predominam os metassedimentos do topo do Paranoá, deformados e metamorfizados na fácies xisto verde. No sul, predominam dobras e cavalgamentos de baixo ângulo, com zonas de cisalhamento rúptil e estruturas vergentes para o Cráton do São Francisco (Fuck, 1994).

A zona externa é limitada a oeste por zonas de cisalhamento que separam as unidades dos complexos Cana Brava, Niquelândia e Barro Alto, compostos por rochas máficas-ultramáficas, e a leste, pela zona de empurrões que sobrepõem o Grupo Paranoá, mais antigo, ao Grupo Bambuí, mais jovem (Fuck, 1994).

#### *3.1.1.3 Arco Magmático de Goiás*

O Arco Magmático de Goiás compreende terrenos ortognaissicos e sequências vulcano sedimentares de idade neoproterozoica, que exibem características geoquímicas típicas de arcos magmáticos intraoceânicos. Esses terrenos são interpretados como uma crosta juvenil acrescida durante o Neoproterozoico, com idades isotópicas de protólitos ígneos variando entre aproximadamente 900 e 600 Ma (Fuck et al., 1994; Dardenne, 2000).

O arco apresenta direção estrutural variável entre NNW - SSE e NNE - SSW, sendo representado por cinturões estreitos de rochas vulcânicas e metassedimentares separados por ortognaisses de composição diorítica a granítica, frequentemente afetados por deformação milonítica. Essas características refletem a intensa deformação tectônica associada aos estágios de acreção e colisão da Faixa Brasília.

#### *3.1.1.4 Maciço de Goiás*

O Maciço de Goiás (MG) é interpretado como um bloco continental, exótico e alóctone, que colidiu com a margem oeste do Cráton São Francisco no Neoproterozoico, e apresenta complexa evolução crustal (Frasca & Ribeiro, 2019).

O bloco é constituído por terrenos granito-greenstone arqueanos e ortognaisses paleoproterozoicos, que estão intercalados com cinturões de greenstone. Essas unidades registram eventos de acreção e retrabalhamento crustal durante o Paleoproterozoico (Pimentel et al., 2000; Fuck et al., 1994; Fuck et al., 2014). O maciço é recoberto por sequências metassedimentares dobradas, associadas a intrusões máfico-ultramáficas. Essas rochas sofreram metamorfismo variando de fácies anfíbolito a granulito, enquanto as sequências vulcano-sedimentares mesoproterozoicas e neoproterozoicas exibem metamorfismo em fácies xisto verde a anfíbolito (Pimentel et al., 2000; Fuck et al., 2014).

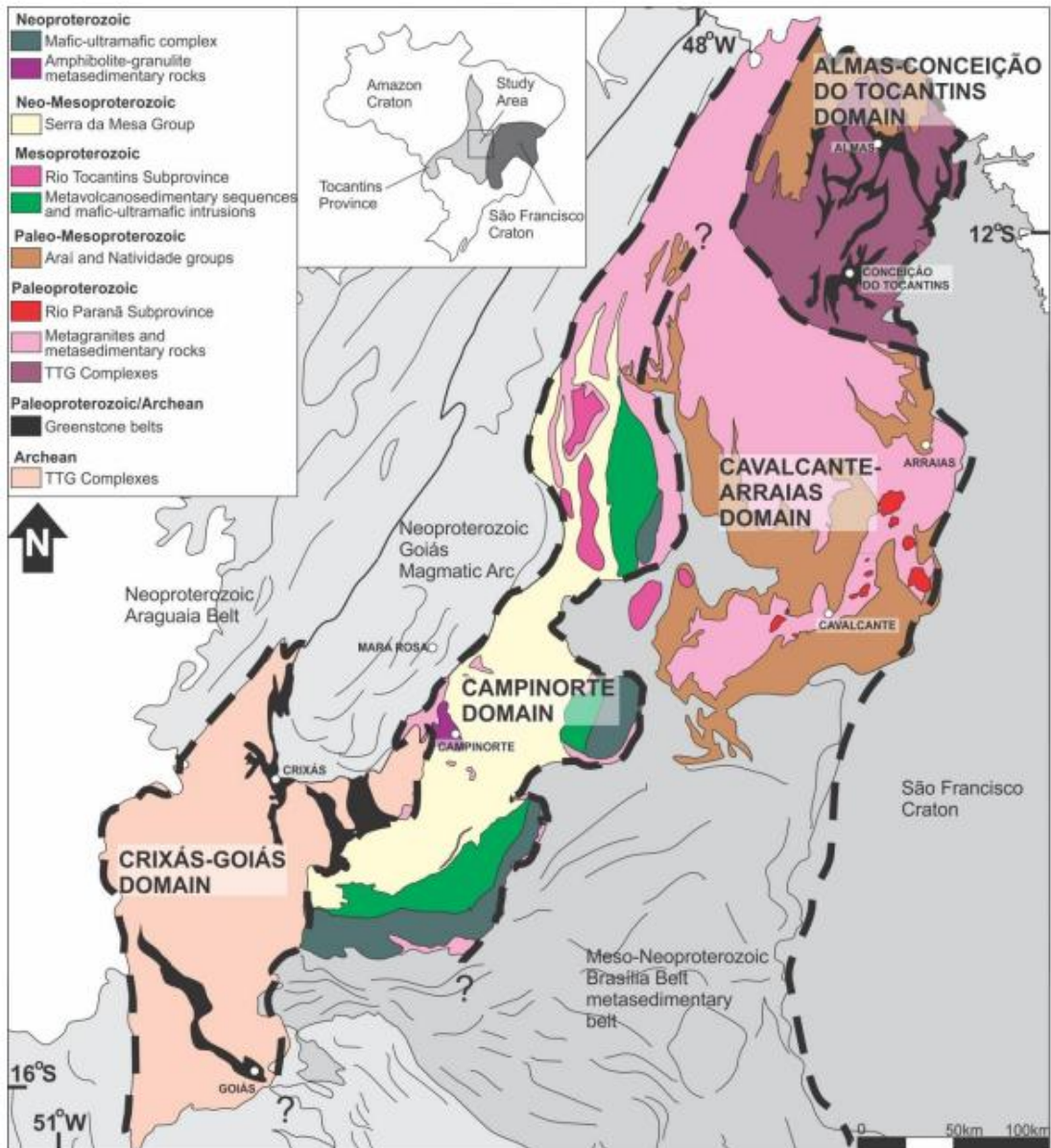
O maciço é formado pelas rochas mais antigas da região, nos quais os protólitos são tonalitos-granodioritos e dioritos polideformados com idade de cristalização entre 3.040 Ma e 2.930 Ma. As porções mais jovens no Maciço de Goiás indicam idades paleoproterozoicas, relacionadas a eventos Riácianos (Frasca & Ribeiro, 2019).

Do ponto de vista tectônico, o Maciço de Goiás corresponde a uma colagem de terrenos arqueanos e paleoproterozoicos distintos, subdivididos em quatro domínios principais, Crixás-Goiás, Campinorte, Cavalcante-Araias e Almas-Conceição do Tocantins (Cordeiro; Oliveira, 2017) (Figura 12). O limite

ocidental do maciço é marcado pela zona de cisalhamento Rio dos Bois, de caráter transpressivo e direção NNW-SSE, enquanto ao norte é recoberto pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba. Ao sul, o maciço é limitado por unidades metassedimentares da Faixa Brasília, e a leste por falhas de empurrão que posicionam complexos máfico ultramáficos sobre terrenos granítico gnáissicos, expondo segmentos da crosta inferior metamorfizados em fácies granulito entre 780 e 800 Ma (Pimentel et al., 2000; Fuck et al., 2014).

No contexto da Faixa Brasília, a área de estudo deste trabalho insere-se no Maciço de Goiás, mais especificamente no Domínio Almas-Conceição do Tocantins. Dessa forma, após a caracterização regional da Faixa Brasília, a seguir é apresentada a geologia local, com ênfase nas unidades litoestruturais que compõem o Domínio Almas-Conceição do Tocantins e no contexto geológico da Mina do Paiol.

**Figura 12 – Mapa de domínios do Maciço de Goiás.**



Fonte: Cordeiro, 2014.

## 4 GEOLOGIA LOCAL

Este capítulo apresenta a caracterização geológica em escala local da área de estudo, situada no contexto do Maciço de Goiás, no interior da Faixa Brasília.

### 4.1 DOMÍNIO ALMAS-CONCEIÇÃO DO TOCANTINS

O Domínio Almas-Conceição do Tocantins (ACT) está localizado na porção mais ao norte do Maciço de Goiás. É coberto ao norte pela Bacia do Parnaíba e ao leste pelos grupos Bambuí e Urucua, enquanto seu contato a oeste é inferido com o Domínio Campinorte (Cordeiro, 2014) (Figura 12).

Saboia (2021) considera o Domínio Almas-Conceição do Tocantins como um domínio crustal individualizado, com base em seus limites geológicos bem definidos, estrutura interna complexa e características litológicas distintas. Entretanto, essa distinção não exclui a possibilidade de uma origem comum com os demais terrenos que compõem o Maciço de Goiás, como é defendido por autores como Fuck et al. (2014), Martins-Ferreira et al. (2020) e Cordeiro (2014).

O ACT constitui uma colagem complexa de diferentes terrenos, que inclui faixas de *greenstone* de aproximadamente 2,45 Ga e rochas granito-gnáissicas metaluminosas e peraluminosas com idades entre ~2,45 e 2,10 Ga (Sousa et al., 2016; Fuck et al., 2014; Martins-Ferreira et al., 2020; Saboia et al., 2020). A acreção dos diferentes blocos durante o Sideriano e o início do Riaciano resultou em rochas progressivamente mais jovens em direção ao oeste (Martins-Ferreira et al., 2020).

As rochas do ACT apresentam evidências petrológicas de metamorfismo em fácies anfíbolito, interpretado como resultado de eventos de acreção no Paleoproterozoico. Posteriormente, essas rochas foram retrabalhadas por retrometamorfismo em fácies xisto verde, associado ao evento Brasileiro, no Neoproterozoico (Martins-Ferreira et al., 2020).

A feição estrutural mais notória do ACT corresponde às faixas de *greenstone* e aos complexos granito-gnáissicos que se distribuem em forma de Y, de direção geral N-S com ramificações para NE e NW, cuja geometria está

relacionada, inicialmente, à configuração dos domos que se alojaram como corpos elípticos alongados (Cruz e Kuyumjian, 1998). Os autores sugerem que as estruturas mais antigas, geradas no evento D<sub>n</sub>, manifestam-se nos greenstones como uma xistosidade subvertical, com feições locais de cisalhamento, dobras verticais apertadas e lineação sub-horizontal. As estruturas mais jovens resultam das zonas de cisalhamento direcionais do evento D<sub>n+1</sub>, com movimentos destrais e direção principal N20°-30°E e direções secundárias N0°-10°E e N10°-20°E (Cruz e Kuyumjian, 1999).

Outras duas direções de zonas de cisalhamento foram observadas, uma de movimentação sinistral (N35-50W) e outra destal (N40-65E). Essas direções formam um par conjugado, resultante de compressão E-W (Cruz e Kuyumjian, 1999), e, segundo Cruz (1993), pertencem a um sistema estrutural mais recente.

Foram reconhecidas duas fases de deformação na porção sul do domínio. A primeira, de natureza dúctil e associada a cisalhamento simples, provocou estiramento E-W em seixos de quartzito conglomerático e dobramento mais evidente na formação ferrífera bandada. A segunda, associada a cisalhamento puro, resultou em crenulação com plano axial subvertical de direção NS. Sigmoides em seixos de quartzito conglomerático registram transporte tectônico de SSW para NNE e de NW para SE.

Cruz e Kuyumjian (1998) reconheceram dois eventos de metamorfismo. O primeiro, M<sub>1</sub>, é restrito aos greenstone belts e está relacionado ao evento D<sub>n</sub>. O segundo, M<sub>2</sub>, está associado às zonas de cisalhamento D<sub>n+1</sub> e afeta todas as unidades do terreno granito-greenstone. As paragêneses metamórficas regionais do M<sub>1</sub> variam da fácies anfíbolito à fácies xisto verde, sendo a principal paragênese regional dos metabasaltos composta por anfibólio + plagioclásio ± clorita ± epidoto. Próximo às zonas de cisalhamento D<sub>n+1</sub>, o plagioclásio altera-se para albita, mica branca e epidoto. A paragênese M<sub>2</sub> resultante é composta por anfibólio + albita + epidoto ± mica branca ± clorita. As paragêneses M<sub>2</sub> são observadas nos greenstone belts, complexos granito-gnáissicos e intrusões básico-ultrabásicas.

De acordo com Souza et al. (2016), o ACT pode ser subdividido em Suíte Conceição do Tocantins, Granito Príncipe, Complexo Ribeirão das Areias e Grupo Riachão do Ouro.

É neste contexto que se insere a área de estudo, localizada no Grupo Riachão do Ouro, no setor norte do Domínio Almas-Conceição do Tocantins.

#### **4.1.1 Grupo Riachão do Ouro**

O Grupo Riachão do Ouro (GRO), no qual se insere a área de estudo, representa a unidade mais antiga do Domínio Almas-Conceição do Tocantins. É constituído por sequências vulcanossedimentares arqueanas, posteriormente intrudidas pelas rochas do Complexo Ribeirão das Areias e da Suíte Conceição do Tocantins (Cruz e Kuyumjian, 1999).

No contexto do ACT, o GRO ocorre sob a forma de faixas de *greenstone* estruturalmente controladas, associadas a domos granito-gnáissicos, e registra uma evolução tectonoestratigráfica complexa, marcada por múltiplos eventos deformacionais e metamórficos. Litologicamente, o grupo é subdividido em uma unidade basal, dominada por metabasaltos e rochas metaultrabásicas, denominada Formação Córrego do Paiol, e uma unidade de topo, predominantemente metassedimentar, denominada Formação Morro do Carneiro (Cruz e Kuyumjian, 1998) (Figura 13).

As principais feições estruturais do GRO são representadas por zonas de cisalhamento transcorrentes, desenvolvidas em pelo menos duas fases deformacionais. A primeira fase, de carácter dextral e direções entre NNW e NNE, afeta preferencialmente as unidades arqueanas. A segunda fase envolve tanto unidades arqueanas quanto proterozoicas e é caracterizada pelo desenvolvimento de pares conjugados de zonas de cisalhamento subverticais, com direções NE, de movimento dextral, e NW, de movimento sinistral (Cruz e Kuyumjian, 1998).

#### 4.1.1.1 Formação Córrego do Paiol (FCP)

A FCP é a unidade basal do Grupo Riachão do Ouro. Ocorre em uma faixa estreita de aproximadamente 2,0 km de largura e alongada cerca de 15,0 km de comprimento, com direção entre N10° e N20°E (Ferrari, 2001).

A formação é composta por metandesito, metadacito e rochas metabásicas, como metadiabásio e anfibolito, com pequenas exposições de rochas ultramáficas e lavas almofadadas preservadas pontualmente (Cruz e Kuyumjian, 1999; Ferrari, 2001).

As rochas metabásicas foram afetadas por zonas de cisalhamento, ao longo das quais os fluidos hidrotermais foram canalizados e confinados, conferindo coloração verde escura, granulação fina e textura equigranular, sendo compostas predominantemente por anfibólio cálcico e plagioclásio (Cruz e Kuyumjian, 1999). As rochas ultramáficas ocorrem como lentes, principalmente na porção oeste da Faixa Dianópolis, sendo representadas por xistos ultramáficos e hornblendito associados a zonas de cisalhamento transcorrentes de direção NE-SW, resultando em caráter milonítico (Ferrari e Choudhuri, 1999a). As rochas da FCP foram transformadas em xistos ricos em anfibólio, clorita, sericita, carbonato e quartzo (Ferrari, 2001).

#### 4.1.1.2 Formação Morro do Carneiro

A Formação Morro do Carneiro constitui a unidade de topo do GRO e ocorre em uma faixa contínua de direção NNE-SSW. É representada predominantemente por metassedimentos, incluindo filitos sericíticos com camadas ricas em carbonato, intercalações de formações ferríferas, quartzitos ricos em magnetita, turmalina quartzitos, metacherts e metaconglomerados. As formações ferríferas são mais abundantes na porção sul da formação (Cruz e Kuyumjian, 1998; Ferrari, 2001).

#### 4.1.2 Complexo Ribeirão das Areias

O Complexo Ribeirão das Areias (CRA) é composto por trondhjemitó e unidades de tonalito e granodiorito, caracterizados como uma série TTG de alto Al, intrusiva no Grupo Riachão do Ouro (Saboia, 2021). Segundo Cordeiro (2014), as rochas do CRA provavelmente se formaram em um contexto de arco intraoceânico.

A foliação torna-se mais intensa em direção ao contato com o cinturão de *greenstone*. Esses granitoides incorporam xenólitos de unidades máficas do *greenstone* e, localmente, de granitoides com anfibólio. Ao sul das cidades de Almas e Porto Alegre, ocorrem dois complexos granítico-gnáissicos separados por uma zona milonítica (Cruz e Kuyumjian, 1998; Souza et al., 2016).

#### 4.1.3 Suíte Conceição do Tocantins

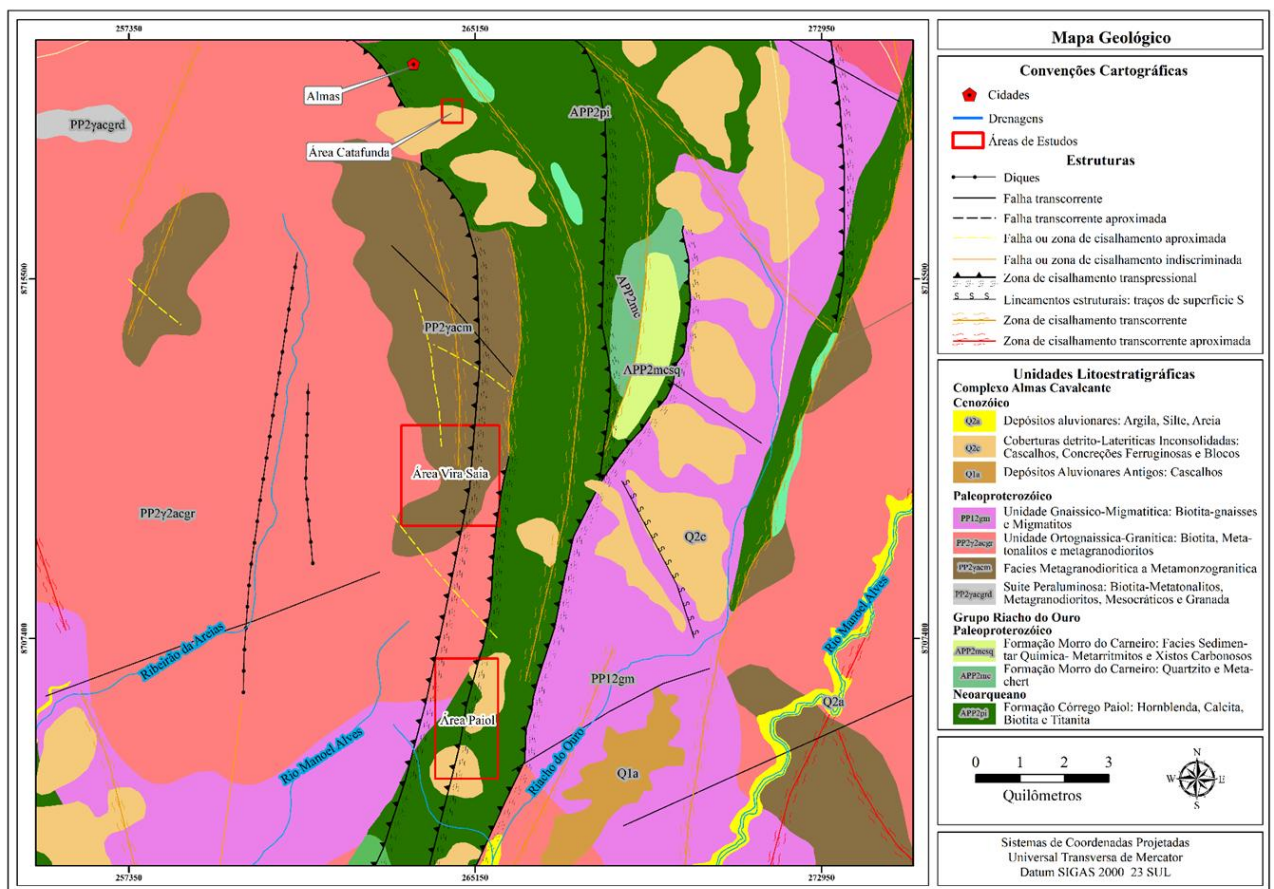
A Suíte Conceição do Tocantins engloba as suítes classificadas como rochas TTG por Cruz e Kuyumjian (1996, 1998), os quais já apontavam características químicas compatíveis com granitoides de arco magmático. Souza et al. (2016) reforçam essa interpretação, destacando a assinatura geoquímica típica de arco magmático cálcio-alcálico, e observam que essas rochas são intrusivas na sequência vulcanossedimentar do Grupo Riachão do Ouro.

- Suíte 1: tonalito granodiorito, trondhjemitó, quartzo-monzodiorito e quartzo-diorito ricos em anfibólio, sendo esse o principal mineral máfico. Interpretadas como produto de fusão parcial da cunha mantélica com idades Sm-Nd de 2,53 Ga,
- Suíte 2: compreende tonalito, trondhjemitó, granodiorito e monzogranito pobres em minerais máficos, sendo a biotita o dominante. Associadas à fusão parcial da litosfera oceânica subductada, também com idade Sm-Nd de 2,53 Ga.

#### 4.1.4 Granito Príncipe

O Granito Príncipe é intrusivo nos tonalitos da Suíte 1 e é composto por quartzo (20–25%), plagioclásio An (25–30%), microclínio (20–25%), biotita (20%) e muscovita (<15%), tende a apresentar textura porfirítica e uma mineralogia alterada, com grãos de plagioclásio saussuritizados e quartzo recristalizado (Souza et al., 2016).

**Figura 13** – Mapa Geológico local evidenciando a geologia do entorno da Mina Paiol (área Paiol).



Fonte: Martins-Ferreira et al., 2020.

## 4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E HISTÓRICO DA MINA PAIOL

A jazida da Mina do Paiol constitui a área de estudo desta monografia e insere-se no contexto do terreno granito–greenstone paleoproterozoico do Domínio Almas-Conceição do Tocantins, estando associada à Formação Córrego do Paiol (Figura 13). A área foi alvo de extensos levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos a partir do final da década de 1970, no âmbito dos programas de prospecção conduzidos pela DOCEGEO/VALE entre 1977 e 1989. Apesar da intensidade desses trabalhos, a jazida somente foi efetivamente descoberta em 1987, a partir da integração de anomalias geoquímicas de baixa intensidade em solos com dados geofísicos, uma vez que não havia afloramentos mineralizados evidentes na área.

As primeiras estimativas de recursos minerais foram realizadas pela VALE em 1996, dando origem a uma operação de lavra a céu aberto voltada à exploração de ouro supergênico, a qual permaneceu ativa até 2001, quando as atividades foram suspensas, principalmente em função do cenário desfavorável do preço do ouro na época. Posteriormente, a Rio Novo Gold Inc. adquiriu os direitos sobre o depósito e conduziu programas de reavaliação, incluindo sondagens de confirmação e expansão entre 2008 e 2011, que resultaram em novas estimativas de recursos para a jazida.

Em 2018, o projeto foi incorporado ao portfólio da Aura Minerals Inc., no contexto da fusão com a Rio Novo Gold, passando a integrar o Projeto Almas, que engloba também os depósitos Vira Saia e Cata Funda. A Aura deu continuidade ao desenvolvimento técnico e econômico da jazida, culminando na atualização dos estudos de viabilidade e na implantação da infraestrutura de mina. Em 2023, a Mina do Paiol entrou em operação como a principal cava do Projeto Almas, marcando o início da produção comercial de ouro sob a gestão da Aura Minerals (Aura Minerals Inc., 2025).

A Mina Paiol situa-se na porção intermediária do Domínio Almas-Conceição do Tocantins, aproximadamente 500 metros a leste do contato entre a unidade metavulcânica da Formação Córrego do Paiol e um corpo intrusivo de composição tonalítico-granodiorítica (Kwitko et al., 1995). A mineralização

aurífera encontra-se hospedada em anfibolitos ricos em ferro dessa formação (Cruz et al., 2016).

De acordo com Kuyumjian et al. (2012), esses anfibolitos foram submetidos a intensos processos de alteração hidrotermal, incluindo carbonatação, sericitização, silicificação e sulfetação, além de albitização, cloritização, turmalinização e epidotização subordinadas. Essas alterações estão associadas a uma zona de cisalhamento dextral de direção aproximada N20°E e mergulho de 70° para NW, que se intersecciona com uma zona de cisalhamento de direção N-S e com a foliação milonítica penetrativa Sn+1, além de falhas extensionais associadas à fase deformacional Sn+2.

Todos os litotipos mineralizados apresentam sulfetação disseminada de escala milimétrica a submilimétrica, geralmente inferior a 5% em volume, representada por pirita, arsenopirita, pirrotita e calcopirita (Kwitko et al., 1995). A paragênese hidrotermal é composta por clorita, muscovita, ankerita, calcita, albita, quartzo e pirita, com pirrotita, calcopirita e turmalina ocorrendo de forma subordinada, e epidoto de maneira rara. Localmente, são observadas venulações tardias de calcita com pirita, interpretadas como registros do fechamento do sistema hidrotermal. A paragênese hidrotermal apresenta caráter sintectônico a tarditectônico em relação às principais superfícies deformacionais, indicando que o evento hidrotermal foi contemporâneo ao tectonismo regional (Kwitko et al., 1995).

As maiores concentrações de ouro ocorrem em zonas de alteração hidrotermal onde predominam clorita, sericita, albita, ankerita e pirita (Silva et al., 1990), bem como em associação com quartzo, ankerita, albita, pirita, mica branca e rutilo, especialmente em setores com maior abundância de pirita (Cruz e Kuyumjian, 1999). Também são observados enriquecimentos auríferos nas zonas de intensa silicificação dos anfibolitos (Ferrari e Choudhuri, 2004). O ouro ocorre predominantemente de forma disseminada, com aumento progressivo dos teores nas porções da rocha encaixante mais intensamente afetadas pela alteração hidrotermal (Kuyumjian et al., 2012).

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos durante o mapeamento geológico da Mina Paiol, os dados estruturais e as análises químicas.

### 5.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA MINA PAIOL

No mapeamento geológico realizado, foram identificadas cinco litologias distintas, distribuídas em corpos que representam lentes tectônicas com geometrias elipsoidais. Essa configuração é atribuída à atuação de zonas de cisalhamento, responsáveis pela segregação das diferentes unidades litológicas. A nomenclatura das rochas apresentada inicialmente segue a classificação operacional adotada pela mina, sendo posteriormente correlacionada com a nomenclatura recomendada pela International Union of Geological Sciences (IUGS), com base nas estimativas mineralógicas e nas características texturais observadas, conforme os critérios descritos por Schmid et al. (2007).

#### 5.1.1 Sericita-quartzo xisto (SQX)

A litologia sericita-quartzo xisto apresenta-se na parte central da cava Paiol, formando corpos irregulares, geralmente de pequena extensão. Esses corpos apresentam coloração cinza a cinza escura e heterogeneidade textural, com domínios de aspecto maciço intercalados com domínios foliados que exibem textura granolepidoblástica. Em zonas de gradação para a litologia sericita-dolomita-quartzo xisto, observa-se o desenvolvimento da textura lepidoblástica (Figura 14). Nesses domínios, a foliação milonítica é definida pela orientação preferencial da sericita. Localmente, ocorrem *boudins* de quartzo assimétricos, cujas geometrias sigmoides e assimetria interna indicam cinemática dextral para o cisalhamento, constituindo um importante indicador cinemático em escala de afloramento (Fig. 14). Adicionalmente, são observados

veios de quartzo irregulares cortando a rocha, os quais evidenciam pulsos tardios de fluidos.

O SQX representa a porção de maior intensidade de modificação da rocha encaixante, correspondendo à zona central do sistema de alteração hidrotermal. A intensa silicificação observada é responsável pela elevada coesão e resistência mecânica da rocha que quando fraturada, tende a se romper em blocos subangulosos a paralelepípedicos.

**Figura 14** - Afloramento da litologia sericita-quartzo xisto (SQX), intensamente silicificado, com foliação milonítica definida pela orientação preferencial da sericita. Observam-se *boudins* de quartzo assimétricos, interpretados como indicadores cinemáticos de cisalhamento dextral.

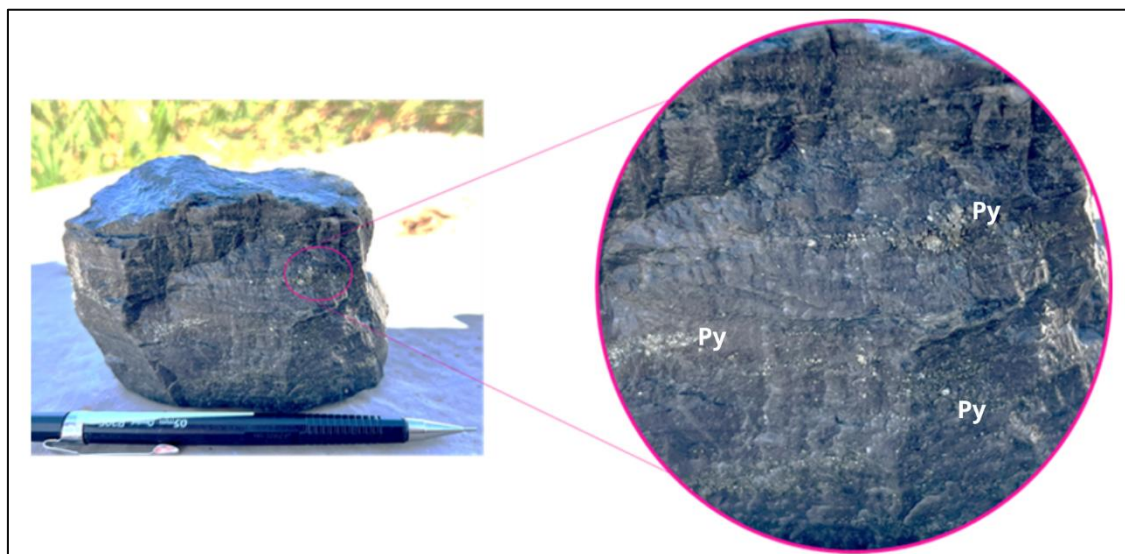


Fonte: Próprio autor (2025).

Em amostra de mão (Figura 15), a rocha apresenta coloração cinza escura, com aspecto maciço e textura sacaroidal. A mineralogia é dominada por quartzo (80%), seguido por sericita (10%), e minerais acessórios, incluindo pirita ( $\leq 5\%$ ), arsenopirita (3%) e calcopirita (2%). A pirita ocorre de forma abundante e disseminada, geralmente em grãos finos, conferindo à rocha um caráter

sulfetado. Segundo os critérios da IUGS, a rocha pode ser classificada como sericita–quartzito milonítico.

**Figura 15** - Amostra de mão da litologia Sericita-Quartzo Xisto.



Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.1.2 Sericita-dolomita-quartzo xisto (SDQX)

Essa litologia ocorre predominantemente na porção central da cava, envolvendo os corpos de sericita-quartzo xisto (SQX), e estabelecendo contato gradual com o calcita-dolomita-quartzo xisto (CDQX). A transição entre essas litologias é marcada por zonas de gradação mineralógica e textural.

A rocha apresenta evidências de sericitização e silicificação parcial, indicando processos de alteração hidrotermal. Exibe bandas de quartzo concordantes com a foliação milonítica bem desenvolvida, marcada pela orientação preferencial da sericita, o que confere à rocha textura lepidoblástica.

O afloramento exibe padrão placóide, resultado da predominância da sericita, que condiciona a fragmentação em placas subparalelas (Figura 16).

**Figura 16** - Talude da litologia SDQX.



Fonte: Próprio autor (2025).

Em amostra de mão (Figura 17), a rocha possui textura lepidoblástica bem desenvolvida, com foliação penetrativa, coloração predominantemente cinza clara, sendo enriquecida em sericita, além de bandas de quartzo e pirita fina disseminada ao longo dos planos de foliação. A mineralogia é predominada por sericita (70%), seguida do quartzo (15%), dolomita (10%) e  $\leq$  pirita (5%).

Com base na associação mineralógica e nas características estruturais, a rocha é classificada, segundo a IUGS, como dolomita–quartzo–sericita xisto milonítico.

**Figura 17** - SDQX foliado com bandas finas de quartzo e py fina disseminada e euédrica bandada.



Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.1.3 Calcita-dolomita-quartzo xisto (CDQX)

Esta unidade litológica bordeja a unidade SDQX, posicionando-se na zona intermediária do halo hidrotermal. Ocorre na base, com espessuras variando de 50 cm a 8 m, e no topo, com espessuras de 60 cm a 1 m.

A coloração avermelhada, atribuída à oxidação da dolomita, constitui uma característica diagnóstica marcante dessa litologia, sendo interpretada como uma unidade guia da mineralização, devido à sua posição recorrente no halo hidrotermal e à associação espacial com zonas enriquecidas em sulfetos (Figura 18).

Os contatos dessa unidade são graduais com as litologias adjacentes, o que confere variações mineralógicas à unidade. Em contato com a unidade SDQX, observa-se maior abundância de sericita, enquanto nos contatos com a unidade QCCX ocorre enriquecimento em clorita. Em ambos os casos, esses minerais lamelares definem textura lepidoblástica bem desenvolvida.

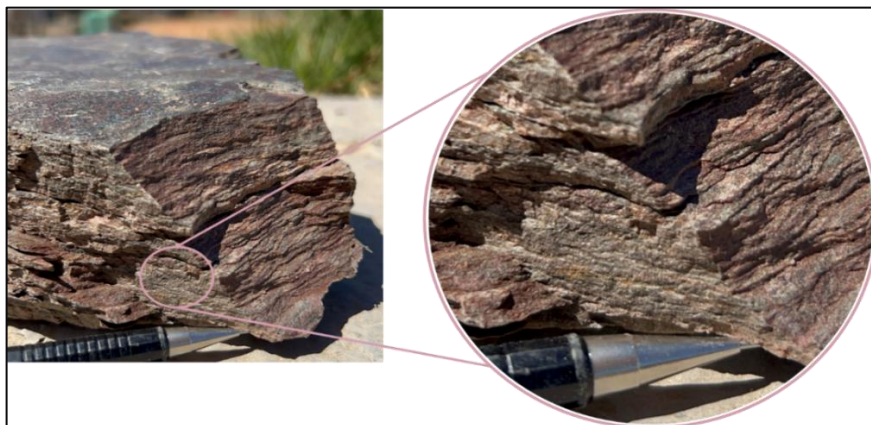
**Figura 18** - Afloramento de CDQX em gradação com o QCCX.



Fonte: Próprio autor (2025).

Em amostra de mão (Figura 19), a rocha apresenta pirita euédrica grossa e fina, formando bandas paralelas à foliação e ocorrendo também de forma disseminada. Bandas de carbonato e de quartzo são frequentes. A composição mineralógica é dominada por dolomita (70%), seguida por calcita (15%), quartzo (11%) e pirita (4%). Com base nessa composição, a rocha é classificada, segundo a IUGS, como dolomita–calcita–quartzo xisto milonítico.

**Figura 19** - Amostra de mão da litologia CDQX com enfoque na pirita euédrica e fina bandada, paralela aos planos da foliação bem marcado.



Fonte: Próprio autor (2025).

#### 5.1.4 Quartzo-calcita-clorita xisto (QCCX)

Esta litologia encontra-se concentrada, majoritariamente, na porção oeste da cava, correspondendo à zona distal do sistema hidrotermal. Representa um estágio de alteração menos intenso, embora apresente mineralização marginal (Figura 20), indicando influência incipiente dos fluidos mineralizantes.

**Figura 20** - Talude da litologia QCCX.



Fonte: Próprio autor (2025).

A rocha exibe coloração verde escuro a verde musgo e textura lepidoblástica, marcada pela presença de clorita. A pirita ocorre predominantemente euédrica, formando bandas milimétricas paralelas a subparalelas à foliação e, por vezes, aparece finamente disseminada ao longo dos planos de foliação. É comum a ocorrência de veios de quartzo e calcita e, mais raramente, bandas de quartzo estirado (Figura 21). Pode apresentar magnetismo de baixa intensidade, quando há pirrotita em proporção traço.

A mineralogia é composta predominantemente por clorita (75%), quartzo (15%) e calcita (10%). Com base na composição mineralógica e na textura

metamórfica dominante, a rocha é classificada, segundo os critérios da IUGS, como quartzo–calcita–clorita xisto milonítico.

**Figura 21** - (a) QCCX com bandas de py euédrica. (b) veio de calcita com quartzo e pirita fina no QCCX.



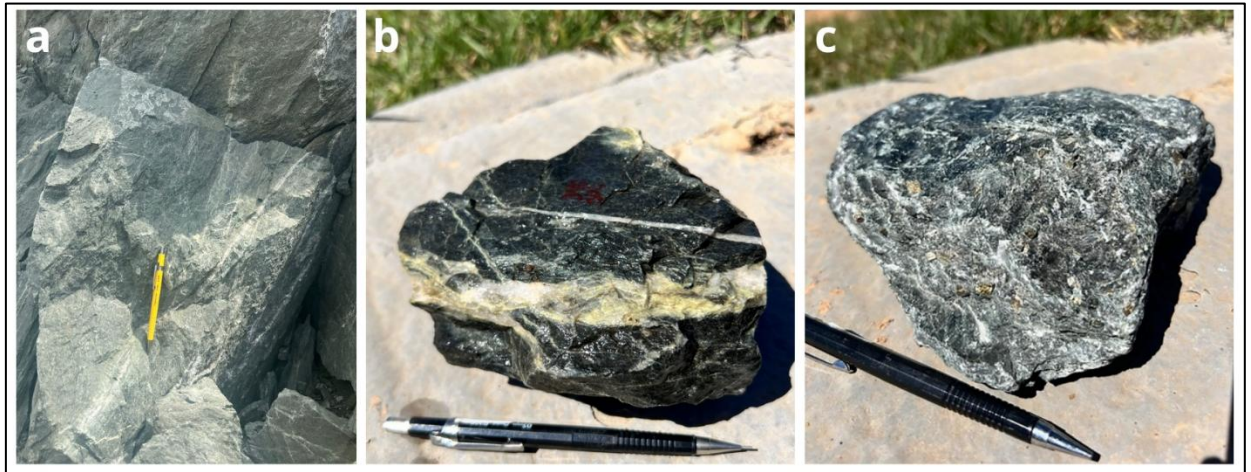
Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.1.5 Quartzo-sericita-anfibólio-clorita xisto (QSACX)

O QSACX corresponde à litologia estéril, encaixante da alteração hidrotermal e da mineralização. Apresenta coloração verde escuro a preta, marcada pela presença de anfibólio e clorita, e textura lepidoblástica, definida pela orientação da clorita. São comuns veios de quartzo e calcita, bem como veios de epídoto, mais frequentes na porção oeste da cava. O magnetismo é predominantemente intenso, podendo localmente ser fraco ou ausente. A pirita, quando presente, ocorre de forma euédrica, grossa e disseminada na rocha (Figura 22).

Em amostra de mão, a composição é dada por clorita (55%), anfibólio (25%), quartzo (10%) sericita (5%), e pirrotita ( $\leq 5\%$ ). Seguindo as recomendações da IUGS, essa litologia pode ser classificada como sericita–quartzo–anfibólio–clorita xisto milonítico.

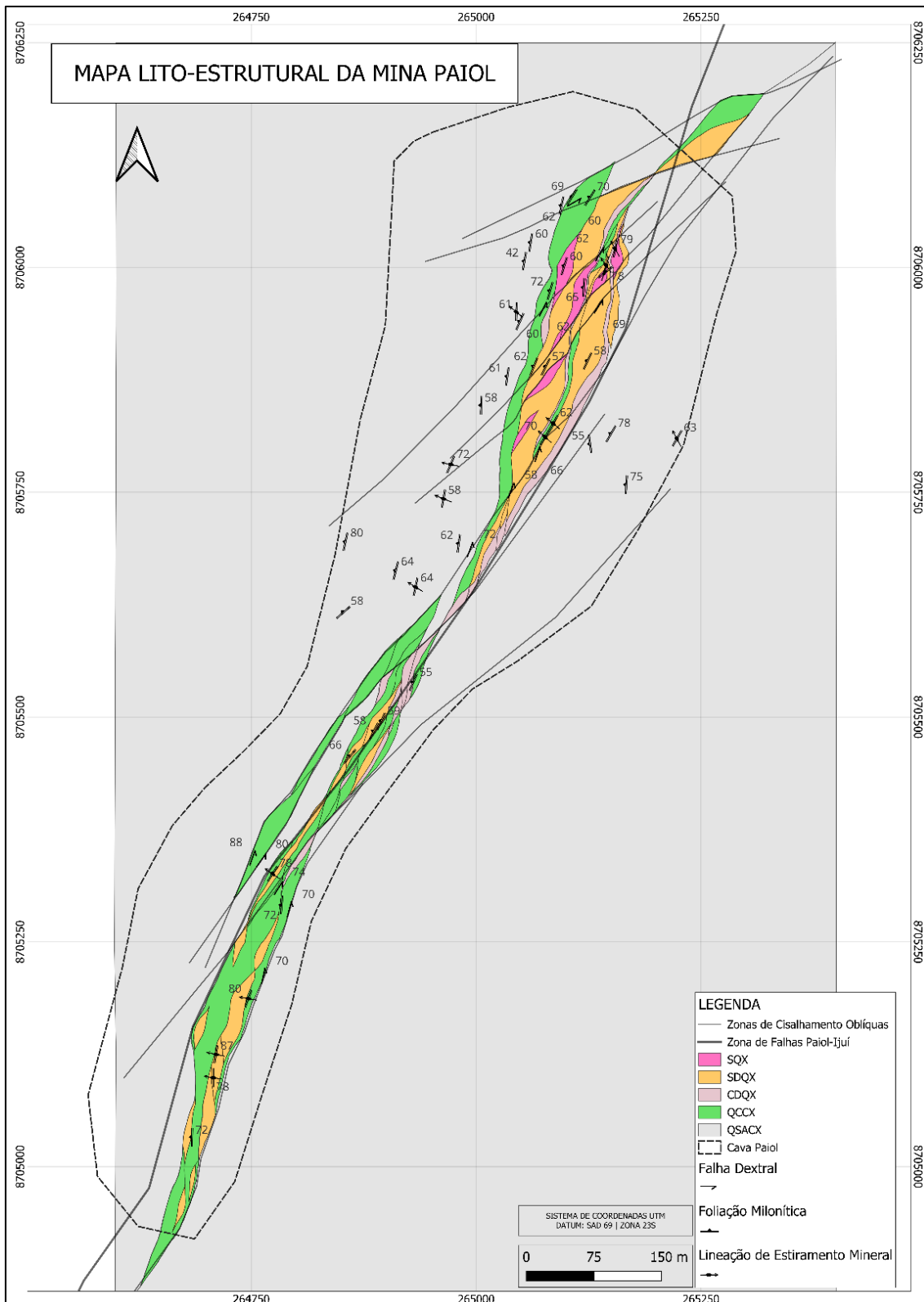
**Figura 22** - (a) Afloramento do QSACX. (b) QSACX com veio de quartzo carbonatado e veio de epídoto. (c) QSACX com pirita euédrica grossa e disseminada.



Fonte: Próprio autor (2025).

A partir dos dados de campo e das descrições macroscópicas das litologias, foi elaborado o mapa geológico da Mina Paiol (Figura 23), no qual estão representadas a distribuição das unidades litológicas, seus contatos e os principais elementos estruturais mapeados, incluindo zonas de cisalhamento e falhas.

**Figura 23 - Mapa geológico da Mina Paiol**



Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.1.6 Características da Mineralização Aurífera da Mina Paiol

Durante o mapeamento geológico de detalhe, a descrição macroscópica das litologias em campo, associada à análise das amostras provenientes da sondagem rotoperfussiva de circulação reversa, permitiu caracterizar as paragêneses hidrotermais associadas à mineralização aurífera da Mina Paiol. A mineralização ocorre associada a zonas de alteração hidrotermal desenvolvidas ao longo de estruturas de cisalhamento, refletindo a evolução progressiva dos fluidos mineralizantes no sistema.

A porção que concentra os maiores teores de ouro é caracterizada pelas alterações fílica e silicificação, definidas pela assembleia mineralógica composta por sericita ± quartzo + pirita ± arsenopirita ± pirrotita ± calcopirita. Essa alteração corresponde à zona central do sistema hidrotermal, associada às litologias mais intensamente modificadas, especialmente os sericita–quartzo xistos miloníticos, e representa o principal ambiente hospedeiro da mineralização aurífera.

Em posições intermediárias do sistema hidrotermal, a mineralização encontra-se associada predominantemente à carbonatação, caracterizada pela assembleia calcita ± dolomita ± ankerita + quartzo + sericita + pirita. Essa zona apresenta teores intermediários de ouro e corresponde a litologias como os calcita–dolomita–quartzo xistos miloníticos, que atuam como unidades guias da mineralização devido à sua recorrência espacial e à associação com sulfetação.

Nas porções mais distais do sistema, observa-se o predomínio da alteração propilítica, caracterizada pela assembleia clorita + carbonato + quartzo ± pirita, associada aos quartzo–calcita–clorita xistos miloníticos e às litologias encaixantes pouco modificadas. Nessa zona, os teores de ouro são geralmente baixos ou marginais, indicando influência incipiente dos fluidos mineralizantes.

## 5.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL DA MINA PAIOL

A foliação milonítica constitui a principal estrutura da Mina Paiol, apresentando caráter dominante e afetando intensamente as rochas

metavulcanossedimentares encaixantes. Essa estrutura é marcada pelo alinhamento preferencial de minerais micáceos e pelo estiramento de quartzo (Fig. 24), sendo caracterizada como uma foliação milonítica penetrativa associada a zonas de cisalhamento dúcteis, que afetam de forma generalizada as litologias mapeadas na área de estudo.

**Figura 24** - Foliação milonítica marcada pela sericita e estiramento do quartzo.



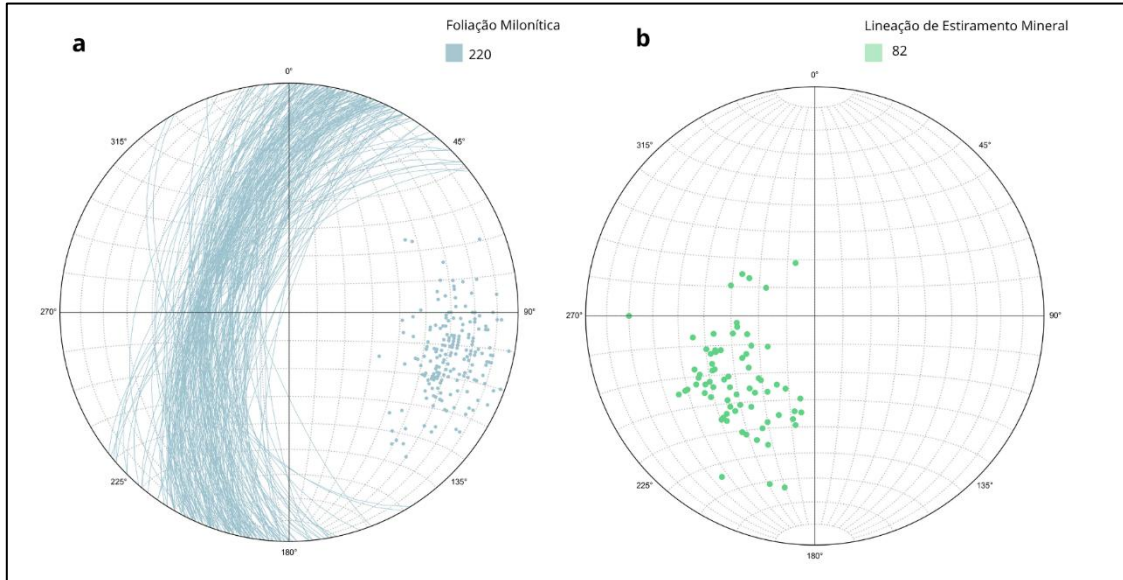
Fonte: Próprio autor (2025).

Foram obtidas 240 medidas de foliações miloníticas, com mergulho predominante para o quadrante noroeste, em ângulos médios a elevados, e 82 atitudes de lineação de estiramento mineral (Figura 25). As foliações apresentam orientação média de N14E/64NW, enquanto as lineações exibem caimento predominante para o quadrante sudoeste, com orientação média de S52W/49 (Figura 26). Observa-se ainda que as litologias que hospedam a mineralização aurífera (SQX e SDQX) apresentam orientação média de N20E/65NW, enquanto a litologia quartzo–sericita–anfíbólio–clorita xisto (QSACX), correspondente à zona distal do sistema hidrotermal e pouco mineralizada, apresenta atitude média de N13E/60NW.

Todas as medidas estruturais e os estereogramas analisados foram gerados no software Leapfrog Geo (versão 2025.2), sendo posteriormente

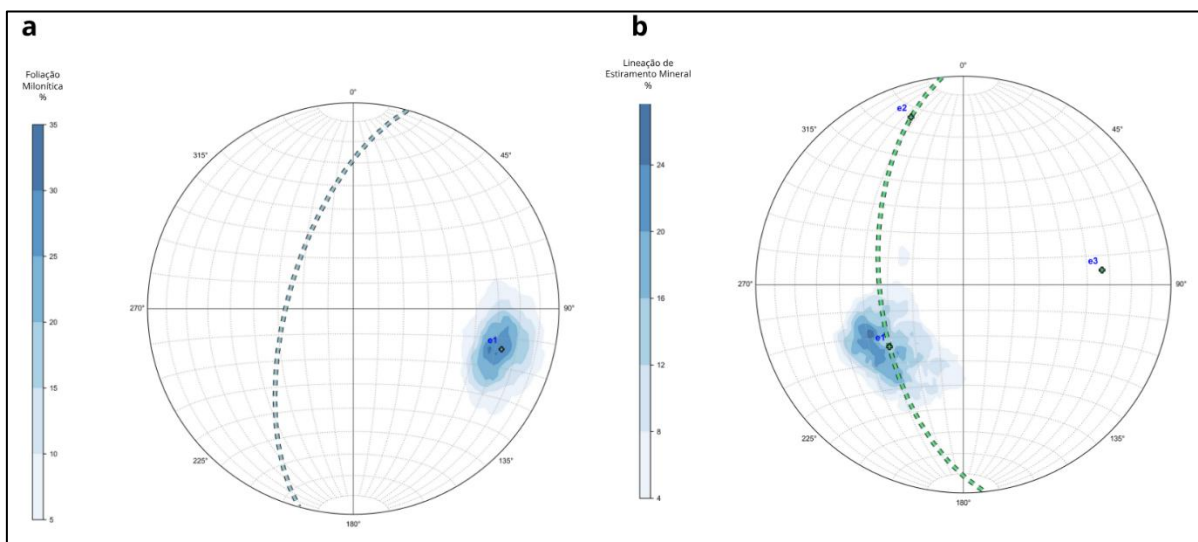
convertidos para notação azimutal em quadrante para fins de apresentação neste trabalho.

**Figura 25** - Em (a) estereograma das foliações miloníticas, em (b) estereograma de lineação de estiramento mineral.



Fonte: Próprio autor (2025).

**Figura 26** - Estereogramas com a média da foliação milonítica (a) e a média da lineação de estiramento mineral (b).

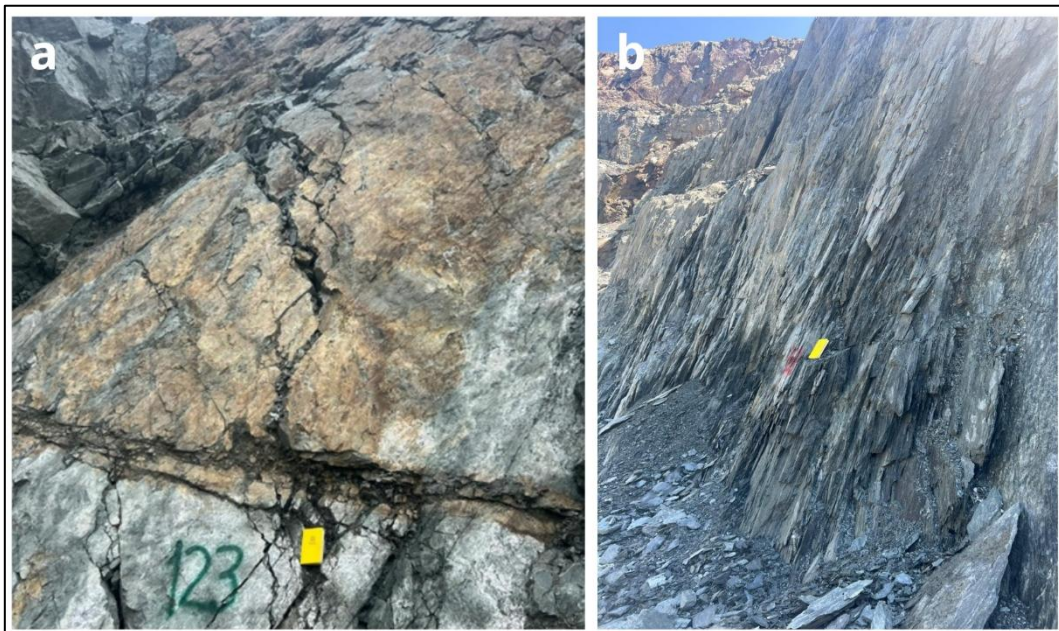


Fonte: Próprio autor (2025).

Foram identificados planos de falha, a partir de 12 medidas, e zonas de cisalhamento, com a coleta de 8 atitudes em campo (Figura 27). As falhas apresentam alto ângulo de mergulho e baixa variação de atitude, sendo subparalelas às zonas de cisalhamento. Estas exibem padrão

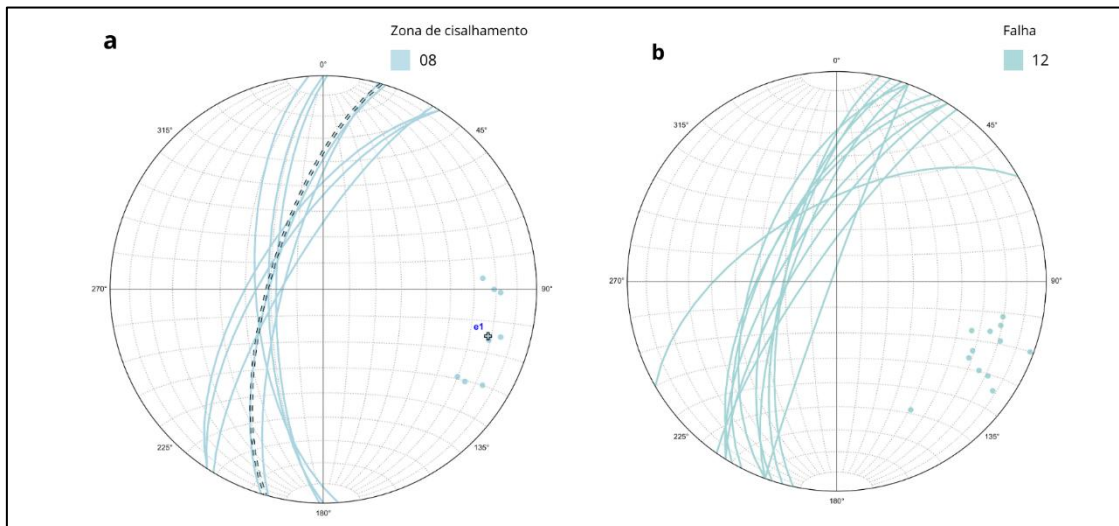
predominantemente agrupado no estereograma, com strike médio aproximado N79W e mergulho de 66° para noroeste (Figura 28).

**Figura 27** - (a) Plano de falha e em (b) zona de cisalhamento.



Fonte: Próprio autor (2025).

**Figura 28** - (a) Medidas estruturais das zonas de cisalhamento com média indicada pela linha azul tracejada, em (b) medidas estruturais dos planos de falha.



Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE OURO NAS AMOSTRAS DE ROCHA E SONDAGEM RC DA MINA PAIOL

Este capítulo apresenta, de forma integrada, os resultados das análises químicas de ouro das amostras coletadas durante o mapeamento geológico e dos furos de sondagem RC, bem como a sua distribuição espacial na Mina Paiol, representada por meio de seção geológica transversal, com base na geologia previamente mapeada e descrita.

Por razões de confidencialidade, não serão divulgadas as coordenadas das amostras e dos furos de sondagem, bem como a identificação nominal completa dos furos utilizados neste trabalho.

#### 5.3.1 Amostragem de rocha

Na amostragem de rocha foram selecionadas amostras pontuais representativas de cada tipo litológico descrito na Mina Paiol, totalizando cinco amostras. Os resultados analíticos de ouro dessas amostras apresentaram ampla variação de teores, com o menor valor abaixo do limite de detecção do método (<0,01 ppm), registrado na litologia QSACX, e o maior teor de ouro (13,84 ppm) obtido na litologia SQX, conforme apresentado na Tabela 1.

Considerando o conjunto das cinco amostras pontuais de rocha (Tabela 1), os teores de ouro apresentam média de 4,16 ppm, mediana de 1,42 ppm, valor mínimo inferior a 0,01 ppm e valor máximo de 13,84 ppm, com desvio padrão de 5,77 ppm.

**Tabela 1** - Resultado das análises de teor de Au em amostras de rocha.

Amostra	Litologia	Au (ppm)
AM-01	SQX	13,84
AM-02	SDQX	5,11
AM-03	CDQX	1,42
AM-04	QCCX	0,43
AM-05	QSACX	<0,01

Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.3.2 Resultados de Au nas amostras da Sondagem RC

Os resultados analíticos de ouro (Au) obtidos a partir das amostras de sondagem rotoperfussiva de circulação reversa (RC) dos furos Paiol 01, Paiol 02 e Paiol 03 são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente, associados às litologias identificadas ao longo de cada furo. Os dados correspondem a intervalos amostrados de 1 m e contemplam os litotipos QSACX, QCCX, SDQX e SQX, conforme a nomenclatura operacional adotada pela mina. A litologia CDQX não ocorre nos intervalos perfurados dos três furos analisados, não estando representada no conjunto RC utilizado.

Os teores de Au obtidos nos três furos apresentam ampla variação ao longo da profundidade, desde valores próximos ao limite inferior de detecção até concentrações elevadas, atingindo valores máximos de até 16,69 ppm. Esses resultados foram posteriormente representados em seções geológicas interpretativas, permitindo a visualização da distribuição espacial dos teores em relação às unidades litológicas mapeadas na Mina Paiol.

**Tabela 2 - Análise química de teor do furo Paiol 01.**

Profundidade (m)		Au (ppm)	LITHO	Profundidade (m)		Au (ppm)	LITHO	Profundidade (m)		Au (ppm)	LIT HO
De	Até			De	Até			De	Até		
0,00	1,00	0,11	QSACX	37,00	38,00	0,01	SDQX	74,00	75,00	0,81	SQX
1,00	2,00	0,01	QSACX	38,00	39,00	0,01	SDQX	75,00	76,00	1,32	SQX
2,00	3,00	0,36	QSACX	39,00	40,00	0,01	SDQX	76,00	77,00	1,70	SQX
3,00	4,00	0,07	QSACX	40,00	41,00	0,07	SDQX	77,00	78,00	1,88	SQX
4,00	5,00	0,90	QSACX	41,00	42,00	1,62	SDQX	78,00	79,00	0,39	SQX
5,00	6,00	0,04	QSACX	42,00	43,00	0,39	SDQX	79,00	80,00	0,18	SQX
6,00	7,00	0,03	QSACX	43,00	44,00	1,59	SDQX	80,00	81,00	0,15	SQX
7,00	8,00	0,09	QSACX	44,00	45,00	0,05	SDQX	81,00	82,00	5,53	SQX
8,00	9,00	0,07	QCCX	45,00	46,00	0,09	SDQX	82,00	83,00	6,31	SQX
9,00	10,00	0,40	QCCX	46,00	47,00	0,02	SDQX	83,00	84,00	9,00	SQX
10,00	11,00	0,04	QCCX	47,00	48,00	0,02	SDQX	84,00	85,00	10,30	SQX
11,00	12,00	0,23	QCCX	48,00	49,00	0,01	SDQX	85,00	86,00	15,74	SQX
12,00	13,00	0,71	QCCX	49,00	50,00	0,02	SDQX	86,00	87,00	11,91	SQX
13,00	14,00	0,42	QCCX	50,00	51,00	0,02	SDQX	87,00	88,00	16,69	SQX
14,00	15,00	0,70	QCCX	51,00	52,00	0,04	SDQX	88,00	89,00	2,56	SQX
15,00	16,00	0,86	QCCX	52,00	53,00	0,03	SDQX	89,00	90,00	1,77	SQX
16,00	17,00	0,50	QCCX	53,00	54,00	0,02	SDQX	90,00	91,00	2,41	SQX

Profundidade (m)				Profundidade (m)				Profundidade (m)			
De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LIT HO
17,00	18,00	0,35	QCCX	54,00	55,00	0,02	SDQX	91,00	92,00	5,44	SQX
18,00	19,00	0,17	QCCX	55,00	56,00	0,02	SDQX	92,00	93,00	7,86	SQX
19,00	20,00	0,41	QCCX	56,00	57,00	0,02	SDQX	93,00	94,00	4,72	SQX
20,00	21,00	0,56	QCCX	57,00	58,00	0,27	SDQX	94,00	95,00	1,04	SQX
21,00	22,00	0,57	QCCX	58,00	59,00	0,17	SDQX	95,00	96,00	1,20	SQX
22,00	23,00	0,32	SDQX	59,00	60,00	0,25	SDQX	96,00	97,00	1,20	SQX
23,00	24,00	0,29	SDQX	60,00	61,00	0,21	SDQX	97,00	98,00	7,92	SQX
24,00	25,00	0,88	SDQX	61,00	62,00	3,11	SDQX	98,00	99,00	2,02	SQX
25,00	26,00	0,31	SDQX	62,00	63,00	1,10	SDQX	99,00	100,00	3,43	SQX
26,00	27,00	0,11	SDQX	63,00	64,00	2,96	SDQX	100,00	101,00	1,89	SQX
27,00	28,00	0,26	SDQX	64,00	65,00	0,71	SDQX	101,00	102,00	1,91	SQX
28,00	29,00	0,36	SDQX	65,00	66,00	0,36	SDQX	102,00	103,00	2,09	SQX
29,00	30,00	0,36	SDQX	66,00	67,00	0,42	SDQX	103,00	104,00	1,86	SQX
30,00	31,00	0,05	SDQX	67,00	68,00	0,59	SDQX	104,00	105,00	1,45	SQX
31,00	32,00	0,03	SDQX	68,00	69,00	0,54	SDQX	105,00	106,00	1,52	SQX
32,00	33,00	0,05	SDQX	69,00	70,00	0,75	SDQX	106,00	107,00	0,70	SQX
33,00	34,00	0,75	SDQX	70,00	71,00	0,31	SDQX	107,00	108,00	1,31	SQX
34,00	35,00	0,61	SDQX	71,00	72,00	0,61	SDQX	108,00	109,00	0,68	SQX
35,00	36,00	0,08	SDQX	72,00	73,00	0,77	SQX	109,00	110,00	2,99	SQX
36,00	37,00	0,04	SDQX	73,00	74,00	0,61	SQX				

Fonte: Aura Minerals (2025).

**Tabela 3.** Análise química de teor do furo Paiol 02.

Profundidade (m)				Profundidade (m)				Profundidade (m)			
De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO
0,00	1,00	0,05	QCCX	20,00	21,00	0,53	SQX	40,00	41,00	6,32	SQX
1,00	2,00	0,13	QCCX	21,00	22,00	0,97	SQX	41,00	42,00	4,76	SQX
2,00	3,00	1,27	SQX	22,00	23,00	0,71	SQX	42,00	43,00	7,55	SQX
3,00	4,00	1,38	SQX	23,00	24,00	1,44	SQX	43,00	44,00	6,27	SQX
4,00	5,00	1,04	SQX	24,00	25,00	1,24	SQX	44,00	45,00	7,36	SQX
5,00	6,00	3,86	SQX	25,00	26,00	0,81	SQX	45,00	46,00	6,70	SQX
6,00	7,00	2,54	SQX	26,00	27,00	0,58	SQX	46,00	47,00	8,74	SQX
7,00	8,00	0,25	SQX	27,00	28,00	0,45	SQX	47,00	48,00	9,66	SQX
8,00	9,00	0,57	SDQX	28,00	29,00	0,59	SQX	48,00	49,00	9,90	SQX
9,00	10,00	0,31	SDQX	29,00	30,00	0,81	SQX	49,00	50,00	3,68	SQX
10,00	11,00	0,20	SDQX	30,00	31,00	0,50	SQX	50,00	51,00	2,84	SQX
11,00	12,00	0,63	SDQX	31,00	32,00	0,05	SQX	51,00	52,00	1,90	SQX
12,00	13,00	0,40	SQX	32,00	33,00	0,05	SQX	52,00	53,00	1,78	SQX
13,00	14,00	0,59	SQX	33,00	34,00	0,14	SQX	53,00	54,00	2,57	SQX
14,00	15,00	0,56	SQX	34,00	35,00	0,35	SQX	54,00	55,00	2,15	SQX
15,00	16,00	0,36	SQX	35,00	36,00	3,78	SQX	55,00	56,00	1,46	SQX

Profundidade (m)				Profundidade (m)				Profundidade (m)			
De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO
16,00	17,00	1,03	SQX	36,00	37,00	3,04	SQX	56,00	57,00	0,73	SQX
17,00	18,00	0,58	SQX	37,00	38,00	2,58	SQX	57,00	58,00	0,38	SQX
18,00	19,00	0,61	SQX	38,00	39,00	2,34	SQX	58,00	59,00	0,31	SQX
19,00	20,00	0,46	SQX	39,00	40,00	2,44	SQX	59,00	60,00	8,86	SQX

Fonte: Aura Minerals (2025).

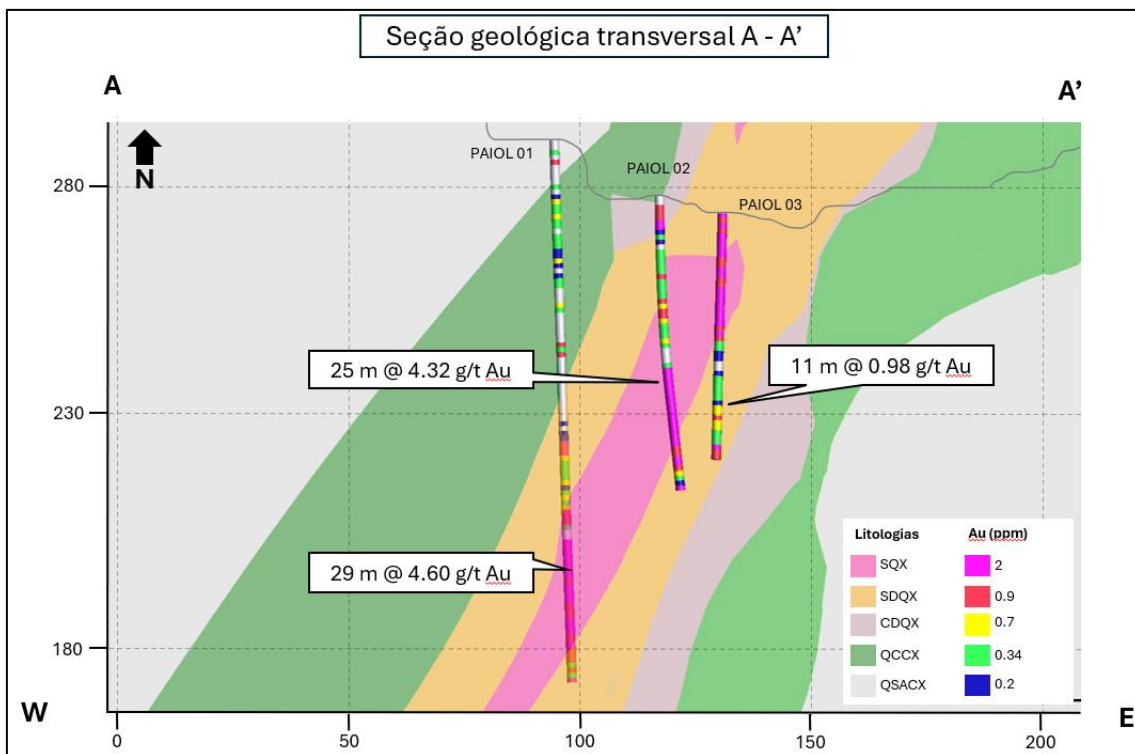
**Tabela 4.** Análise química de teor do furo Paiol 03.

Profundidade (m)				Profundidade (m)				Profundidade (m)			
De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO	De	Até	Au (ppm)	LITHO
0,00	1,00	2,39	QCCX	17,00	18,00	5,15	SQX	34,00	35,00	0,41	SDQX
1,00	2,00	1,03	QCCX	18,00	19,00	9,78	SQX	35,00	36,00	0,58	SDQX
2,00	3,00	3,69	QCCX	19,00	20,00	4,47	SQX	36,00	37,00	0,60	SDQX
3,00	4,00	1,34	QCCX	20,00	21,00	9,76	SQX	37,00	38,00	0,37	SDQX
4,00	5,00	3,05	QCCX	21,00	22,00	6,02	SQX	38,00	39,00	0,30	SDQX
5,00	6,00	6,39	QCCX	22,00	23,00	6,32	SDQX	39,00	40,00	0,76	SDQX
6,00	7,00	6,43	QCCX	23,00	24,00	1,85	SDQX	40,00	41,00	0,75	SDQX
7,00	8,00	6,61	QCCX	24,00	25,00	2,76	SDQX	41,00	42,00	1,12	SDQX
8,00	9,00	6,47	QCCX	25,00	26,00	1,44	SDQX	42,00	43,00	0,79	SDQX
9,00	10,00	1,01	SQX	26,00	27,00	0,63	SDQX	43,00	44,00	0,80	SDQX
10,00	11,00	0,93	SQX	27,00	28,00	0,52	SDQX	44,00	45,00	0,62	SDQX
11,00	12,00	2,22	SQX	28,00	29,00	0,21	SDQX	45,00	46,00	0,66	SDQX
12,00	13,00	3,22	SQX	29,00	30,00	0,23	SDQX	46,00	47,00	0,43	SDQX
13,00	14,00	0,97	SQX	30,00	31,00	0,12	SDQX	47,00	48,00	2,35	SDQX
14,00	15,00	1,18	SQX	31,00	32,00	0,15	SDQX	48,00	49,00	1,25	SDQX
15,00	16,00	2,24	SQX	32,00	33,00	0,27	SDQX	49,00	50,00	1,27	SDQX
16,00	17,00	5,07	SQX	33,00	34,00	0,41	SDQX				

Fonte: Aura Minerals (2025).

Com o objetivo de integrar os resultados analíticos de ouro obtidos nas sondagens RC ao contexto geológico da Mina Paiol, foi elaborada uma seção geológica A – A', com orientação E–W, na qual são apresentados os furos Paiol 01, Paiol 02 e Paiol 03 (Figura 29), juntamente com a distribuição dos teores de Au ao longo da profundidade. Essa seção permite a visualização integrada da geometria das unidades litológicas, das zonas de alteração hidrotermal e da variação dos teores de ouro em subsuperfície, em relação às estruturas mapeadas na cava.

**Figura 29** - Seção geológica transversal A - A' dos furos Paiol 01, 02 e 03.



Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.3.2.1 Caracterização dos teores de Au por litologia nas amostras da Sondagem RC

Com o objetivo de sintetizar os resultados geoquímicos obtidos nas sondagens RC, a Tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos teores de ouro, agrupados por litologia, considerando a totalidade das amostras dos furos Paiol 01, Paiol 02 e Paiol 03.

Para cada unidade litológica, foram calculados o número de amostras (n), os valores mínimo e máximo, a média, a mediana, os quartis (Q1 e Q3) e o intervalo interquartil (IQR), permitindo caracterizar a distribuição e a variabilidade dos teores de Au (Tabela 5).

A litologia QSACX apresenta teores predominantemente baixos, variando de valores próximos ao limite inferior de detecção até 0,90 ppm, com

média em torno de 0,20 ppm e IQR reduzido, refletindo baixa variabilidade dos teores.

A unidade QCCX exibe maior amplitude de teores, com valores máximos de 6,61 ppm e média de 1,74 ppm, além de IQR relativamente elevado, indicando maior dispersão dos dados em comparação à QSACX.

As amostras classificadas como SDQX apresentam teores variando desde valores muito baixos até cerca de 6,32 ppm, com média de 0,61 ppm e IQR moderado, evidenciando ampla variabilidade interna, com predominância de teores baixos a moderados.

A litologia SQX concentra os maiores teores de Au observados nos furos analisados, com valores máximos de 16,7 ppm e média de 3,10 ppm. Os quartis superiores elevados (4,47 ppm) e o IQR mais amplo refletem elevada dispersão dos teores ao longo dos intervalos amostrados.

**Tabela 5** - Estatística descritiva dos teores de Au (ppm) por litologia nos furos Paiol 01, 02 e 03

Litologia	n	Au mín. (ppm)	Q1 (ppm)	Mediana (ppm)	Média (ppm)	Q3 (ppm)	IQR (ppm)	Au máx. (ppm)	Desvio padrão (ppm)
<b>QSACX</b>	8	0,01	0,03	0,08	0,20	0,17	0,14	0,90	0,30
<b>QCCX</b>	25	0,04	0,35	0,57	1,74	2,39	2,04	6,61	2,30
<b>SDQX</b>	82	0,01	0,08	0,36	0,62	0,69	0,61	6,32	0,92
<b>SQX</b>	105	0,05	0,73	1,78	3,10	4,47	3,74	16,69	3,42

Fonte: Próprio autor (2025).

### 5.3.2.2 *Relação entre os teores de Au das amostras da sondagem RC e os percentuais mineralógicos dos litotipos.*

Com o objetivo de identificar tendências estatísticas entre a mineralogia dos litotipos e os teores de ouro, foi realizada uma análise relacionando associações minerais (paragêneses) estimadas durante o mapeamento geológico e os teores médios de Au obtidos nas amostras da sondagem RC. Considerando que a mineralogia empregada neste estudo corresponde a estimativas visuais médias por litotipo, derivadas de descrições macroscópicas, e não de contagens modais quantitativas obtidas por estudos petrográficos, os resultados devem ser interpretados com cautela. Assim, a análise possui caráter

exploratório e busca indicar tendências gerais, passíveis de verificação futura por meio de estudos petrográficos detalhados, incluindo contagens modais sistemáticas.

Para essa avaliação, foram utilizados os teores médios de Au e os percentuais médios estimados dos principais grupos minerais constituintes dos litotipos SQX, SDQX, QCCX e QSACX. A relação entre essas variáveis foi analisada por meio de estatística descritiva e correlação linear (coeficiente de Pearson), visando investigar possíveis associações entre estilos de alteração hidrotermal e enriquecimento em ouro (Tabela 6).

Os resultados indicam que os maiores teores médios de Au ocorrem no litotipo Sericita-quartzo xisto (SQX), com média de 3,10 ppm, caracterizado por elevado teor de quartzo ( $\approx 80\%$ ) e maior proporção relativa de sulfetos ( $\approx 10\%$ ). O coeficiente de correlação indica associação positiva forte entre teor médio de Au e percentual de quartzo ( $r = +0,89$ ), sugerindo que os intervalos mais enriquecidos em ouro estão relacionados a zonas com maior intensidade de silicificação (Tabela 6).

O litotipo Quartzo-calcita-clorita xisto (QCCX) apresenta teores médios intermediários de Au (1,74 ppm) e mineralogia dominada por clorita ( $\approx 75\%$ ), com menor participação de quartzo. A correlação estatística indica relação negativa entre o percentual de clorita e o teor médio de Au ( $r = -0,31$ ), sugerindo que a cloritização se associa preferencialmente a intervalos com menores teores auríferos quando comparados aos litotipos mais silicificados (Tabela 6).

As amostras do Sericita-dolomita-quartzo xisto (SDQX) apresentam teor médio de Au de 0,62 ppm, apesar do elevado conteúdo de sericita ( $\approx 70\%$ ) e da presença de carbonatos. Os resultados indicam correlações negativas entre sericita e Au ( $r = -0,30$ ) e entre carbonatos e Au ( $r = -0,21$ ), sugerindo que a sericitização e a carbonatação, quando não acompanhadas por maior conteúdo de quartzo e sulfetos, tendem a associar-se a teores inferiores de ouro (Tabela 6).

O litotipo Quartzo-sericita-anfibólio-clorita xisto (QSACX) apresenta os menores teores médios de Au (0,20 ppm) e mineralogia dominada por clorita e anfibólio, com baixo teor de quartzo. A análise estatística indica tendência

negativa entre minerais máficos (representados principalmente por clorita e anfibólio, em conjunto) e os teores de Au, compatível com menor enriquecimento aurífero nesse litotipo.

Na comparação entre Au e minerais individuais, os maiores teores tendem a associar-se a maiores percentuais de quartzo e, em menor grau, à presença de sulfetos ( $r = +0,43$ ), enquanto assembleias dominadas por clorita, sericita e carbonatos apresentam correlações negativas (Tabela 6). Essas relações reforçam a importância da silicificação e da sulfetação como processos relevantes na distribuição do ouro na Mina Paiol.

**Tabela 6** - Teor médio de Au, mineralogia média estimada dos litotipos e coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ )

Litotipo	Média Au (ppm)	Quartzo (%)	Sericita (%)	Clorita (%)	Carbonatos (%)	Sulfetos (%)
<b>SQX</b>	3,10	80	10	0	0	10
<b>SDQX</b>	0,62	15	70	0	10	5
<b>QCCX</b>	1,74	15	0	75	10	0
<b>QSACX</b>	0,20	10	0	60	0	5
<b>r (Au × mineral)</b>	-	<b>0,89</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,21</b>	<b>0,43</b>

Fonte: Próprio autor (2025).

Por outro lado, quando se comparam os teores médios de Au com associações minerais obtidas pela soma de percentuais (paragêneses), observa-se que algumas combinações apresentam correlação superior àquela verificada para minerais isolados (Tabela 7). Destacam-se as paragêneses dominadas por quartzo, principalmente quando associadas a carbonatos e/ou sulfetos.

A associação Quartzo + Carbonatos apresentou a maior correlação positiva com os teores médios de Au ( $r = 0,92$ ), seguida pela paragênese Quartzo + Carbonatos + Sulfetos ( $r = 0,89$ ) e pela associação Quartzo + Sulfetos ( $r = 0,85$ ) (Tabela 7). Esses resultados sugerem que a combinação de silicificação com carbonatação e/ou sulfetação apresenta relação estatística mais forte com o enriquecimento aurífero do que a análise de minerais individuais.

Paragêneses envolvendo quartzo associado a sericita e clorita também apresentaram correlação positiva moderada ( $r = 0,77$ ), porém inferior àquelas dominadas por quartzo associado a carbonatos e sulfetos. Em contraste,

associações dominadas por sericita e clorita, com ou sem sulfetos, exibem correlações negativas com os teores de Au, com r inferior a -0,70 em alguns casos (Tabela 7).

**Tabela 7** - Correlação entre teores médios de Au e associações minerais (paragênese) obtidas pela soma dos percentuais minerais

Paragênese ( $\Sigma$ % de minerais)	Nº de minerais	r (Au x paragênese)
<b>Quartzo + Carbonatos</b>	2	0,92
<b>Quartzo + Carbonatos + Sulfetos</b>	3	0,89
<b>Quartzo + Sulfetos</b>	2	0,85
<b>Quartzo + Sericita + Clorita</b>	3	0,77
<b>Quartzo + Clorita</b>	2	0,52
<b>Quartzo + Sericita</b>	2	0,45
<b>Carbonatos + Sulfetos</b>	2	0,13
<b>Sericita + Sulfetos</b>	2	-0,24
<b>Clorita + Sulfetos</b>	2	-0,29
<b>Sericita + Carbonatos</b>	2	-0,30
<b>Sericita + Clorita</b>	2	-0,75
<b>Sericita + Clorita + Sulfetos</b>	3	-0,79

Fonte: Próprio autor (2025).

## 6 DISCUSSÕES

### 6.1 INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA E CONTROLES ESTRUTURAIS

A cava da Mina Paiol possui aproximadamente 400 m de largura e 1,4 km de comprimento, com desenvolvimento alongado na direção N-S. Ao longo da cava foram mapeadas rochas metamorfizadas na fácies xisto-verde, com halos de alteração hidrotermal bem desenvolvidos, dentre os quais se destacam a propilitização (QSACX), a cloritização (QCCX), a carbonatação (CDQX), a sericitização (SDQX) e a silicificação (SQX). Essas zonas de alteração são fortemente controladas por zonas de cisalhamento dúcteis, interpretadas como condutos preferenciais para a circulação dos fluidos hidrotermais responsáveis pela mineralização aurífera.

Estruturalmente, a Mina Paiol caracteriza-se por uma estrutura principal de direção NNE-SSW, com falhas tardias subparalelas que reativam a anisotropia milonítica. Essas zonas imprimem padrões de deformação dúctil de caráter dextral sobre a foliação principal, evidenciados pela presença de *boudins* assimétricos de quartzo, estruturas S/C, quartzo fitado e estiramento mineral.

Durante o mapeamento, foi identificada uma zona de falha denominada Zona de Falha Paiol-Ijuí, a qual corta a Mina Paiol, separando a cava principal da cava sul. Essa estrutura provoca estreitamento e descontinuidade da mineralização nessa porção, representando um importante limite estrutural e influenciando diretamente a continuidade e o comportamento do corpo mineralizado na parte sul da cava.

Essa organização estrutural reflete-se na distribuição dos teores, uma vez que as análises químicas de amostras de mão e os resultados de sondagem RC indicam que a circulação de fluidos hidrotermais, estruturalmente controlada, foi determinante tanto para o desenvolvimento da alteração quanto para a deposição do ouro.

A síntese dos dados e interpretações de campo no mapa geológico permite correlacionar a distribuição das unidades litológicas, seus contatos e os

principais elementos estruturais reconhecidos em campo, evidenciando a relação espacial entre estruturas, halos de alteração hidrotermal e mineralização aurífera. Essa integração contribui para a compreensão da geometria do depósito e do controle estrutural do corpo mineralizado, além de subsidiar a interpretação utilizada na construção e atualização do modelo geológico tridimensional.

## 6.2 CONTROLES DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE OURO NA MINA PAIOL

Os padrões estatísticos observados na distribuição dos teores de ouro em função das litologias são compatíveis com o modelo clássico de depósitos auríferos orogênicos, conforme proposto por Groves et al. (1998) e aprofundado por Goldfarb et al. (2001, 2015) e Goldfarb e Pitcairn (2023). A concentração preferencial do ouro em litologias mais deformadas e mais intensamente silicificadas, especialmente o SQX, reflete o papel fundamental das zonas de cisalhamento crustais como principais condutos para a circulação de fluidos mineralizantes.

No contexto do Terreno Granito-Greenstone do Tocantins, estudos regionais indicam que a mineralização aurífera filoneana está associada a eventos deformacionais de caráter dúctil a dúctil-rúptil, com desenvolvimento de foliações de cisalhamento, veios de quartzo e alterações hidrotermais pervasivas, especialmente silicificação, sericitização e sulfetação, conforme descrito por Cruz e Kuyumjian (1998). A Mina Paiol, em particular, apresenta forte controle estrutural da mineralização associado a zonas de cisalhamento regionais, conforme destacado por Ferrari e Choudhuri (1999a).

O enriquecimento progressivo dos teores de ouro desde o QSACX até o SQX sugere relação direta entre o grau de deformação, a permeabilidade estrutural e a eficiência de precipitação do ouro. A litologia QSACX, interpretada como zona distal do sistema hidrotermal e, em geral, pouco mineralizada, tende a apresentar teores inferiores de Au quando comparada às litologias posicionadas no núcleo do halo hidrotermal. Em contraste, as litologias SDQX e,

principalmente, SQX representam zonas de maior concentração de deformação, maior desenvolvimento de foliação milonítica e maior interação fluido-rocha, favorecendo a deposição do ouro a partir de fluidos hidrotermais ricos em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e enxofre reduzido, típicos de sistemas orogênicos.

A elevada variabilidade dos teores observada nas litologias mineralizadas é característica recorrente em depósitos auríferos orogênicos e reflete a natureza episódica da mineralização, bem como a influência de armadilhas estruturais locais, como mudanças na geometria das zonas de cisalhamento, dilatações locais e interseções estruturais. Esse comportamento é consistente com modelos que consideram fontes profundas de fluidos metamórficos e transporte do ouro predominantemente na forma de complexos de bissulfeto, conforme discutido por Goldfarb e Groves (2015) e Goldfarb e Pitcairn (2023).

Dessa forma, os resultados obtidos para a Mina Paiol reforçam a interpretação de que a mineralização aurífera está geneticamente associada a um sistema orogênico controlado estruturalmente, com forte dependência do grau de deformação e das alterações hidrotermais nas litologias hospedeiras, em consonância com os modelos propostos para depósitos auríferos do Terreno Granito-Greenstone do Tocantins e de províncias orogênicas similares em escala global.

### 6.3 COMPARAÇÃO DAS PARAGÊNESES MINERAIS COM MODELOS CLÁSSICOS DE ALTERAÇÃO HIDROTERMAL EM DEPÓSITOS AURÍFEROS OROGÊNICOS

A análise das correlações estatísticas entre os teores médios de Au e as paragêneses minerais estimadas (Tab. 7) permite comparar os resultados com modelos clássicos de alteração hidrotermal descritos para depósitos auríferos orogênicos. Embora os dados mineralógicos utilizados neste estudo sejam baseados em estimativas visuais médias por litotipo, os padrões observados são coerentes com assembleias minerais amplamente documentadas na literatura para esse tipo de depósito.

Nos modelos clássicos, a mineralização aurífera está tipicamente associada a zonas de silicificação intensa, acompanhadas por sulfetação e, localmente, por carbonatação, formando assembleias dominadas por quartzo ± carbonatos ± sulfetos, frequentemente hospedadas em zonas de cisalhamento crustal com médio a alto grau de deformação (Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2005; Groves et al., 2020).

Nesse contexto, a paragênese Quartzo + Carbonatos, que apresentou a maior correlação positiva com os teores médios de Au ( $r \approx 0,92$ ), é compatível com assembleias típicas de alteração proximal em depósitos orogênicos, nas quais a carbonatação associada à silicificação reflete a interação entre fluidos hidrotermais ricos em CO<sub>2</sub> e rochas encaixantes reativas. A elevada correlação sugere que essa associação mineral representa um estilo de alteração particularmente favorável à concentração de ouro na Mina Paiol.

De forma semelhante, a paragênese Quartzo + Carbonatos + Sulfetos, com correlação também elevada ( $r \approx 0,89$ ), é consistente com modelos que associam o ouro à precipitação concomitante de sulfetos, principalmente pirita e arsenopirita, durante episódios de deformação e circulação de fluidos metamórficos. A associação Quartzo + Sulfetos, com correlação positiva significativa ( $r \approx 0,85$ ), reforça esse padrão e é coerente com descrições clássicas de veios auríferos em depósitos orogênicos, nos quais a silicificação acompanhada de sulfetação representa um dos principais controles litológicos e geoquímicos da mineralização.

Por outro lado, paragêneses dominadas por sericita e clorita, como Sericita + Clorita e Sericita + Clorita + Sulfetos, apresentaram correlações negativas com os teores de Au. Esse comportamento é compatível com modelos nos quais sericitização e cloritização extensivas podem refletir zonas de alteração distal ou estágios hidrotermais menos favoráveis à precipitação do ouro, quando não acompanhadas por silicificação significativa. A presença de clorita dominante pode ainda estar associada a condições de alteração de menor temperatura e/ou a estágios retrógrados do sistema hidrotermal, compatíveis com os menores teores médios de Au observados nessas unidades.

De forma integrada, a comparação entre os resultados estatísticos e os modelos clássicos indica que paragêneses ricas em quartzo, associadas a carbonatos e sulfetos, apresentam maior afinidade com intervalos enriquecidos em ouro na Mina Paiol. Esse padrão reforça a interpretação de que a mineralização aurífera está relacionada a estilos de alteração hidrotermal típicos de ambientes orogênicos, controlados por deformação e circulação de fluidos metamórficos.

Ressalta-se, contudo, que essa interpretação deve ser considerada preliminar, sendo necessária confirmação por meio de estudos petrográficos quantitativos, análises de química mineral e investigações microestruturais, que permitam refinar a caracterização das paragêneses hidrotermais e sua relação temporal com a mineralização aurífera.

## 7 CONCLUSÕES

A Mina Paiol está localizada no *Greenstone Belt* de Almas, inserida em uma sequência de rochas vulcânicas metamorfizadas originalmente na fácies anfibolito e posteriormente retrometamorfizadas para a fácies xisto-verde, as quais foram intensamente modificadas por cisalhamento e processos hidrotermais associados à mineralização aurífera. O mapeamento geológico de detalhe da Mina Paiol, realizado na escala 1:1.000, permitiu a individualização das principais unidades litológicas presentes na área, incluindo o Quartzo-calcita-clorita xisto (QCCX), Calcita-dolomita-quartzo xisto (CDQX), Sericita-dolomita-quartzo xisto (SDQX), Sericita-quartzo xisto (SQX) e Quartzo-sericita-anfibólio-clorita xisto (QSACX), bem como a definição de seus contatos e o reconhecimento dos principais elementos estruturais responsáveis pelo controle da geometria do depósito aurífero.

As rochas mapeadas exibem halos de alteração hidrotermal bem desenvolvidos, caracterizados por propilitização, cloritização, carbonatação, sericitização e silicificação. A distribuição espacial dessas alterações define um arranjo zonado, no qual, a partir do centro do halo hidrotermal em direção às porções mais distais, ocorrem de forma gradacional as litologias SQX, SDQX, CDQX, QCCX e QSACX. Os litotipos SQX e SDQX correspondem ao núcleo do sistema hidrotermal e concentram os maiores teores de ouro, representando os halos químicos de alto teor. As unidades CDQX e QCCX estão associadas ao halo proximal, com teores intermediários a baixos, enquanto o QSACX corresponde à zona distal do sistema, caracterizando predominantemente domínios de baixíssimo teor a estéreis localizados tanto no *hanging wall* quanto no *footwall* do corpo mineralizado.

Do ponto de vista estrutural, a Mina Paiol apresenta uma estrutura principal de direção geral NNE-SSW, marcada por foliação milonítica penetrativa e lineações de estiramento mineral. Essas estruturas imprimem padrões de deformação dúctil de caráter dextral sobre a foliação principal, evidenciados pela presença de *boudins* assimétricos de quartzo, estruturas S/C, quartzo fitado e estiramento mineral. Foram identificadas zonas de cisalhamento dextrais que atuam como controles estruturais fundamentais, modificando a direção e a

continuidade da mineralização e gerando geometrias lenticulares do tipo “amêndoas”, responsáveis pela compartimentação e segregação das diferentes litologias mineralizadas.

A integração entre os dados de mapeamento geológico, descrição de sondagens RC e análises geoquímicas permitiu reconhecer um controle estrutural dominante sobre a distribuição dos teores de ouro. Os maiores teores médios de Au concentram-se nos litotipos mais deformados e silicificados, especialmente no SQX, que apresenta média em torno de 3,10 ppm e valores máximos superiores a 16 ppm. Em contraste, litologias dominadas por cloritização, sericitização e carbonatação, quando não acompanhadas por silicificação significativa, exibem teores médios inferiores. As análises estatísticas indicam correlação positiva elevada entre os teores de Au e o conteúdo de quartzo, bem como com associações minerais ricas em quartzo associadas a carbonatos e sulfetos, reforçando a importância da silicificação e da sulfetação como processos-chave na concentração do ouro.

A elaboração do primeiro mapa geológico de detalhe da Mina Paiol permitiu identificar e representar com maior clareza as zonas de cisalhamento que controlam o depósito, influenciam a direção e a continuidade do minério e definem a arquitetura interna das litologias hospedeiras. De forma integrada, os resultados obtidos indicam que a mineralização aurífera da Mina Paiol é compatível com um sistema do tipo orogênico, geneticamente associado a zonas de cisalhamento dúcteis, com forte controle estrutural, zonamento hidrotermal bem definido e precipitação do ouro relacionada à interação entre fluidos metamórficos e armadilhas estruturais favoráveis.

Ressalta-se que, embora os resultados apresentados forneçam uma base consistente para a interpretação do modelo geológico e metalogenético da Mina Paiol, estudos complementares, incluindo análises petrográficas quantitativas, contagens modais e investigações microestruturais, são recomendados para refinar a caracterização das paragêneses hidrotermais e a relação temporal entre deformação, alteração e mineralização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). *Sumário Mineral Brasileiro – Ouro* (ano base 2023). Brasília: ANM, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. *Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste*. Campina Grande, 1977. p. 363–391.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 17, p. 1–29, 1981.
- ALVARENGA, C. J. S. de; TROMPETTE, R. Evolução tectônica brasileira da Faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 23, p. 18–30, 1993.
- AURA MINERALS INC. *NI 43-101 technical report: Almas Project, Tocantins State, Brazil*. Toronto: Aura Minerals Inc., 2025. 188 p. Preparado por: SLR Consulting (Canada) Ltd.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Brasília: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2003. 692 p.
- CORDANI, U. G.; PIMENTEL, M. M.; GANADE DE ARAÚJO, C. E.; FUCK, R. A. The significance of the Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of West Gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 583-597, set. 2013. DOI: 10.5327/Z2317-48892013000300012.
- CORDEIRO, P. F. O. *Compartimentação geológica e geocronológica dos terrenos do embasamento norte da Faixa Brasília*. 2014. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

- CORDEIRO, P. F. O.; OLIVEIRA, C. G. de. *The Goiás Massif: implications for a pre-Columbia 2.2 to 2.0 Ga continent-wide amalgamation cycle in central Brazil*. *Precambrian Research*, v. 303, p. 1–17, 2017. DOI: 10.1016/j.precamres.2017.06.021.
- CRUZ, E. L. C. C. Geologia e mineralizações auríferas do Terreno Granitoide-Greenstone de Almas-Dianópolis, Tocantins. 1993. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1993.
- Cruz, E. L. C. C.; Kuyumjian, R. M. Chemical characterization of metabasalts and granitoids from the Almas-Dianópolis granite-greenstone terrane, central Brazil. In: Symposium on Archaean Terranes of the South American Platform, Brasília, 1996. *Extended Abstracts*, p. 53-54.
- CRUZ, E. L. C. C. da; KUYUMJIAN, R. M. Mineralizações auríferas filoneanas do Terreno Granito-Greenstone do Tocantins. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 173–182, jun. 1999. Disponível em: <repositorioslatinoamericanos.uchile.cl>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- CRUZ, E. L. C. C.; KUYUMJIAN, R. M. Geology and tectonic evolution of the Tocantins granite-greenstone terrane: Almas-Dianópolis region, Tocantins State, central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 2, p. 172–173, 1998.
- DARDENNE, M. A. The Brasília Fold Belt. In: TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. p. 231–263.
- EVANS, K. A.; TOMKINS, A. G. Metamorphic fluids in orogenic settings. *Elements*, v. 16, n. 6, p. 381–387, dez. 2020. DOI: 10.2138/GSELEMENTS.16.6.381.
- FERRARI, M. A. D.; CHOUDHURI, A. Tectônica e aurífera da Mina Córrego Paiol, Almas-TO. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis, BA. *Anais [...]*. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1999a. p. 34–36.
- FERRARI, M. A. D. *Controles da mineralização aurífera da Mina Córrego Paiol da sequência vulcano-sedimentar de Almas – TO*. 2001. 207 f. Tese

(Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FERRARI, M. A. D.; CHOUDHURI, A. Structural controls on gold mineralisation and the nature of related fluids of the Paiol gold deposit, Almas Greenstone Belt, Brazil. *Ore Geology Reviews*, v. 24, p. 173–197, 2004. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2003.05.001.

FRASCA, A. A. S. *Amálgamas do W-Gondwana na Província Tocantins*. 2015. 172 f. Tese (Doutorado em Geologia) — Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FRASCA, A. A. S.; RIBEIRO, P. S. E. *Evolução crustal e metalogenia da porção centro-norte da Faixa Brasília*. Goiânia: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2019.

FUCK, R. A.; JARDIM DE SÁ, E. F.; PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco. In: DOMINGUEZ, J. M. L.; MISI, A. (org.). *O Cráton do São Francisco*. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 161–186.

FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., 1994, Brasília. *Anais*. Brasília: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. p. 184–187.

FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; D'EL-REY SILVA, L. J. H. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, Camboriú. *Anais...* Camboriú: SBG, 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303152579>. Acesso em: 15 jul. 2025.

FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; BOTELHO, N. F.; ARMSTRONG, R.; LAUX, J. H.; JUNGES, S. L.; SOARES, J. E.; PRAXEDES, I. F. Paleoproterozoic crust-formation and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: a contribution for Atlantica

- supercontinent reconstruction. *Precambrian Research*, v. 244, p. 53–74, 2014. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.12.003.
- FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L. The Northern Brasília Belt. In: HEILBRON, M. et al. (eds.). *São Francisco Craton, Eastern Brazil*. Cham: Springer International Publishing Switzerland, 2017. p. [205-220]. DOI: 10.1007/978-3-319-01715-0\_11.
- GOLDFARB, R. J.; PITCAIRN, I. Orogenic gold: is a genetic association with magmatism realistic? *Mineralium Deposita*, v. 58, n. 1, p. 5–35, 2023. DOI: 10.1007/s00126-022-01146-8.
- GOLDFARB, R. J.; GROVES, D. I. Orogenic gold: common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos*, v. 233, p. 2–26, 2015. DOI: 10.1016/j.lithos.2014.11.021.
- GOLDFARB, R. J.; GROVES, D. I.; GARDOLL, S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, v. 18, n. 1–2, p. 1–75, 2001. DOI: 10.1016/S0169-1368(01)00016-6.
- GOLDFARB, R. J.; GROVES, D. I.; GARDOLL, S. *Orogenic gold and geologic time: a global synthesis*. *Economic Geology*, v. 100, p. 407–450, 2005.
- GROVES, D. I. et al. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, Amsterdam, v. 13, n. 1–5, p. 7–27, 1998.
- GROVES, D. I.; SANTOSH, M.; ZHANG, L. A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration. *Mineralium Deposita*, v. 55, p. 275–292, 2020. DOI: 10.1007/s00126-019-00877-5.
- HASUI, Y. Sistema Orogênico Tocantins. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012. p. 289–325.
- HOUGH, R. M.; BUTT, C. R. M.; FISCHER-BÜHNER, J. The crystallography, metallography and composition of gold. *Elements*, v. 5, n. 5, p. 297–302, out. 2009. DOI: 10.2113/gselements.5.5.297.

- KUYUMJIAN, R. M.; CRUZ, E. L. C. C.; ARAÚJO FILHO, J. O.; MOURA, M. A.; GUIMARÃES, E. M.; PEREIRA, K. M. S. Geologia e ocorrências de ouro do Terreno Granito-Greenstone do Tocantins, TO: síntese do conhecimento e parâmetros para exploração mineral. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 213–228, mar. 2012.
- KWITKO, R.; MASOTTI, F.; DAARS, F. J.; ABREU, F. R.; BELLA, V. C. M.; FERRARI, A. J. D.; FUCK, R. F.; GOMES, R. P.; RIBEIRO, E.; TALLARICO, F.; VIAL, D. S.; VIANA, F. H. Petrografia, alteração hidrotermal e mineralização aurífera da jazida do Córrego Paiol – Almas (TO). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA**, 5.; **CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA**, 3., 1995, Niterói. *Resumos expandidos*. Niterói: [s.n.], 1995. Publicado em CD-ROM.
- LOBATO, L. M.; COSTA, M. A. *Ouro*. In: **RECURSOS MINERAIS DE MINAS GERAIS ON-LINE**: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais. Belo Horizonte: CODEMGE, 2018. v. 1.
- LOBATO, L. M.; COSTA, M. A.; HAGEMANN, S. G.; MARTINS, R. Ouro no Brasil: principais depósitos, produção e perspectivas. In: MELFI, A. J.; MISI, A.; CAMPOS, D. A.; CORDANI, U. G. (org.). *Recursos minerais no Brasil: problemas e desafios*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 46–59.
- MARTINS-FERREIRA, M. A. C.; DIAS, A. N. C.; CHEMALE JR., F.; CAMPOS, J. E. G.; SERAINE, M.; RODRIGUES, E. N. Multi-stage crustal accretion by magmatic flare-up and quiescence intervals in the western margin of the São Francisco Craton: U-Pb-Hf and geochemical constraints from the Almas Terrane. *Gondwana Research*, 2020. DOI: 10.1016/j.gr.2020.04.00.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ALVARENGA, C. J. de. Post-Brasiliano (Pan-African) high-K granitic magmatism in Central Brazil: the role of late Precambrian–early Palaeozoic extension. *Precambrian Research*, v. 80, n. 3–4, p. 217–238, 1996. DOI: 10.1016/S0301-9268(96)00016-2.

- PIMENTEL, M. M.; WHITEHOUSE, M. J.; VIANA, M. G.; FUCK, R. A.; MACHADO, N. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. *Precambrian Research*, v. 81, p. 299–310, 1997. DOI: 10.1016/S0301-9268(96)00039-3.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; BOTELHO, N. F. Granites and the geodynamic history of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil: a review. In: *Geology of the Brasília Belt*. Brasília: Elsevier Science, 1999. p. 463–483.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C. F.; ARAÚJO, S. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: CORDANI, U. G. et al. (org.). **TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA**. Rio de Janeiro: International Geological Congress, 31., 2000. *Anais*. Rio de Janeiro, 2000. p. 195–229.
- PORTO, C. G.; PALERMO, N.; PIRES, F. R. M. Panorama da exploração e produção do ouro no Brasil. In: TRINDADE, R. B. E.; BARBOSA FILHO, O. (org.). *Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 1–22.
- RIDLEY, J. R.; DIAMOND, L. W. Fluid chemistry of lode-gold deposits and implications for genetic models. In: HAGEMANN, S. G.; BROWN, P. (ed.). *Gold in 2000. Reviews in Economic Geology*. Littleton: Society of Economic Geologists, 2000. v. 13, p. 141–162.
- SABOIA, A. M. Geologia, geocronologia e geoquímica dos granitoides paleoproterozoicos do Domínio Almas–Conceição do Tocantins, norte do Orógeno Brasília: implicações magmáticas e geodinâmicas. 2021. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- SABOIA, A. M.; OLIVEIRA, C. G. de; DANTAS, E. L.; SCANDOLARA, J. E.; CORDEIRO, P.; RODRIGUES, J. B.; SOUSA, I. M. C. The 2.26 to 2.18 Ga arc-related magmatism of the Almas-Conceição do Tocantins domain: an early stage of the São Francisco paleocontinent assembly in central

Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 104, p. 102757, 2020.  
DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102757.

SCHMID, R.; FETTES, D.; HARTE, B.; DAVIS, E.; DESMONS, J. *How to name a metamorphic rock*. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks (SCMR), 2007

SILVA, A.; SOUZA, L. H.; FERREIRA, M. C. B. Alteração hidrotermal da sequência de rochas do alvo Córrego do Paiol e mineralização aurífera associada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, [s.l.]. *Anais*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. p. 1129–1143.

SOUSA, I. M. C.; DELLA GIUSTINA, M. E. S.; DE OLIVEIRA, C. G. *Crustal evolution of the northern Brasília Belt basement, central Brazil: a Rhyacian orogeny coeval with a pre-Rodinia supercontinent assembly*. *Precambrian Research*, v. 273, p. 129–150, 2016. DOI: 10.1016/j.precamres.2015.12.007.

SOUSA, M. J. de (org.). *Economia mineral do ouro*. São Paulo: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2023. *Informe de Recursos Minerais – Série Ouro*, n. 19.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. *Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional*. *Geonomos*, v. 20, n. 2, p. 1–14, 2012. DOI: 10.18285/geonomos.v2i20.243.

VALERIANO, C. M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H. J. *A evolução tectônica da Faixa Brasília*. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano...*, São Paulo: Beca, 2004, p. 575-592.