

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**MARIANA LINO ELIAS**

**ESTUDO DA GERAÇÃO DE CH<sub>4</sub> E CO<sub>2</sub> NA FORMAÇÃO SOLIMÓES,  
OESTE DA AMAZÔNIA**

Trabalho de Formatura 22/37

Orientador Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi  
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental

Coorientador Dr. Dailson José Bertassoli Junior  
Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGaL)

**São Paulo  
2022**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO DA GERAÇÃO DE CH<sub>4</sub> E CO<sub>2</sub> NA FORMAÇÃO SOLIMÕES,  
OESTE DA AMAZÔNIA**

**MARIANA LINO ELIAS**

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharela em Geologia.

Área de Concentração: Geologia sedimentar e ambiental.

Orientador: André Oliveira Sawakuchi  
Coorientador: Dailson José Bertassoli Junior

**São Paulo  
2022**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO DA GERAÇÃO DE CH<sub>4</sub> E CO<sub>2</sub> NA FORMAÇÃO SOLIMÓES,  
OESTE DA AMAZÔNIA**



De acordo com \_\_\_\_\_

Mariana Lino Elias



Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi

**São Paulo**

**2022**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este Trabalho de Formatura aos meus pais, Ari e Lilian. Vocês estão presentes em todas as minhas conquistas.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi pelos últimos dois anos de orientação, ensinamentos e paciência, sem os quais este trabalho não seria possível. Ao Dr. Dailson José Bertassoli Junior por coorientar este estudo com calma e dedicação, me guiando pelos caminhos do entendimento da geração de gases biogênicos. Ao Msc. Kleiton Rabelo de Araújo, por toda sua ajuda a cada passo do trabalho, mas principalmente pela companhia e amizade, mesmo durante dias monótonos no laboratório. Agradeço também à toda equipe do LEGaL, que me ofereceu auxílio para resolver qualquer problema que pudesse aparecer.

Agradeço minha família pelo amor e apoio incondicional durante toda minha vida. Aos meus pais, Ari e Lilian, que sempre deram o que tinham e o que não tinham para garantir minha felicidade, e cujos valores ensinados de dedicação aos estudos e à educação rendem frutos até hoje, formando já a terceira filha na USP. Às minhas irmãs, Karime e Gabriela, que sempre acreditaram e cuidaram de mim, e foram meus exemplos em todos os aspectos da minha vida. À minha sobrinha Alicia por ser um raio de luz, leveza e alegria, e me ensinar mais sobre o amor todos os dias. Aos meus cunhados Brunos, que também tornaram-se meus irmãos. E aos doguinhos da família, Chico, Juca e Kiara, cujas lambidas, viradas de barriga e gracinhas não falham em trazer um sorriso ao rosto mesmo em dias tristes.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo dos anos. Sou privilegiada o suficiente por ter pessoas demais para conseguir listar todos os nomes sem correr o risco de esquecer algum. Mas a todos que já passaram pela minha vida e, principalmente, àqueles que continuam nela, fica aqui o meu sentimento de gratidão por todos os momentos e memórias que nunca esquecerei. Agradeço também ao meu namorado, Giovanni, cujo amor e companhia me fazem mais feliz do que eu sabia ser possível.

Agradeço ao Instituto de Geociências da USP, aos professores e funcionários que me guiaram até aqui e me fizeram desenvolver o amor por essa ciência tão maravilhosa que é a Geologia.

Agradeço ao Dr. Adriano Domingos dos Reis, ao Dr. Isaac Salém Alves Bezerra e a Msc. Camila Althaus pelo fornecimento das amostras que tornaram este estudo possível.

Por fim, gostaria de agradecer ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-43.1 ANP), em conjunto com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) por terem possibilitado a pesquisa que levou ao desenvolvimento desse Trabalho de Formatura.

“Não consigo lembrar dos livros que li ou  
das refeições que comi, mesmo assim,  
eles me fizeram a pessoa que sou.”

Ralph Waldo Emerson (1803-1882)

## RESUMO

A Formação Solimões está presente em território brasileiro nas porções mais superficiais das bacias do Acre e Solimões. Esta unidade estratigráfica está situada em áreas sob influência da tectônica andina, apresenta idade neomiocênica-eopliocênica e é composta por sedimentos arenosos e lamosos continentais, com folhelhos orgânicos de ambiente lacustre e intervalos representativos de ambiente marinho raso. As características litológicas, estratigráficas, estruturais e geoquímicas da unidade em questão são potencialmente adequadas para a geração de metano ( $\text{CH}_4$ ) biogênico, viabilizando a formação de acumulações não-convencionais de gás natural. Dessa forma, o presente estudo pretende caracterizar a potencial geração biogênica de  $\text{CH}_4$  e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) nas fácies orgânicas da Formação Solimões por meio de experimentos de incubação.

Para atingir tais objetivos, foram selecionadas 6 amostras de folhelho orgânico, obtidas em diferentes profundidades do furo de sondagem 1-AS-14-AM, que integra o escopo do Projeto Carvão no Alto Solimões – CPRM/DNPM. Os experimentos de incubação simularam dois cenários, um sem adição de comunidades microbianas exógenas, com uso de água destilada, e outro com adição de comunidades microbianas exógenas presentes na água do lago da reserva florestal do Instituto de Biociências do Campus Butantã da USP. A quantificação de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  foi realizada por meio de um cromatógrafo gasoso com detector por ionização de chama. Análises de carbono orgânico total (COT) foram realizadas para verificar a potencial influência do carbono orgânico na produção de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

As incubações com água do lago apresentaram os maiores valores entre os experimentos realizados, com taxa de produção máxima de  $0,19 \text{ mmol. g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  para  $\text{CH}_4$  e  $142,23 \text{ mmol. g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  para  $\text{CO}_2$  (amostra SI-02). Os valores de COT obtidos variaram de 3,83 a 5,61, com destaque para as amostras SI-05 e SI-06, que ultrapassam 10% de COT. Não foi encontrada correlação entre os resultados de taxa de produção obtidos e de teor de COT.

Os resultados de geração de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  obtidos confirmaram o forte potencial metanogênico da Formação Solimões. As duas amostras que apresentaram as maiores taxas de produção (SI-02 e SI-03), referentes às profundidades de 67,07 m e 106,8 m, correspondem ao ambiente deposicional lacustre, com matéria orgânica responsável por gerar querogênio tipo I, que apresenta o maior potencial para geração de hidrocarbonetos. Os resultados obtidos sugerem que a composição da matéria orgânica presente nos folhelhos orgânicos da Formação Solimões é um fator predominante no controle do processo metanogênico dessa unidade.

**Palavras-chave:** Formação Solimões; Folhelhos orgânicos; Gases biogênicos; Metanogênese.

## ABSTRACT

The Solimões Formation is present in Brazilian territory in the most superficial portions of the Acre and Solimões basins. This stratigraphic unit is located in areas under the influence of Andean tectonics, presents Neo-Miocene-Eopliocene age and is composed of continental sandy and muddy sediments, with organic shales from a lacustrine environment and representative intervals of a shallow marine environment. The lithological, stratigraphic, structural and geochemical characteristics of the unit in question are potentially suitable for the generation of biogenic methane ( $\text{CH}_4$ ), enabling the formation of non-conventional accumulations of natural gas. Thus, the present study intends to characterize the potential biogenic generation of  $\text{CH}_4$  and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) in the organic facies of the Solimões Formation through incubation experiments.

In order to achieve these objectives, 6 samples of organic shale were selected, obtained at different depths of drilling hole 1-AS-14-AM, that is part of the scope of the "Projeto Carvão no Alto Solimões – CPRM/DNPM". The incubation experiments simulated two scenarios, one without the addition of exogenous microbial communities, using distilled water, and another with the addition of exogenous microbial communities present in the lake water of the natural reserve of the Institute of Biosciences at the Butantã Campus of University of São Paulo. Quantification of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  was performed using a gas chromatograph with a flame ionization detector. Total organic carbon (TOC) analyzes were performed to verify its potential influence on  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  production.

Incubations with lake water showed the highest values among the experiments performed, with a maximum production rate of  $0.19 \text{ mmol. g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  for  $\text{CH}_4$  (sample SI-02) and  $142.23 \text{ mmol. g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  for  $\text{CO}_2$  (sample SI-02). The samples showed TOC values ranging from 3.83 to 5.61%, with emphasis on samples SI-05 and SI-06, which exceeded 10% of TOC. No direct correlation was found between the production rate results obtained and the TOC content.

The  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  generation results obtained confirmed the strong methanogenic potential of the Solimões Formation. The two samples that showed the highest production rates (SI-02 and SI-03), referring to depths of 67.07 m and 106.8 m, respectively, correspond to the lacustrine depositional environment, with organic matter responsible for generating type I kerogen, which has the greatest potential for hydrocarbon generation. The obtained results suggest that the composition of the organic matter present in the organic shales of the Solimões Formation is a predominant factor in the control of the methanogenic process of this unit.

**Keywords:** Solimões Formation; Organic shales; Biogenic gases; Methanogenesis.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. METAS E OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
3.1. A bacia do Solimões	3
3.2. A formação Solimões	7
3.3. Geração de gases biogênicos	8
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>10</b>
4.1. Obtenção e preparação de amostras	10
4.2. Experimentos de incubação	12
4.3. Cromatografia gasosa	14
4.4. Análise de carbono orgânico total (COT)	15
4.5. Integração de interpretação dos dados coletados	15
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>16</b>
5.1. Teor de carbono orgânico	16
5.2. Experimentos de incubação para avaliação do potencial de produção de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub>	16
5.2.1. Incubações com água de lago	16
5.2.2. Incubações com água destilada	18
5.3. Taxas de produção de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub>	20
5.3.1. Taxas de produção de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> obtidas em incubações com água de lago	20
5.3.2. Taxas de produção de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> obtidas em incubações com água destilada	22
<b>6. DISCUSSÃO</b>	<b>25</b>
6.1. Origem da matéria orgânica e teor de carbono orgânico	25
6.2. Potencial de produção de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub>	26
<b>7. CONCLUSÕES</b>	<b>29</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>30</b>
<b>APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> OBTIDAS PELAS AMOSTRAGENS DAS INCUBAÇÕES</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO A – COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO FURO 1-AS-14-AM</b>	
<b>ANEXO B – LAUDOS DE ANÁLISE CHN</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bacias Sedimentares da Amazônia brasileira, com áreas de afloramento das formações Içá, Solimões e Alter do Chão.	3
Figura 2	Seção Geológica Esquemática da Bacia do Solimões.	5
Figura 3	Carta estratigráfica da bacia do Solimões.	6
Figura 4	Mapa de localização da sondagem 1-AS-14-AM, S 04°21' / W 69° 36'.	10
Figura 5	Pacotes de aproximadamente 8cm de largura e 30g de massa cada um, contendo as amostras de folhelho da Formação Solimões de diferentes profundidades da sondagem 1-AS-14-AM utilizadas para os experimentos de incubação.	11
Figura 6	Vidrarias lavadas sendo calcinadas em forno tipo Mufla.	13
Figura 7	Amostra para moagem com uso de almofariz e pistilo.	13
Figura 8	Pesagem de amostra em balança analítica e divisão da amostra moída e peneirada.	14
Figura 9	Selagem dos frascos com rolhas butílicas e lacres de alumínio.	14
Figura 10	Degaseificação dos frascos com uso de bomba de evacuação e cilindro de gás nitrogênio.	14
Figura 11	Amostras acondicionadas nos frascos para experimento de incubação.	14
Figura 12	Evolução das concentrações de CH <sub>4</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água do lago.	17
Figura 13	Evolução das concentrações de CO <sub>2</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água do lago.	18
Figura 14	Evolução das concentrações de CH <sub>4</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água destilada.	19
Figura 15	Evolução das concentrações de CO <sub>2</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água destilada.	20
Figura 16	Taxas de produção de CH <sub>4</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).	21
Figura 17	Taxas de produção de CO <sub>2</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).	22
Figura 18	Taxas de produção de CH <sub>4</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).	23
Figura 19	Taxas de produção de CO <sub>2</sub> das incubações montadas com água destilada dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição litológica das amostras utilizadas.	11
Tabela 2	Dados de identificação das amostras utilizadas.	12
Tabela 3	Resultados de porcentagem de carbono total, carbono inorgânico e de COT para as amostras analisadas.	16
Tabela 4	Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CH <sub>4</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água do lago.	20
Tabela 5	Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CO <sub>2</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água do lago.	21
Tabela 6	Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CH <sub>4</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água destilada.	22
Tabela 7	Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CO <sub>2</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água destilada.	23

## **1. INTRODUÇÃO**

Estima-se que aproximadamente 20% das reservas mundiais de gás natural são formadas por gases biogênicos (Rice, 1993). No entanto, estudos sobre a geração biogênica de metano ( $\text{CH}_4$ ) ainda são escassos na literatura e a importância dessa geração para acumulações comerciais de gás natural e para emissão de gases de efeito estufa é, em muitos casos, desconhecida.

A Formação Solimões, presente nas bacias do Acre e do Solimões, apresenta características litológicas, estratigráficas, estruturais e geoquímicas que permitiram que fosse inferida a possibilidade de potencial para a geração de metano ( $\text{CH}_4$ ) biogênico que pudesse gerar acumulações não-convencionais de gás natural (Wanderley Filho *et al.*, 2007; Barata e Caputo, 2007; Milkov, 2011; Maia *et al.*, 1977; Pupim *et al.*, 2019; Kern *et al.*, 2020).

Este trabalho visa compreender o potencial de geração de gases biogênicos na Formação Solimões e os mecanismos responsáveis por ela. Assim, utilizou experimentos de incubação e análises de teor de carbono orgânico total (COT) para quantificar as taxas de produção de gases biogênicos na Formação Solimões e qualificar os fatores responsáveis para que essa geração seja possível.

## **2. METAS E OBJETIVOS**

O principal objetivo deste estudo foi investigar o potencial para a geração de gases biogênicos ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) nas fácies orgânicas da Formação Solimões, no oeste da Amazônia. Para isso, as amostras utilizadas foram submetidas a experimentos de incubação, para replicar o processo metanogênico em laboratório, e à análise de teor de carbono orgânico total (COT). As metas do trabalho incluem:

- a) Identificar o impacto no potencial de produção de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  com e sem a adição de comunidade microbiana exógena nas amostras selecionadas;
- b) Avaliar o controle do teor de COT na produção de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ;
- c) Verificar se a ocorrência de heterogeneidades composticionais, presentes em diferentes profundidades da unidade, afetam o potencial de produção de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

Os resultados obtidos, integrados à revisão bibliográfica sobre a unidade de estudo e os mecanismos de geração de gases biogênicos, permitiram que fossem levantadas hipóteses acerca dos fatores responsáveis pelo processo metanogênico da Formação Solimões.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A Bacia do Solimões

A Bacia paleozoica do Solimões compreende uma área de aproximadamente 440.000 km<sup>2</sup> localizada quase inteiramente no Estado do Amazonas, com uma porção norte que se estende para o território colombiano. Sua área pode ser subdividida em duas porções, a Sub-bacia Jandiatuba, a oeste, e a Sub-bacia do Juruá, a leste, que são separadas pelo Arco de Carauari. A norte, a bacia encontra-se limitada pelo escudo das Guianas, a sul pelo escudo Brasileiro, a oeste pelo Arco de Iquitos e a leste pelo Arco de Purus (Wanderley Filho *et al.*, 2007; Wanderley Filho *et al.*, 2010) (Figura 1).

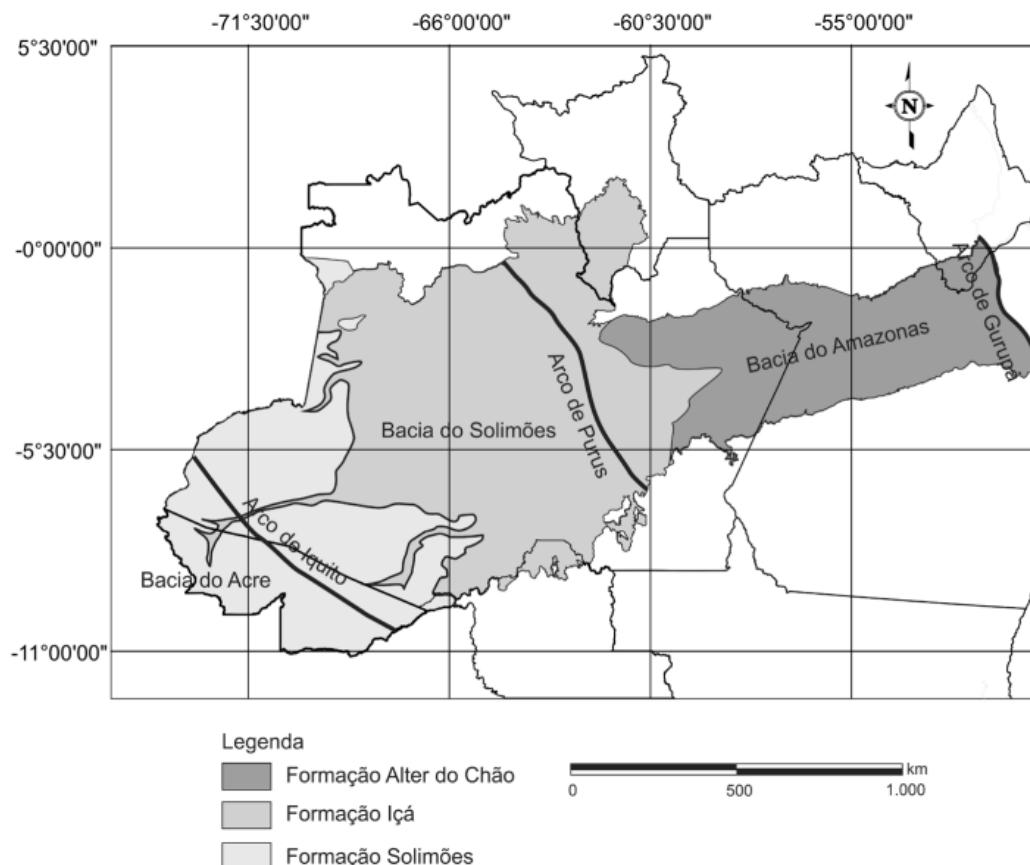


Figura 1. Bacias Sedimentares da Amazônia brasileira, com áreas de afloramento das formações Içá, Solimões e Alter do Chão (Souza *et al.*, 2013)

Inicialmente denominada Bacia do Alto Amazonas, a Bacia do Solimões recebeu sua nomenclatura atual por Caputo (1984), uma vez que sua evolução geológica se diferencia daquela observada na Bacia do Amazonas, previamente dividida em bacias do Médio e do Baixo Amazonas (Wanderley Filho *et al.*, 2007).

A Sub-bacia Juruá é conhecida desde 1978, com os esforços exploratórios da Petroléo Brasileiro S.A. (Petrobras) e a descoberta da província de gás e condensado do Juruá. Já sobre a Sub-bacia Jandiatuba têm-se menos conhecimento, devido às restrições legais de sua exploração em decorrência das reservas indígenas e florestais presentes na região (Wanderley Filho *et al.*, 2010).

Estruturalmente, a Bacia do Solimões apresenta diversas falhas e dobras causadas pela tectônica intraplaca. O evento tectônico mais importante da história da bacia ocorreu durante o Mesozóico, tratando-se do evento transpressivo do Tectonismo Juruá, que foi responsável por reativar estruturas antigas e criar as dobras e falhas transformantes de direção preferencial NE-SW observadas ao longo de sua extensão. Outras feições estruturais significativas da bacia são o Arco de Iquitos e o Arco de Purus, localizados em seus limites, e o Arco Carauri, localizado no seu interior, paleoaltos intra-bacia, as rampas de declividade a norte e a sul e a depressão central (Wanderley Filho *et al.*, 2010; Ribeiro e Lima, 2007). Na figura 2 está apresentada a seção geológica esquemática da Bacia do Solimões, que evidencia suas características estruturais.

O embasamento da Bacia do Solimões tem idade Proterozóica e foi estabelecido como parte dos diversos cinturões acrecionados à Província Central Amazônica (Wanderley Filho *et al.*, 2010). Na Sub-bacia Jandiatuba o embasamento é constituído por rochas ígneas e metamórficas que fazem parte do cinturão móvel Rondoniense, e na Sub-bacia Juruá as rochas sedimentares do Grupo Purus foram depositadas sobre uma sucessão Proterozóica de sistemas tipo *rift* que são dominantes sobre o arcabouço ígneo e metamórfico (Wanderley Filho *et al.*, 2007).

O arcabouço estratigráfico da Bacia do Solimões divide-se em cinco sequências deposicionais: Formação Benjamin Constant (Ordoviciano), Formação Jutaí (Siluriano Superior – Devoniano Inferior), Grupo Marimari (Devoniano Médio – Carbonífero Inferior), Grupo Tefé (Carbonífero Superior – Permiano) e Grupo Javari (Cretáceo Superior – Quaternário). Estratigraficamente, além destas sequências leva-se também em consideração o magmatismo Penatecaua, de idade Triássica, responsável pela intrusão de soleiras de diabásio devido aos dobramentos decorrentes do Tectonismo Juruá (Wanderley Filho *et al.*, 2007). Na Figura 3 está apresentada a Carta Estratigráfica da Bacia do Solimões.

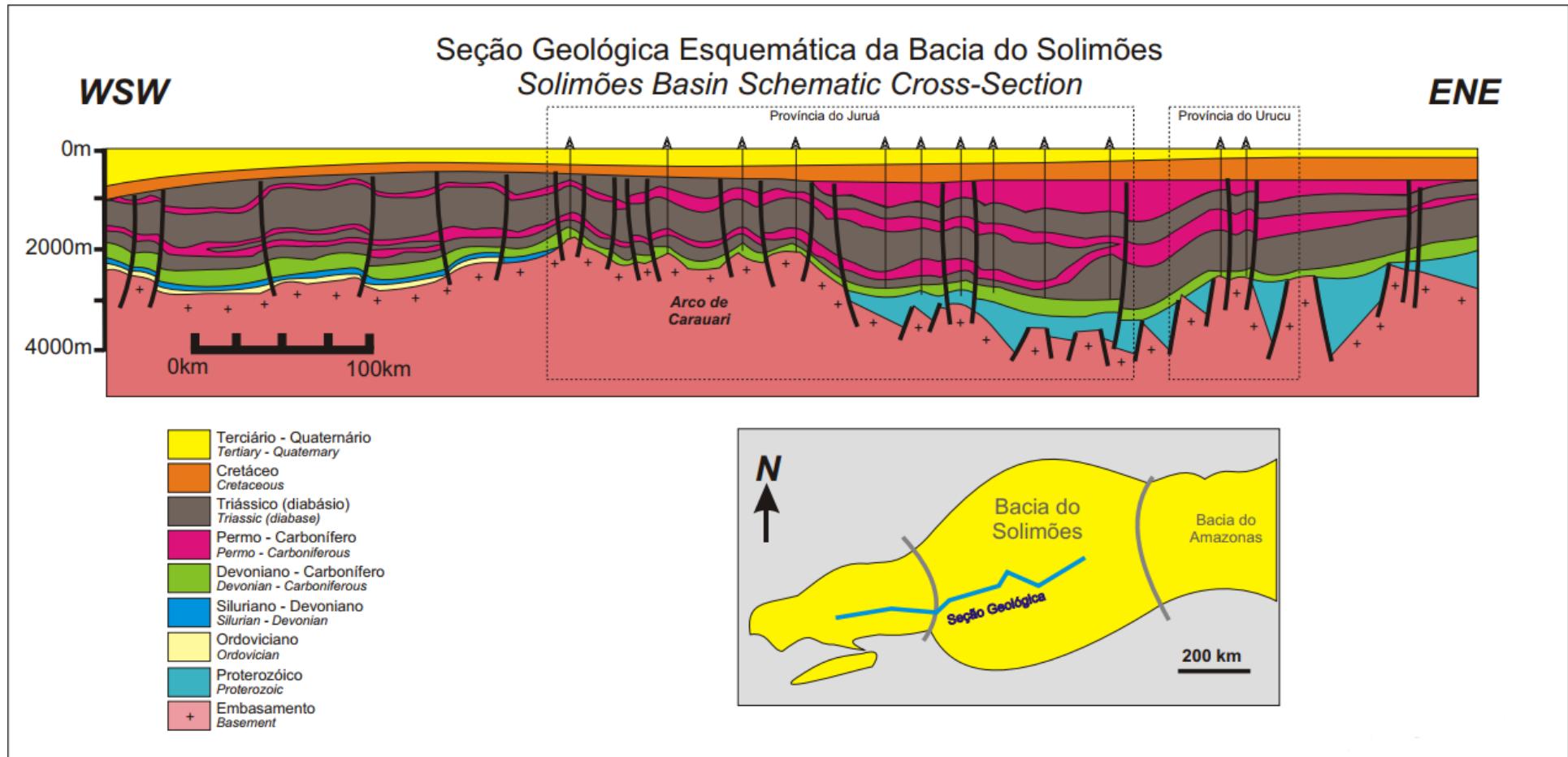


Figura 2. Seção Geológica Esquemática da Bacia do Solimões (Adaptado de Eiras et al., 1994; ANP, 2022).

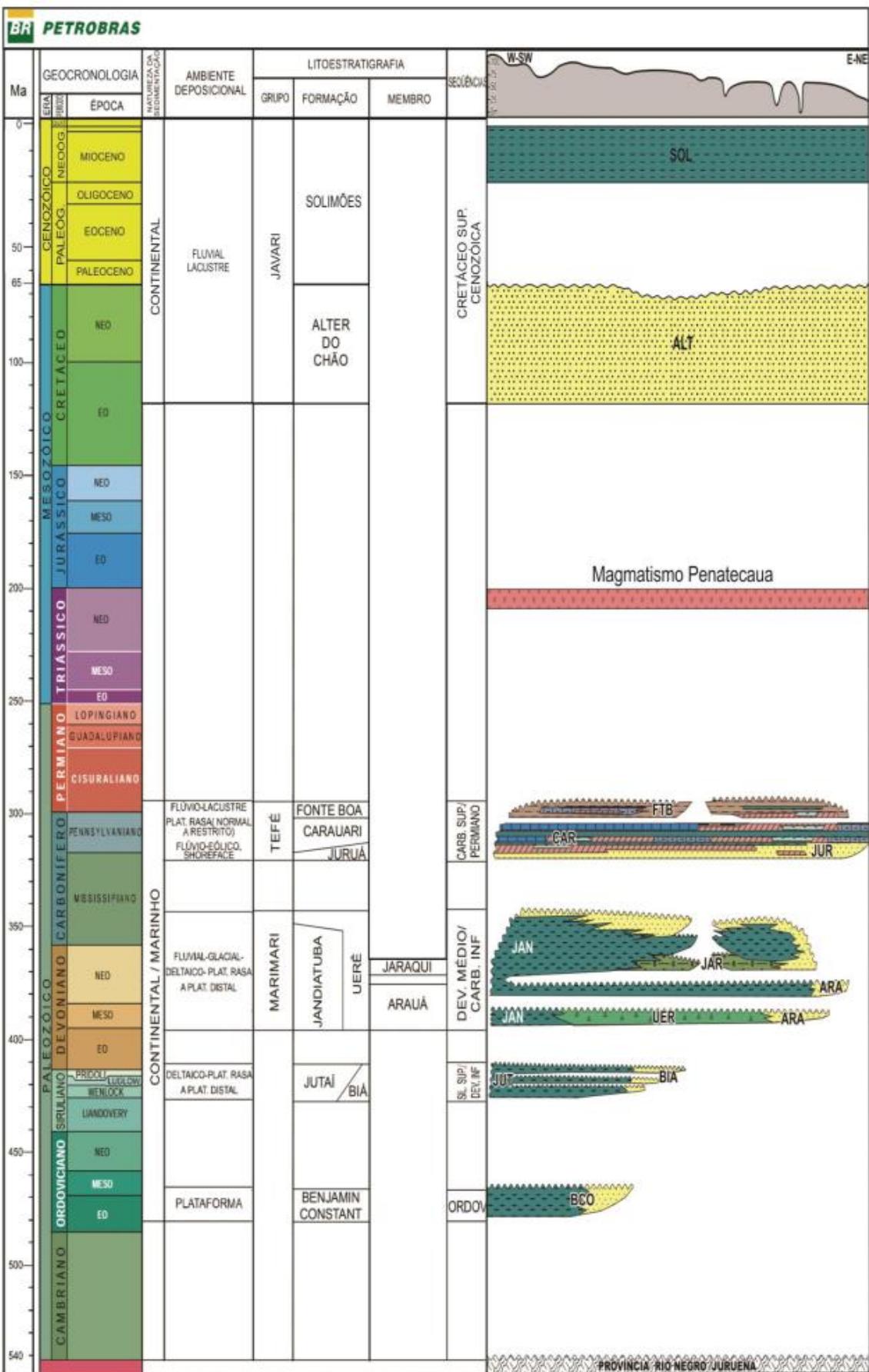


Figura 3. Carta estratigráfica da bacia do Solimões (Modificada de Wanderley Filho *et al.*, 2007).

Com relação à geração de hidrocarbonetos na Bacia do Solimões, a intrusão de soleiras de diabásio durante o magmatismo Penatecaua foi responsável por promover uma evolução térmica da matéria orgânica presente em rochas geradoras que compensou o baixo gradiente geotérmico da região e a reduzida efetividade da sobrecarga sedimentar (Barata e Caputo, 2007).

São reconhecidos na bacia dois sistemas petrolíferos: Jandiatuba-Juruá (!) e Jandiatuba-Urerê (.), sendo o primeiro detentor de 99,8% das acumulações comerciais. Os folhelhos radioativos devonianos são as principais rochas geradoras da bacia, pertencentes à Formação Jandiatuba e as rochas geradoras secundárias tratam-se dos folhelhos devoniano-carboníferos também da Formação Jandiatuba e os folhelhos silicosos da Formação Uerê. As rochas reservatório são os arenitos carboníferos da Formação Juruá e as selantes são os evaporitos e folhelhos carboníferos, também da Formação Juruá. Já as armadilhas são estruturais, referentes às anticlinais presentes nos blocos altos de falhas reversas de direção preferencial NE-SW (Barata e Caputo, 2007).

### **3.2. A Formação Solimões**

A Formação Solimões estende-se, no Brasil, desde a bacia do Acre até a bacia do Solimões, sendo estas separadas pelo Arco Envira. A unidade pode ser correlacionada com a Formação Ipururo, na bacia do Ucayali, e a Formação Pebas Superior, na bacia do Marañon, ambas localizadas no Peru. Esta unidade apresenta idade neomiocênica-eopliocênica e ambiente de deposição majoritariamente continental flúvio-lacustre (Cunha, 2007; Wanderley Filho *et al.*, 2007).

Na Bacia do Solimões, a Formação Solimões é a unidade estratigráfica subjacente à Formação Içá, de idade pleistocênica (Pupim *et al.*, 2019). Com sedimentação relacionada à tectônica andina durante o Mioceno, o sistema fluvial deu espaço a sistemas de grandes lagos rasos alimentados por sedimentos trazidos por rios meandrantes de baixa energia, responsáveis pela deposição de faixas argilosas da formação (Wanderley Filho *et al.*, 2010).

Com uma sequência sedimentar espessa, a Formação Solimões apresenta composição por uma sucessão cíclica de camadas de argilitos, argilitos siltosos e arenosos, siltitos argilosos, e níveis arenosos de granulação de areia fina a média, além de presença frequente de níveis de restos vegetais, linhito, argilas carbonáticas e calcários. Estima-se que a unidade recubra uma área de aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup>, com espessura que pode chegar a 7.000 m (Maia *et al.*, 1977; Wanderley Filho *et al.*, 2007).

Estudos recentes, referentes a dados palinológicos e sedimentares da bacia do Solimões e do Amazonas, indicaram a ocorrência de incursões marinhas na área durante o Mioceno, com idade de 18.1 Ma a 17.2 Ma e intervalo de duração de 0.4 Ma, aproximadamente. Tal ocorrência implica que, ao menos duas vezes, a região foi recoberta por águas marinhas rasas em eventos de curta duração, em oposição à hipótese de que teria

havido ocupação marinha contínua da região Amazônica durante milhões de anos (Jaramillo *et al.*, 2017).

Os eventos miocênicos de incursões marinhas na Amazônia implicam diretamente na composição sedimentar definida para a Formação Solimões. A bioestratigrafia palinológica e de assembleias de ostracodes analisada para a unidade indicou cenário de deposição dinâmico. Os ambientes deposicionais caracterizados variam de fluvial com florestas tropicais pantanosas, similar àquele definido para a Formação Terra Firme; à ambiente lacustre e/ou com canais abandonados e com condições salinas leves e temporárias. A reconstrução paleoambiental elaborada para a formação indicou que os elementos relacionados ao ambiente fluvial aparecem nas porções superior e inferior da unidade, enquanto que no intervalo de profundidade entre 70 m e 120m há domínio de características referentes ao ambiente lacustre (Kern *et al.*, 2020).

### **3.3. Geração de gases biogênicos e potencial da Formação Solimões**

A geração de gases biogênicos ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) relaciona-se à ação de arqueas metanogênicas em ambientes com condições anaeróbicas e pouco sulfatasas que favorecem seu desenvolvimento (Kotelnikova, 2002; Oremland e Polcin, 1982). Esses organismos procariontes geram  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  a partir do consumo de matéria orgânica (gás biogênico primário) ou a partir da biodegradação de hidrocarbonetos mais pesados que migraram de rochas geradoras termicamente maduras em maiores profundidades (gás biogênico secundário) (Milkov, 2011). É possível determinar a origem do  $\text{CH}_4$  como sendo termogênica, biogênica primária ou biogênica secundária a partir da análise de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) do  $\text{CH}_4$ , sendo que, de maneira geral,  $\text{CH}_4$  termogênico tende a ser mais enriquecido em  $^{13}\text{C}$  que o biogênico (Milkov, 2011). Esta origem também pode ser associada à abundância relativa de metano em relação ao etano e o propano ( $\text{C}_1/\text{C}_2+\text{C}_3$ ) nas amostras de gás, sendo o metano relativamente mais abundante nas acumulações de origem biogênica (Milkov, 2011).

O metano biogênico gerado em subsuperfície é resultado, principalmente, das reações de redução de  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) e de fermentação de acetato ( $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), o que explica a associação de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  enquanto gases gerados pela produção biogênica. Além disso, pode haver utilização de ácido metanoico, álcool, amidas metiladas e sulfetos como substrato pelas arqueas metanogênicas (Rice, 1993; Zinder, 1993).

Há divergências na literatura sobre quais são exatamente os fatores que influenciam na geração de gases biogênicos. Contudo, de maneira geral, as principais características presentes em rochas onde ocorre metanogênese são a imaturidade térmica, a disponibilidade de espaço (tamanho dos poros da rocha) para presença dos gases, para que seja possível haver acumulações, e o substrato rico em matéria orgânica,  $\text{CO}_2$  e hidrogênio (Kotelnikova, 2002; Zinder, 1993; Whiticar, 1999; Tissot *et al.*, 1978).

Além deste trabalho, ainda não existem estudos que explorem especificamente o potencial de geração de hidrocarbonetos biogênicos da Formação Solimões. Não são encontradas na literatura científica, por exemplo, trabalhos que discutam dados de COT ou outros dados geoquímicos das fácies orgânicas, tais como pirólise *rock-eval*.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Obtenção e preparação de amostras

As amostras utilizadas neste estudo foram cedidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no começo do mês de julho de 2022. O material é proveniente da sondagem 1-AS-14-AM ( $S\ 04^{\circ}21'$  /  $W\ 69^{\circ}\ 36'$ ), realizada em 1975 na Terra Indígena de Sururuá, entre os Municípios de Benjamin Constant e São Paulo de Olivença, no Estado do Amazonas, e faz parte do escopo do Projeto Carvão no Alto Solimões – CPRM/DNPM (Maia *et al.*, 1977). O mapa de localização da sondagem 1-AS-14-AM pode ser observado na figura 4.

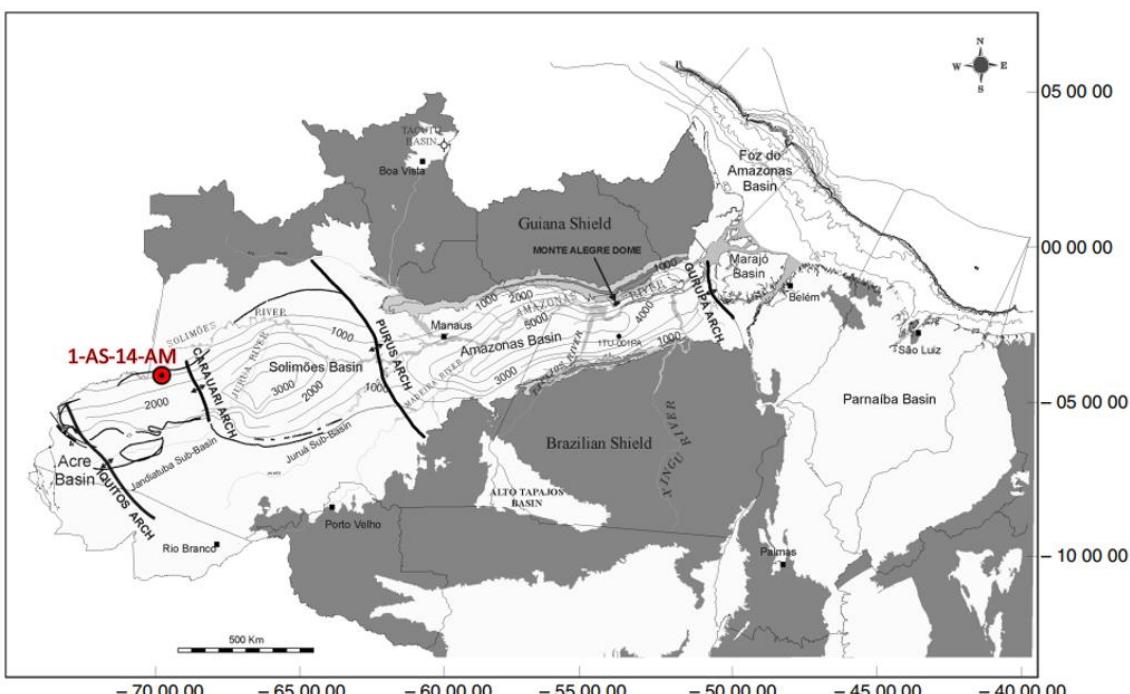


Figura 4. Mapa de localização da sondagem 1-AS-14-AM,  $S\ 04^{\circ}21'$  /  $W\ 69^{\circ}\ 36'$  (Modificado de Wanderley Filho *et al.*, 2010).

O Projeto Carvão no Alto Solimões foi desenvolvido por uma parceria entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM. Contando com a perfuração de 84 furos de sondagem, o objetivo do projeto era de determinar o potencial lignítico na porção ocidental do estado do Amazonas, abrangendo uma área de 320.000 km<sup>2</sup>, com 14.271,96 m perfurados (Maia *et al.*, 1977).

As amostras obtidas da sondagem 1-AS-14-AM estavam armazenadas na litoteca presente na Superintendência de Manaus da CPRM – SUREG/MA. O material recebido é referente às fácies expressivamente orgânicas da Formação Solimões, de diferentes profundidades do furo. Foram selecionadas, para realizar os experimentos de incubação e análise de COT, 6 amostras que abrangem um intervalo de profundidade entre 22,30 m e 269,80 m, cada uma com um peso bruto inicial médio de 30 g. A Figura 5 exibe as amostras no estado em que foram recebidas, com a primeira identificação recebida e suas respectivas profundidades.



Figura 5. Pacotes de aproximadamente 8cm de largura e 30g de massa cada um, contendo as amostras de folhelho da Formação Solimões de diferentes profundidades da sondagem 1-AS-14-AM utilizadas para os experimentos de incubação.

Além das amostras, obteve-se acesso à coluna estratigráfica elaborada para a sondagem 1-AS-14-AM, apresentada no Anexo A, que apresenta as fácies identificadas e descrição litológica de todas as porções analisadas do furo. A classificação litológica das amostras utilizadas neste estudo é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Descrição litológica das amostras utilizadas.

<b>Nome da amostra recebida</b>	<b>Profundidade da amostra (m)</b>	<b>Descrição litológica atribuída à coluna estratigráfica do furo 1-AS-14-AM</b>
1-AS-14-100	22,30	Arenito muito fino carbonoso, de coloração cinza escuro a preta, fragmentos fósseis e presença de <i>burrow</i> (icnofóssil de bioturbação) cilíndrico inclinado na base, com aproximadamente 5cm de comprimento e 1cm de largura
1-AS-14-86	67,07	Lamito maciço, de coloração cinza amarelada clara, com topo carbonoso de aproximadamente 2 cm de espessura
1-AS-14-73	106,80	Carvão foco da perfuração
1-AS-14-47	179,70	Siltito, folhelho carbonoso fóssil
1-AS-14-45	227,10	Siltito carbonoso maciço, com base cinza escura
1-AS-14-11	269,80	Siltito laminado carbonoso, com concentração de matéria orgânica e nódulos de hematita

## 4.2. Experimentos de incubação

Os experimentos de incubação foram o principal foco deste trabalho, tendo como objetivo replicar em ambiente controlado as condições de temperatura presentes na Formação Solimões e avaliar a taxa de geração biogênica de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

A codificação atribuída às amostras recebidas para realização dos experimentos e seus respectivos dados de identificação, são explicitados na tabela 2.

Tabela 2. Dados de identificação das amostras utilizadas.

Nome da amostra recebida	Profundidade da amostra (m)	Código das incubações	Tipo de incubação
1-AS-14-100	22,30	SI-01-L1 e SI-01-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-01-D1 e SI-01-D2	Duplicatas com água destilada
1-AS-14-86	67,07	SI-02-L1 e SI-02-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-02-D1 e SI-02-D2	Duplicatas com água destilada
1-AS-14-73	106,80	SI-03-L1 e SI-03-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-03-D1 e SI-03-D2	Duplicatas com água destilada
1-AS-14-47	179,70	SI-04-L1 e SI-04-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-04-D1 e SI-04-D2	Duplicatas com água destilada
1-AS-14-45	227,10	SI-05-L1 e SI-05-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-05-D1 e SI-05-D2	Duplicatas com água destilada
1-AS-14-11	269,80	SI-06-L1 e SI-06-L2	Duplicatas com água de lago
		SI-06-D1 e SI-06-D2	Duplicatas com água destilada
-	-	BI-01-L1 e BI-01-L2	Brancos de água de lago
		BI-01-D1 e BI-01-D2	Brancos de água destilada

Primeiramente, foi aplicado um protocolo de limpeza das vidrarias utilizadas, para garantir que nenhuma contaminação interferisse no experimento. Foram escolhidos frascos de vidro de 50 ml que foram lavados com água corrente, detergente e água destilada, imersos durante 2 horas em solução de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 10%, secos em estufa, cobertos com papel alumínio e calcinados a 450º C durante 4 horas em forno tipo Mufla.

A preparação de amostras para a realização do experimento envolveu a secagem do material em estufa (30°C) por 48h seguido da fragmentação do material com uso de almofariz e pistilo e peneiramento (malha 0,25 mm) para garantir homogeneidade granulométrica.

Para montagem do experimento, as amostras foram pesadas em balança analítica e separadas em 4 porções de 5g cada, a fim de montar duplicatas que testam 2 diferentes condições. A primeira conta com o uso de água destilada (6 ml em cada frasco) com intuito de demonstrar o potencial de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> da rocha sem adição de comunidades microbianas exógenas. A segunda conta com o acréscimo de 6 ml água do lago da reserva

florestal do Instituto de Biociências do Campus Butantã da USP, com intuito de representar como a adição de uma comunidade microbiana exógena, no caso, a microbiota de água doce superficial, pode afetar o potencial de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

Os frascos já contendo suas respectivas porções de amostra e de água de lago ou destilada foram selados com rolhas de borracha butílica e lacres de alumínio. Em seguida foram submetidos a 3 séries de evacuação e injeção de gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) em pressão de 1 atm, para certificar a degaseificação de possíveis contaminantes e simular uma atmosfera anóxica.

Além das incubações feitas com as amostras de rocha, foram montados frascos em duplicata contendo apenas água do lago ou água destilada, a fim de representar experimentos de branco analítico para garantir o controle de qualidade do experimento. Os experimentos de branco foram montados após a primeira medição realizada, o que justifica a falta de resultados dos brancos para o dia 0.

A amostragem dos gases gerados foi realizada com uso de agulha e seringa, através da injeção de 5ml de N<sub>2</sub> em cada frasco e retirada do mesmo volume para análise cromatográfica. A primeira amostragem foi realizada em 09 de agosto de 2022 e a última em 15 de setembro de 2022. Foram realizadas sete análises, espaçadas temporalmente nos dias 0, 3, 7, 13, 23, 26 e 36, com renovação de headspace dos frascos entre cada uma através de nova fase de evacuação e injeção de N<sub>2</sub>.

Todos os frascos foram armazenados em estufa à 30°C, protegidos da luz e com pouca agitação, a fim de manter a qualidade do experimento simulando condições em que as amostras se encontrariam na bacia e evitando afetar as comunidades metanogênicas formadas.

O processo de montagem dos experimentos de incubação pode ser observado nas figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11.



Figura 6. Vidrarias lavadas sendo calcinadas em forno tipo Mufla.



Figura 7. Amostra para moagem com uso de almofariz e pistilo.



Figura 8. Pesagem de amostra em balança analítica e divisão da amostra moída e peneirada.



Figura 9. Selagem dos frascos com rolhas butílicas e lacres de alumínio.



Figura 10. Degaseificação dos frascos com uso de bomba de evacuação e cilindro de gás nitrogênio.



Figura 11. Amostras acondicionadas nos frascos para experimento de incubação.

#### 4.3. Cromatografia Gasosa

As concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> presentes nos experimentos de incubação foram medidas utilizando o cromatógrafo à gás GC Thermo-Scientific Trace 1310, com coluna Restek ShinCarbon ST, detector de ionização de chama (FID) e metanizador acoplado. O equipamento foi calibrado com a injeção, aproximadamente em triplicatas, de três gases padrão (Air Liquide), com concentrações de 1.519 ppm (primeiro padrão), 3.048 ppm (segundo padrão) e 50.590 ppm (terceiro padrão) para CH<sub>4</sub> e 300.6 ppm (primeiro padrão), 2514.0 ppm (segundo padrão) e 6007.0 ppm (terceiro padrão) para CO<sub>2</sub>. A injeção dos gases padrão foi realizada no começo, no meio e no fim de cada dia de medição, a fim de garantir a confiabilidade das medidas obtidas.

#### **4.4. Análise de carbono orgânico total (COT)**

A determinação do COT foi realizada com intuito de avaliar a influência da proporção de matéria orgânica das amostras enquanto fator controlador de geração de hidrocarbonetos da Formação Solimões.

Uma porção de aproximadamente 1g de cada amostra, preparadas conforme descrito no item 4.2 até a fase de secagem em estufa, foi separada para esta análise. As amostras foram encaminhadas à Central Analítica de Instrumentação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, onde foram submetidas à técnica de Análise Elementar. Nesta técnica, baseada no método de PreglDumas e conduzida no Analisador Perkin Elmer 2400 CHN, o material é submetido à combustão em uma atmosfera de oxigênio puro, o que resulta em gases que são quantificados por um detector de condutividade térmica (TCD). A quantificação realizada apontou, em porcentagem, as concentrações dos elementos carbono, hidrogênio e nitrogênio presente nas amostras. Em paralelo, uma porção de aproximadamente 1g de cada amostra foi pesada antes e depois de ataque com ácido clorídrico 10%. A diferença entre as pesagens foi utilizada para a determinação do teor de carbono inorgânico nas amostras. Tais valores foram descontados do carbono total obtido por análise elementar a fim de discriminar o COT para cada amostra (carbono total = carbono inorgânico + COT).

#### **4.5. Integração e interpretação dos dados coletados**

As concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, obtidas pelo método de cromatografia gasosa com os experimentos de incubação, foram organizados em gráficos e estudados através de análise estatística descritiva. A partir desses valores foram calculadas as taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> para cada amostra, conforme a Equação 1:

$$TP = \frac{dP}{dT} \cdot \frac{V}{R \cdot T \cdot m} \quad [mol \ g^{-1} \ h^{-1}] \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

TP: Taxa de produção do gás por grama de sedimento e por hora [mol g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>]

$\frac{dP}{dT}$ : Variação da pressão parcial do gás na mistura em função do intervalo de tempo [atm h<sup>-1</sup>]

V: Volume de ar no vial [L]

R: Constante dos gases [R = 0,082 atm L mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]

T: Temperatura interna do vial [K]

m: Massa de sedimento [g]

As taxas de produção calculadas, os resultados de COT, as composições identificadas para as amostras e outros fatores característicos que concernem à Formação Solimões, foram analisados integradamente com intuito de delinear os controles responsáveis pela produção de gases biogênicos na unidade.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Teor de carbono orgânico

Os resultados de porcentagem de carbono total (inorgânico e orgânico) variaram de 7,24 a 18,49%. As amostras de folhelho analisadas apresentaram valores de COT que variaram entre 3,83 e 14,44% enquanto que o teor de carbono inorgânico variou de 2,42 a 5,23% (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados de porcentagem de carbono total, carbono inorgânico e de COT para as amostras analisadas.

Amostra	Carbono total (%)	Carbono Inorgânico (%)	COT (%)
SI-01	10,14	4,53	5,61
SI-02	8,60	3,15	5,45
SI-03	7,83	2,42	5,41
SI-04	7,24	3,41	3,83
SI-05	15,34	5,23	10,14
SI-06	18,49	4,05	14,44

Os laudos elaborados pela Central Analítica de Instrumentação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo são apresentados no Anexo B.

### 5.2. Experimentos de incubação para avaliação do potencial de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>

#### 5.2.1. Incubações com água de lago

Os valores de concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> medidos para as incubações montadas com água do lago demonstraram grande variação a depender da amostra analisada, com tendência geral de aumento progressivo ao longo do tempo (Figuras 12 e 13). Para ambos os gases, destacam-se os resultados obtidos para as amostras SI-02 e SI-03, que apresentaram concentrações até duas ordens de grandeza maiores que as demais no último dia de medição.

No que diz respeito à geração de CH<sub>4</sub>, foram medidas as maiores concentrações no dia 36, de 58,39 ppm e 45,71 ppm, para as amostras SI-02 e SI-03, respectivamente. As amostras SI-01 e SI-06 apresentaram valores de produção baixos, com valores similares. Já as amostras SI-04 e SI-05 tiveram os menores valores de produção encontrados, sendo que a amostra SI-05 teve produção quase nula, identificando-se CH<sub>4</sub> apenas nos dias 13, 23 e 36. A amostra de branco, BI-01, teve medidas apenas nos dias 7 e 13, e também apresentou valores pouco significativos. Nenhuma amostra apresentou CH<sub>4</sub> na medição realizada no dia 0.

Os valores de concentração de CH<sub>4</sub> para as incubações montadas com água do lago, medidos para cada dia de análise por cromatografia gasosa, estão disponíveis no Apêndice A. Na figura 12 é apresentada a evolução das concentrações de CH<sub>4</sub> durante os 36 dias de experimento.

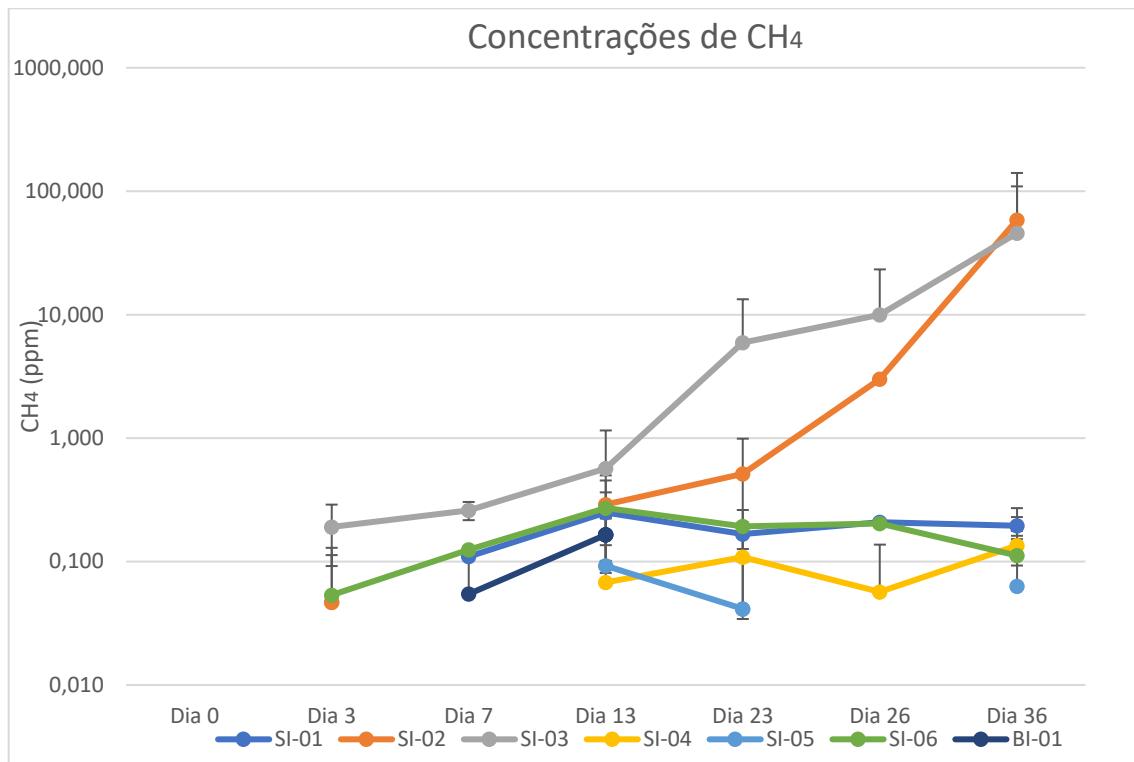


Figura 12. Evolução das concentrações de CH<sub>4</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água do lago.

Já em relação à geração de CO<sub>2</sub>, todas as amostras apresentaram valores relativamente altos de produção, com variações temporais similares (Figura 13). As amostras SI-02 e SI-03 também tiveram destaque, tendo as maiores concentrações de CO<sub>2</sub> no dia 26, de 109229,03 ppm e 64733,76 ppm, respectivamente. As amostras SI-01, SI-04 e SI-05 apresentaram comportamento semelhante e alcançaram concentração de CO<sub>2</sub> de até 2782,26 ppm, enquanto a amostra SI-06 teve resultado consideravelmente superior, de até 10404,19 ppm (Figura 13). A amostra de branco, BI-01, teve medidas comparativamente pequenas, de no máximo 431,76 ppm, com exceção de uma medição anômala de 4861,65 ppm no dia 13 (Figura 13).

A tabela completa com os valores de concentração de CO<sub>2</sub> para as incubações montadas com água do lago, medidos para cada dia de análise por cromatografia gasosa, está disponível no Apêndice A. A Figura 13 apresenta a evolução das concentrações de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo.

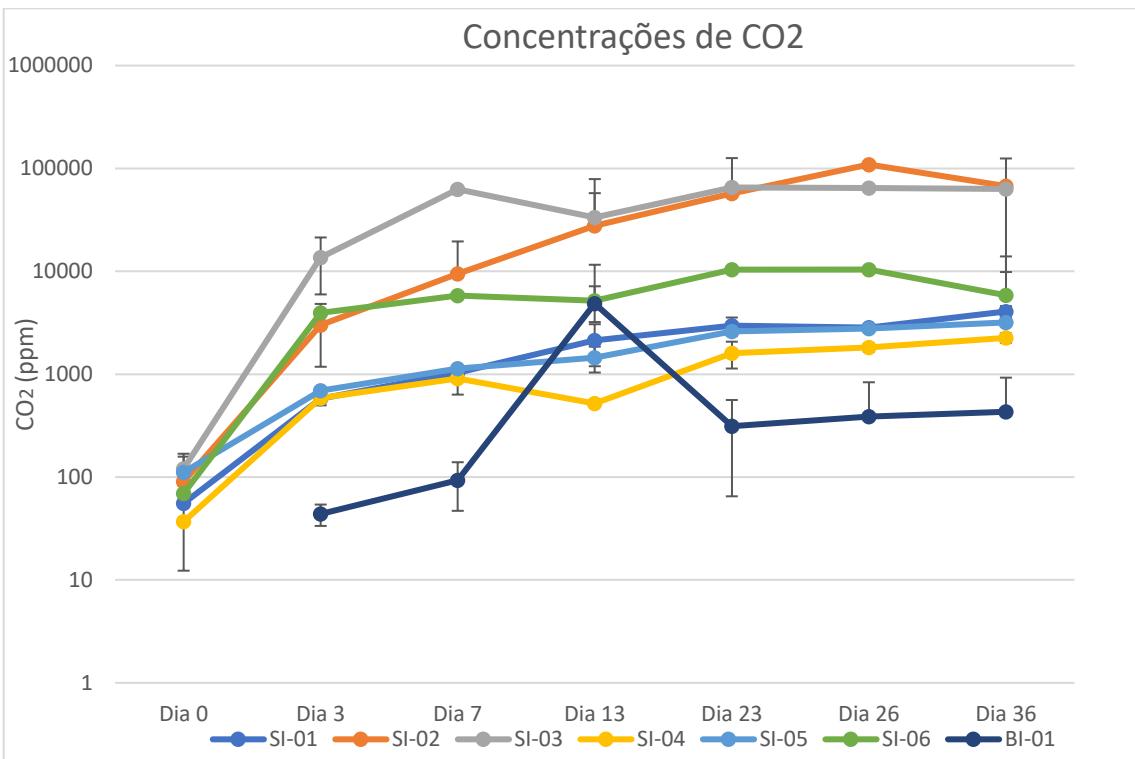


Figura 13. Evolução das concentrações de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água do lago.

#### 5.2.2. Incubações com água destilada

Para as incubações montadas com água destilada, as concentrações de CH<sub>4</sub> apresentarem valores menores do que aqueles observados nas incubações montadas com água do lago, com destaque para a amostra SI-03, que apresentou valores crescentes ao longo do tempo (Figura 14). Já para as concentrações de CO<sub>2</sub>, os resultados obtidos também foram mais baixos que os obtidos nas incubações com água de lago. Contudo, o comportamento geral das amostras, relativamente linear alguns picos de crescimento e queda, assemelhou-se àquele observado para as incubações montadas com água do lago.

A concentração de CH<sub>4</sub> nas incubações analisadas teve valor máximo de 0,571 ppm, referente à medição do dia 36 da amostra SI-03. As amostras SI-03 e SI-06 só passaram a apresentar resultados a partir do dia 3, e as amostras SI-01 e SI-04 a partir do dia 7. A amostra SI-02 obteve valores nulos de produção nos dias 7 e 13. A amostra SI-05 foi a única a apresentar concentração de CH<sub>4</sub> no dia 0. A amostra de branco, BI-01, teve medidas apenas nos dias 7, 13, 26 e 36.

A tabela completa com os valores de concentração de CH<sub>4</sub> para as incubações montadas com água destilada, medidos para cada dia de análise por cromatografia gasosa, está disponível no Apêndice A. Na figura 14 é apresentada a evolução das concentrações de CH<sub>4</sub> ao longo do tempo, obtidas sob incubação com água destilada.

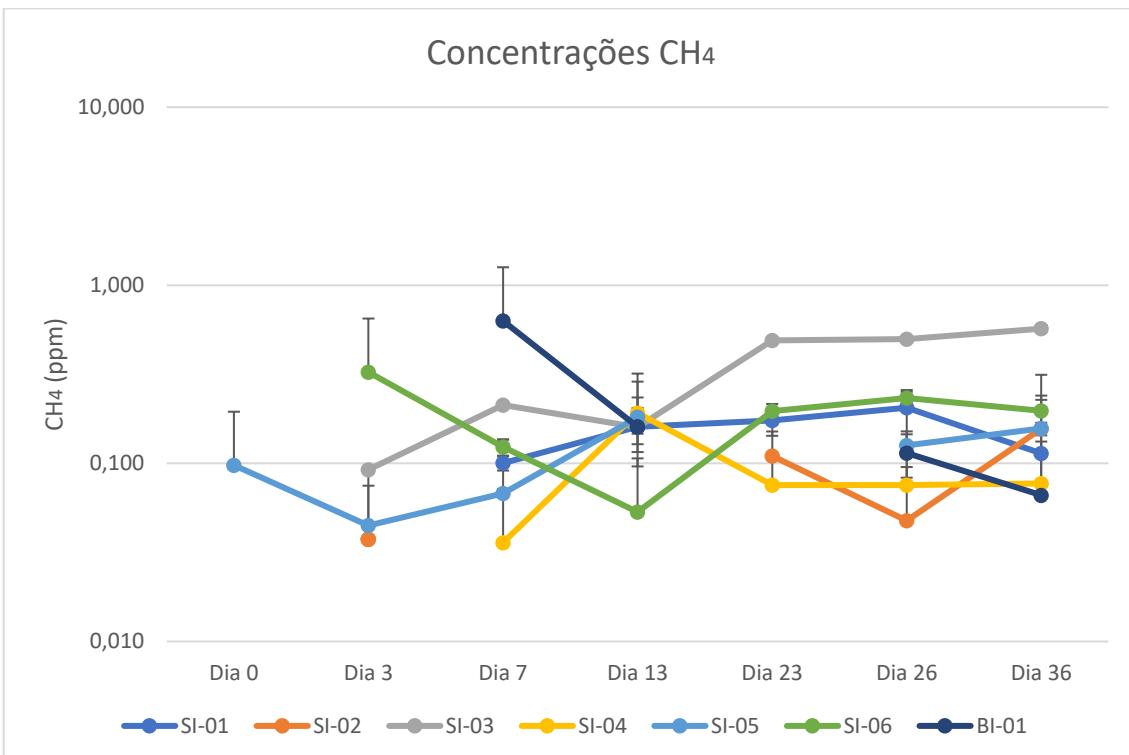


Figura 14. Evolução das concentrações de CH<sub>4</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água destilada.

Quanto à geração de CO<sub>2</sub>, notam-se os maiores valores no dia 36, para as amostras SI-02 e SI-03, com quantidades de 27068,47 ppm e 27112,18 ppm, respectivamente (Figura 15). Contudo, nos demais dias houve maior geração somente pela amostra SI-03. A amostra SI-06 apresentou produção apenas a partir do dia 3 e obteve valores significativos, os quais superaram, até o dia 26, aqueles produzidos pela amostra SI-02. As amostras SI-01 e SI-04 apresentaram valores similares, com exceção do resultado obtido para o dia 36 pela amostra SI-05, de 6160,31 ppm. A amostra de branco, BI-01, apresentou os menores valores observados, sendo o resultado máximo de 328,13 ppm, no dia 7 (Figura 15).

As concentrações de CO<sub>2</sub> obtidas para incubações montadas com água destilada estão disponíveis no Apêndice A. Na figura 15 é apresentado o gráfico de evolução das medidas de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo.

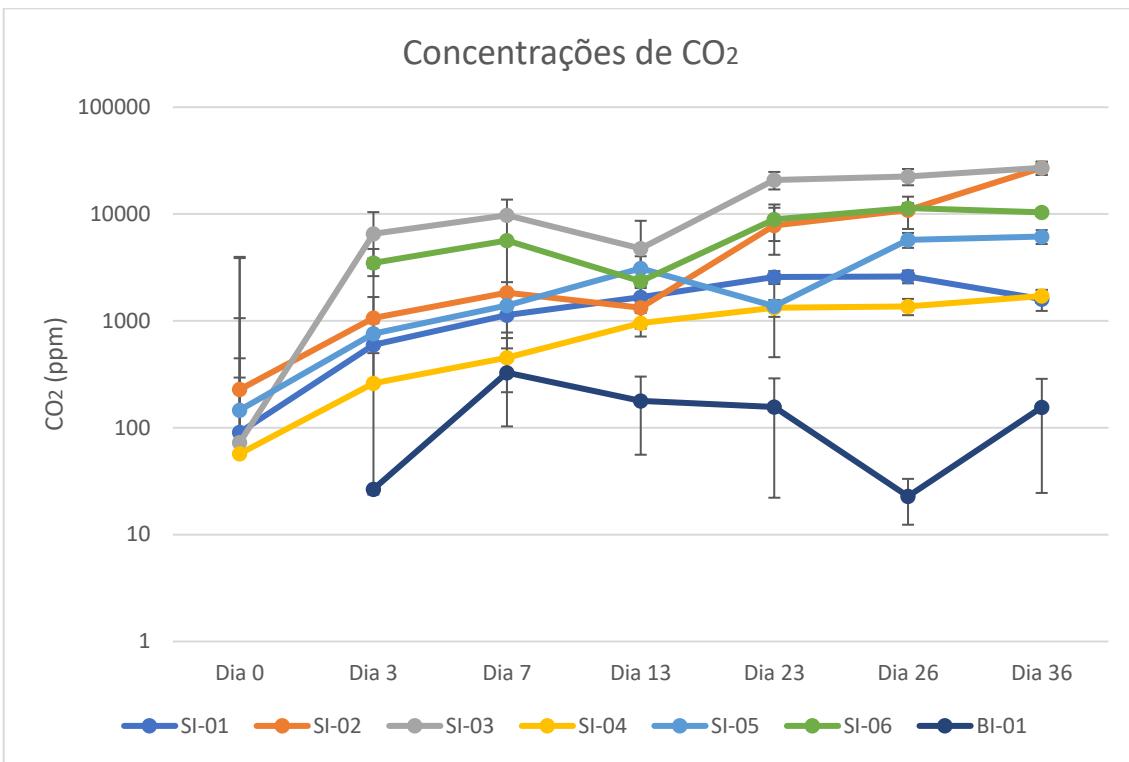


Figura 15. Evolução das concentrações de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo (dias 0 a 36) obtidas nas incubações montadas com água destilada.

### 5.3. Taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>

#### 5.3.1. Taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> obtidas em incubações com água de lago

As taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> para as incubações montadas com água do lago foram calculadas conforme apresentado pela Equação 1, com os intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

Os valores de taxa de produção de CH<sub>4</sub> obtidos para as incubações montadas com água do lago são apresentados na tabela 4. A apresentação gráfica dos dados é diretamente similar àquela obtida para os dados de concentração em ppm e pode ser observada na figura 16.

Tabela 4. Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CH<sub>4</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água do lago.

Amostra	Taxa de Produção de CH <sub>4</sub> (mmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SI-01	0,00	0,93	0,79	0,28	0,47	0,04
SI-02	0,53	0,39	1,64	0,75	28,36	188,45
SI-03	2,16	0,59	1,75	18,23	46,15	121,51
SI-04	0,00	0,00	0,38	0,13	0,58	0,27
SI-05	0,00	0,00	0,52	0,17	0,46	0,21
SI-06	0,60	0,60	0,83	0,26	0,11	0,31
BI-01	0,00	0,46	0,62	0,56	0,00	0,00

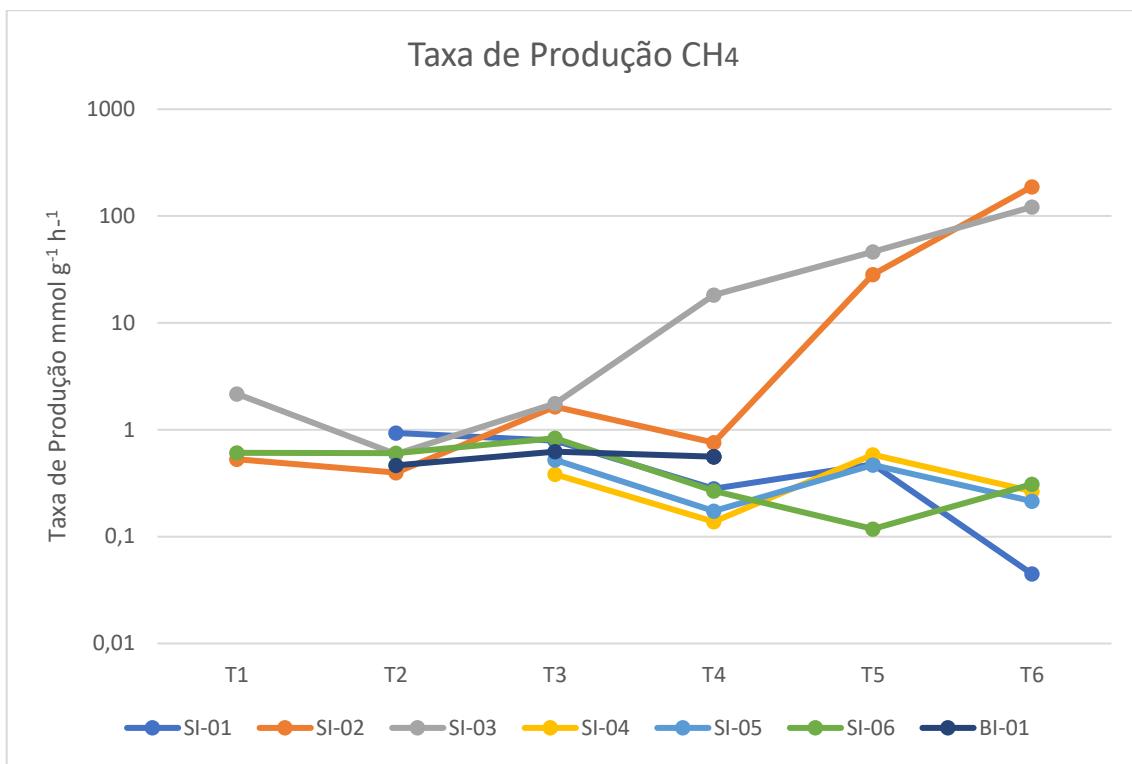


Figura 16. Taxas de produção de CH<sub>4</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

Os valores de taxa de produção de CO<sub>2</sub> obtidos para as incubações montadas com água do lago são apresentados na tabela 5. A apresentação gráfica dos dados é diretamente similar àquela obtida para os dados de concentração em ppm e pode ser observada na figura 17.

Tabela 5. Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CO<sub>2</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água do lago.

Amostra	Taxa de Produção de CO <sub>2</sub> (mmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SI-01	5,92	3,87	6,21	2,85	1,37	4,18
SI-02	33,02	54,75	104,20	99,22	592,69	142,23
SI-03	153,49	419,20	167,49	108,65	6,74	5,53
SI-04	6,26	2,71	2,21	3,69	2,46	1,48
SI-05	6,60	3,77	1,75	3,96	1,94	1,38
SI-06	44,11	15,89	3,65	17,76	0,01	15,53
BI-01	0,49	0,42	27,04	15,47	0,84	0,15

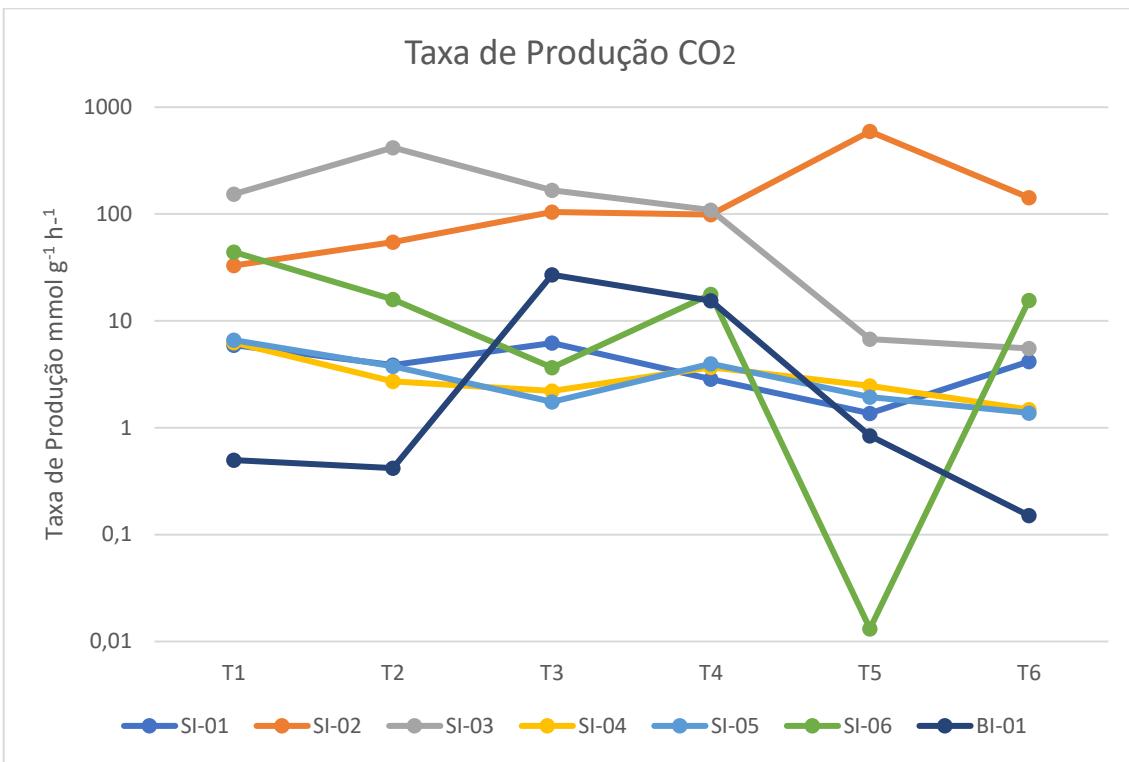


Figura 17. Taxas de produção de CO<sub>2</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

### 5.3.2. Taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> obtidas em incubações com água destilada

As taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> para as incubações montadas com água destilada também foram calculadas conforme apresentado pela Equação 1, com os intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

Os valores de taxa de produção de CH<sub>4</sub> obtidos para as incubações montadas com água do lago são apresentados na tabela 6. A apresentação gráfica dos dados é diretamente similar àquela obtida para os dados de concentração em ppm e pode ser observada na figura 18.

Tabela 6. Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CH<sub>4</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água destilada.

Amostra	Taxa de Produção de CH <sub>4</sub> (mmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SI-01	0,00	8,53E-04	3,40E-04	4,77E-05	3,52E-04	3,12E-04
SI-02	4,25E-04	3,19E-05	0,00	3,75E-04	7,11E-04	3,70E-04
SI-03	1,04E-03	1,02E-03	2,98E-04	1,12E-03	1,08E-04	2,44E-04
SI-04	0,00	3,05E-04	8,85E-04	3,96E-04	1,16E-06	4,72E-06
SI-05	5,983E-04	1,96E-04	6,43E-04	6,17E-04	1,43E-03	1,06E-04
SI-06	3,69E-03	1,72E-03	3,98E-04	4,88E-04	4,11E-03	1,21E-04
BI-01	0,00	5,37E-03	2,67E-03	5,45E-04	1,29E-03	1,64E-04

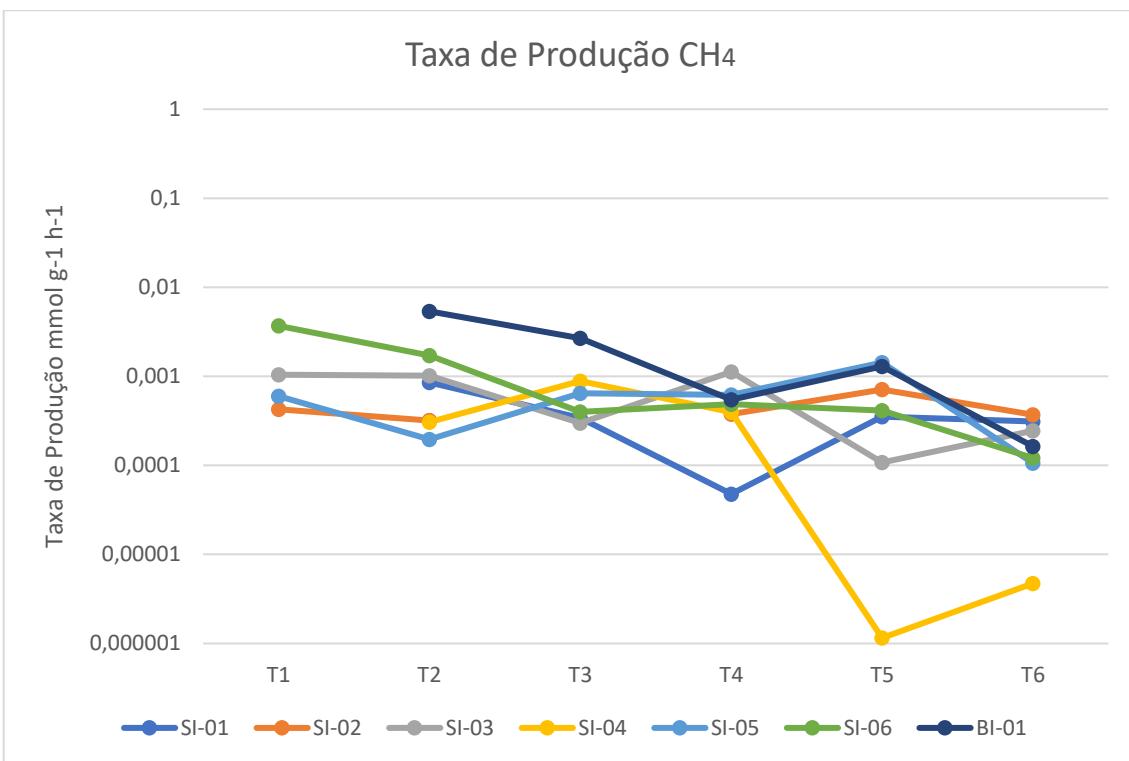


Figura 18. Taxas de produção de CH<sub>4</sub> das incubações montadas com água do lago dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

Os valores de taxa de produção de CO<sub>2</sub> obtidos para as incubações montadas com água destilada são apresentados na tabela 7. A apresentação gráfica dos dados é diretamente similar àquela obtida para os dados de concentração em ppm e pode ser observada na figura 19.

Tabela 7. Evolução ao longo do tempo (dias 0 a 36) das taxas de produção de CO<sub>2</sub> obtidas pelas amostragens das incubações montadas com água destilada.

Amostra	Taxa de Produção de CO <sub>2</sub> (mmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SI-01	5,74	4,58	3,04	3,06	0,38	3,43
SI-02	9,54	6,58	2,89	22,02	35,07	55,02
SI-03	73,19	27,46	28,38	54,89	18,29	15,71
SI-04	2,32	1,63	2,83	1,28	0,46	1,16
SI-05	6,95	5,38	9,75	5,92	49,54	1,43
SI-06	39,57	18,37	18,71	22,43	27,69	3,32
BI-01	0,30	2,56	0,85	0,08	1,51	0,45

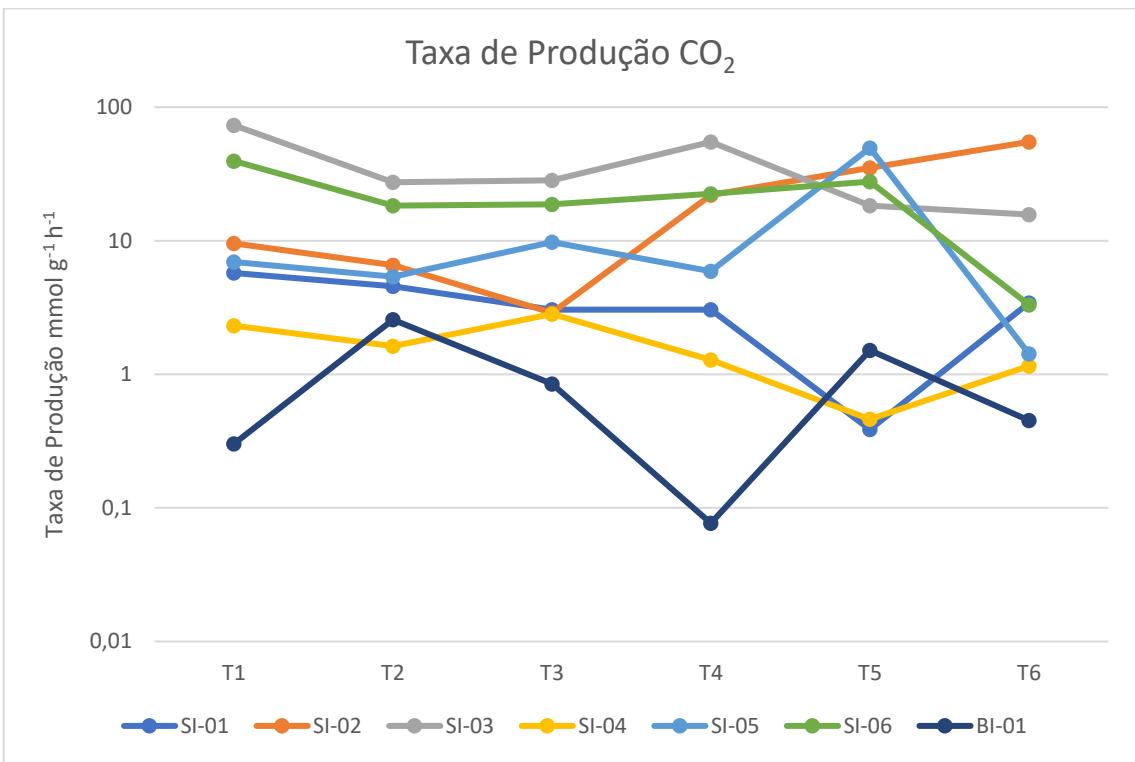


Figura 19. Taxas de produção de CO<sub>2</sub> das incubações montadas com água destilada dos intervalos de tempo T1 (dia 0 ao dia 3), T2 (dia 3 ao dia 7), T3 (dia 7 ao dia 13), T4 (dia 13 ao dia 23), T5 (dia 23 ao dia 26) e T6 (dia 26 ao dia 36).

## **6. DISCUSSÃO**

### **6.1. Origem da matéria orgânica e teor de carbono orgânico**

Folhelhos com valores acima de 2% de teor de COT são consideradas potenciais rochas geradoras de gás natural, enquanto que folhelhos com COT abaixo de 2% tem baixo potencial de geração de hidrocarbonetos (Alexander *et al.*, 2011). No caso das amostras analisadas, os valores de COT obtidos variaram de 3,83 a 5,61% (Tabela 3) e encontram-se dentro do intervalo de rochas com elevado potencial de geração de hidrocarbonetos, exceto as amostras SI-05 e SI-06, que destacam-se por apresentarem COT superior a 10%.

Os resultados de COT encontrados para as amostras estudadas da Formação Solimões assemelham-se àqueles obtidos em estudos realizados em unidades correlatas, como é o caso da Formação Green River, presente na Bacia Uinta, e da Formação Tremembé, presente na Bacia de Taubaté, ambas unidades com composição que inclui folhelhos lacustres cenozoicos (Horsfield *et al.*, 1994; Collister *et al.*, 1992; Riccomini *et al.*, 2004; Mendonça Filho *et al.*, 2010).

A Formação Green River tem idade eocênica e apresenta uma das maiores reservas de petróleo do mundo (Horsfield *et al.*, 1994). Diferentes tipos de folhelhos analisados na unidade demonstraram valores que podem ultrapassar 20% de COT, relacionados à maior presença de querogênio tipo I (Collister *et al.*, 1992). Já a Formação Tremembé tem idade oligocênica e exibe folhelhos termicamente imaturos, com presença de querogênio tipo I e valores de COT que podem chegar a 44%, mas que apresentam uma média ao redor de 10% (Riccomini *et al.*, 2004; Mendonça Filho *et al.*, 2010).

Querogênio é o componente orgânico de rochas sedimentares que é insolúvel em solventes alcalinos aquosos ou em solventes orgânicos. Trata-se de uma macromolécula que, ao ser submetida a temperaturas elevadas durante a subsidência de uma bacia sedimentar, passa por um processo de decomposição que gera hidrocarbonetos de cadeias moleculares menores e mais simples, que compõe o petróleo e o gás natural (Tissot *et al.*, 1978; Magoon e Dow, 2000).

São reconhecidos três tipos de querogênio, que são relacionados ao tipo de matéria orgânica que o formou. Esta classificação define o querogênio tipo I como proveniente de matéria orgânica gerada em ambiente lacustre, com potencial elevado para gerar hidrocarbonetos líquidos e gasosos; querogênio tipo II como proveniente matéria orgânica gerada em ambiente marinho, com potencial regular para geração de hidrocarbonetos líquidos e bom potencial para geração de hidrocarbonetos gasosos; e querogênio tipo III como proveniente de matéria orgânica gerada em ambiente marinho deltaico, com baixo potencial para geração de hidrocarbonetos líquidos e potencial regular para geração de hidrocarbonetos gasosos (Tissot *et al.*, 1978).

Kern *et al.* (2020) realizaram um estudo palinológico do testemunho 1-AS-14-AM, o mesmo do qual foram selecionadas as amostras estudadas neste trabalho, a fim de ampliar a compreensão das mudanças bióticas ocorridas no oeste da Amazônia durante o Neogeno. No estudo em questão foram analisadas a palinologia e as assembleias de ostracodes da Formação Solimões, cuja cronologia bioestratigráfica foi comparada às idades máximas de deposição definidas pelas idades U/Pb em grãos de zircão detritico.

Aproximadamente entre as profundidades de 70 m e 120 m foram identificados elementos que indicam ambiente de deposição lacustre e de planície de inundação, com presença de palmeiras das espécies *Mauritia flexuosa* e *Grimsdalea magnaclavata* e de samambaia *Azolla*. Já nas porções inferior e superior analisadas do testemunho 1-AS-14-AM, foram encontrados elementos condizentes com aqueles definidos para floresta de Terra Firme (Kern *et al.*, 2020), que ocorrem em terraços fluviais sem exposição à inundações sazonais (Pupim *et al.*, 2019).

Dentre os paleoambientes definidos por Kern *et al.* (2020), as amostras SI-02 e SI-03, que correspondem às profundidades de 67,07 m e 106,8 m, se encaixam ao ambiente de deposição identificado como de planície de inundação, que pode conter lagos. Neste tipo de ambiente, pode apresentar-se matéria orgânica lacustre, lipídica proveniente de algas ou atividade microbiana, que é ideal para gerar querogênio tipo I, mais suscetível à geração de hidrocarbonetos (Tissot *et al.*, 1978). Já as amostras SI-01, SI-04, SI-05 e SI-06, referentes às profundidades 22,30 m, 179,70 m, 227,10 m e 269,80 m, respectivamente, correspondem ao ambiente referente à floresta de Terra Firme, onde pode haver matéria orgânica responsável por gerar querogênio tipo II ou III, relativamente menos propenso à geração de hidrocarbonetos (Tissot *et al.*, 1978).

## 6.2. Potencial de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>

Os resultados de taxa de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> obtidos apresentaram grande variação a depender da amostra e do tipo de incubação (sob água de lago ou água destilada), com comportamentos distintos para os dois gases analisados. Contudo, de maneira geral, foi possível destacar o alto potencial metanogênico dos folhelhos orgânicos da Formação Solimões.

Incubações realizadas com água do lago apresentaram resultados de taxa de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> até duas ordens de grandeza maiores do que àquelas realizadas com água destilada. Este fato indica que a adição de comunidade microbiana exógena às amostras de folhelho utilizadas foi responsável por promover a produção metanogênica de maneira significativa. Isto teria estimulado a produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> a partir do consumo do material orgânico presente. Amostras incubadas com água destilada apresentaram produções ínfimas de CH<sub>4</sub> e geração de CO<sub>2</sub> consideravelmente significativa, mas que não apresenta relação direta com a metanogênese e está possivelmente associada à ação de outros microrganismos de ambiente anóxico presentes nas incubações.

Alguns valores anômalos de geração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram observados nas amostras de branco ao longo do período em que foram feitas as incubações. Todavia, assume-se tratar de contaminação atmosférica durante processo de amostragem, para o caso de frascos montados com água destilada, e de ação da comunidade microbiana na matéria orgânica em suspensão da água do lago.

Trabalhos em que foram realizados experimentos de incubação similares àqueles realizados neste estudo, mas em outras bacias e unidades (Bertassoli Jr. *et al.*, 2016; Almeida *et al.*, 2019; Pelissari *et al.*, 2021), utilizaram diferentes métodos para avaliação das taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. É difícil, portanto, indicar efetivamente de forma quantitativa, qual o potencial real de produção de gases biogênicos da Formação Solimões, considerando que não existem dados disponíveis para comparação.

Entretanto, resultados brutos obtidos em ppm possibilitam que seja inferido o forte potencial metanogênico da unidade, que obteve valores máximos de aproximadamente 58 ppm para CH<sub>4</sub> e 67427 ppm para CO<sub>2</sub>, ao final de 36 dias de experimento, com frascos montados com 5 g de amostra sob temperatura constante de 30°C. Estes resultados podem ser considerados altos quando comparados àqueles obtidos, por exemplo, por Almeida *et al.* (2020), que obteve valores máximos de geração de cerca de 13 ppm para CH<sub>4</sub> e 15048 ppm para CO<sub>2</sub>, ao final de 30 dias de experimento, com frascos montados com 15g de amostra sob temperatura constante de 80°C, para a Formação Iratí, presente na Bacia do Paraná, unidade reconhecida pelo potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos em sistemas convencional e não convencional (Nomura *et al.*, 2014; Nicolini *et al.*, 2011; Bertassoli Jr. *et al.*, 2016).

Os valores mais altos e mais baixos de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram obtidos pelas mesmas amostras para ambos os gases. Contudo, apenas para a geração de CH<sub>4</sub> das amostras SI-02 e SI-03 foi observado comportamento crescente ao longo do tempo (Figura 16). Para as demais amostras e para a geração de CO<sub>2</sub>, foi observado comportamento relativamente estável, com aumento ou diminuição de geração ao longo do tempo de incubação. A sobressalência das amostras SI-02 e SI-03 foi o resultado mais significativo obtido pelos experimentos de incubação. As taxas de produção de CH<sub>4</sub> das duas amostras chegaram a valores de 0,188 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> e 0,122 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup>, respectivamente, resultados três ordens de grandeza maiores do que os obtidos para as demais amostras (Tabelas 4 e 5). Já as taxas de produção de CO<sub>2</sub> chegaram a valores de 142,234 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> e 5,527 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup>, respectivamente, valores até duas ordens de grandeza maiores que os das demais amostras.

As taxas de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> calculadas permitiram, também, a análise dos fatores qualitativos relacionados à produção biogênica de gases, tendo em vista a possibilidade de contrapor os valores obtidos para amostras com as características distintas inerentes a cada uma delas, tal como o teor de carbono orgânico.

Conforme exibido na Tabela 3, todas as amostras apresentaram valores de COT suficiente para geração de gases biogênicos (Alexander *et al.*, 2011), com valores entre 3,83 e 5,61% para as amostras SI-01, SI-02, SI-03 e SI-04, e destaque para as amostras SI-05 e SI-06, que apresentaram COT superior a 10%. Entretanto, aquelas que apresentaram maior taxa de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram apenas as amostras SI-02 e SI-03. Nota-se, então, que não há correlação entre o teor de COT das amostras estudadas e a taxa de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

Não se descarta a importância de altos teores de carbono orgânico para que haja geração de metano biogênico (Rice, 1993). Contudo, a falta de correlação observada afasta-se daquilo que era inicialmente esperado, uma vez que as amostras com maior COT (10,14% e 14,44%) não foram aquelas que apresentaram as maiores taxas de produção. Este fato indica, portanto, que o teor de COT dos folhelhos estudados não é necessariamente um fator condicionante da taxa de geração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, implicando que existem outros fatores responsáveis por influenciar a geração de gases biogênicos na Formação Solimões.

As taxas de produção elevadas das amostras SI-02 e SI-03 indicam que características apresentadas por elas são responsáveis por promover maior geração de gases biogênicos. Levanta-se a hipótese, então, de que a faixa de profundidade na qual as amostras estão inseridas (67,07 m a 106,8 m), o ambiente deposicional identificado para ela (planície de inundação lacustre), assim como o tipo de matéria orgânica de que há deposição (lipídica, de proveniência algólica), possam ser as principais características condicionantes para a geração dos gases biogênicos medidos.

Em vista das informações apresentadas, denota-se que as características compostacionais da matéria orgânica presente nas amostras estudadas, conforme determinado por dados presentes na literatura, trataram-se dos fatores mais importantes sugeridos enquanto controladores da geração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> na Formação Solimões.

## 7. CONCLUSÕES

Os folhelhos da Formação Solimões estudados neste trabalho apresentaram produção significativa de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. As incubações realizadas com água do lago apresentaram taxa de produção máxima de 0,188 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> para CH<sub>4</sub> e 142,234 mmol. g<sup>-1</sup>. h<sup>-1</sup> para CO<sub>2</sub>. A falta de correlação entre os resultados de taxa de produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> e o teor de carbono orgânico (COT) sugere que outros fatores inerentes às amostras utilizadas foram os responsáveis pela variação das taxas de geração de gases biogênicos na unidade.

As duas amostras que apresentaram as maiores taxas de produção metanogênica, SI-02 e SI-03, estão compreendidas na faixa de profundidade de 67,07 m a 106,8 m. Tal faixa corresponde ao ambiente deposicional lacustre e de planície de inundação, segundo dados palinológicos da literatura. Neste tipo de ambiente deposicional, a matéria orgânica acumulada pode corresponder àquela responsável por gerar querogênio tipo I, o que tem maior potencial para geração de hidrocarbonetos.

Sendo assim, interpreta-se que as características compostionais da matéria orgânica, as quais variam com a profundidade, podem ser determinantes para as taxas de geração de gases biogênicos na Formação Solimões.

Cabe ressaltar que os resultados obtidos por esse trabalho tratam-se de informações preliminares acerca do estudo da geração de gases biogênicos na Formação Solimões. A inexistência de literatura científica contendo dados geoquímicos sobre as fácies orgânicas da unidade representa ainda um empecilho para a caracterização definitiva do potencial de geração de hidrocarbonetos biogênicos. Estudos mais aprofundados sobre os sistemas de geração de gases biogênicos na formação, que envolvam maior abrangência de métodos e amostras, são recomendados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, T., Baihly, J., Boyer, C., Clark, B., Waters, G., Jochen, V., Calvez, J. L., Miller, R. L. C. K., Thaeler, J., Toelle, B. E. (2011). Shale gas revolution. *Oilfield review*, v. 23, n. 3, pp. 40-57.
- Almeida, N. D. S., Sawakuchi, H. O., Teixeira, C. A. S., Bertassoli Jr., D. J., Furukawa, L. Y., Pelissari, M., & Sawakuchi, A. O. (2020). Incubation experiments to constrain the production of methane and carbon dioxide in organic-rich shales of the Permian Iratí Formation, Paraná Basin. *Marine and Petroleum Geology*, v. 112, n. 104039, pp 1-11.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2002). Carta Estratigráfica e Seção Geológica da Bacia do Solimões. Seminário Jurídico Fiscal e Workshop Técnico da 4ª Rodada de Licitações. Acesso em: 18 de agosto de 2022, <[https://www.gov.br/np/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-deblocos exploratorios/4a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/bacias/r4\\_ce\\_solimoes.pdf](https://www.gov.br/np/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-deblocos-exploratorios/4a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/bacias/r4_ce_solimoes.pdf)>.
- Barata, C.F., Caputo, M.V. (2007). Geologia do Petróleo na Bacia Solimões – O Estado da Arte. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4, 2007. Campinas, Resumos Expandidos. Campinas: Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás, pp. 1-10.
- Bertassoli Jr., D. J., Sawakuchi, H. O., Almeida, N. S., Castanheira, B., Alem, V. A. T., Camargo, M. G. P., Krusche, A. V., Brochhsztain, S., Sawakuchi, A. O. (2016). Biogenic methane and carbon dioxide generation in organic-rich shales from southeastern Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 162, pp. 1-13.
- Caputo, M. V. (1984). Stratigraphy, tectonics, palaeoclimatology and palaeogeography of northern basins of Brazil. Tese de Doutoramento – University of Califórnia, Santa Bárbara. 532 p.
- Collister, J. W., Summons, R. E., Lichtfouse, E., & Hayes, J. M. (1992). An isotopic biogeochemical study of the Green River oil shale. *Organic Geochemistry*, v. 19, n. 1-3, pp. 265-276.
- Cunha, P.R.C. (2007). Bacia do Acre. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, pp. 207-215.
- Eiras, J. F., Becker, C. R., Souza, E. M., Gonzaga, F. G., Silva, G. F., Daniel, M. L. F., Matsuda, N. S.; Feijó, F. J. (1994). Bacia do Solimões. Boletim Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, pp. 17-49.
- Etiope, G., Klusman, R.W. (2002). Geologic emissions of methane to the atmosphere. *Chemosphere*, v. 49, n. 8, pp. 777–789.
- Horsfield, B., Curry, D. J., Bohacs, K., Littke, R., Rullkötter, J., Schenk, H. J., Radke, M., Schaefer, R. G., Carroll, A. R., Isaksen, G., Witte, E. G. (1994). Organic geochemistry of freshwater and alkaline lacustrine sediments in the Green River Formation of the Washakie Basin, Wyoming, USA. *Organic Geochemistry*, v. 22, n. 3-5, pp. 415-440.
- Jaramillo, C., Romero, I., D'Apolito, C., Bayona, G., Duarte, E., Louwye, S., Escobar, J., Luque, J., Carrillo-Briceño, J. D., Zapata, V., Mora, J., Schouten, S., Zavada, M., Harrington, G., Ortiz, J., Wesselingh, F. P. (2017). Miocene flooding events of western Amazonia. *Science advances*, v. 3, n. 5, pp. 1-11.
- Kern, A. K., Gross, M., Galeazzi, C. P., Pupim, F. N., Sawakuchi, A. O., Almeida, R. P., Piller, W. E., Kuhlmann, G. G., Basei, M. A. (2020). Re-investigating Miocene age control and paleoenvironmental reconstructions in western Amazonia (northwestern Solimões Basin, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 545, n. 109652, pp. 1-13.

- Kotelnikova, S. (2002) Microbial production and oxidation of methane in deep subsurface. *Earth-Science Reviews*, v. 58, pp. 367–395.
- Magoon, L. B., Dow, W. G. (2000). AAPG Memoir 73, Chapter 5: Mapping the Petroleum System--An Investigative Technique to Explore the Hydrocarbon Fluid System, v. 73, pp. 53-68.
- Maia R.G.N., Godoy H.K., Yamaguti H.S., Moura P.A., Costa F.S.F., Holanda M.A., Costa J.A. (1977). *Projeto Carvão no Alto Solimões*. Relatório Final. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-Departamento Nacional da Produção Mineral, Manaus. 142 p.
- Mendonça Filho, G.M., Chagas, R.B.A., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., da Silva, F.S., Sabadini-Santos, E., 2010. Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté basin, Southern Brazil. *Int. J. Coal Geol.* v. 84, pp. 166–178.
- Milkov, A. V. (2011). Worldwide distribution and significance of secondary microbial methane formed during petroleum biodegradation in conventional reservoirs. *Organic Geochemistry*, v. 42, n. 2. pp. 184-207.
- Nomura, S. F., Sawakuchi, A. O., Bello, R. M. D. S., Méndez-Duque, J., Fuzikawa, K., Giannini, P. C. F., & Dantas, M. S. S. (2014). Paleotemperatures and paleofluids recorded in fluid inclusions from calcite veins from the northern flank of the Ponta Grossa dyke swarm: Implications for hydrocarbon generation and migration in the Paraná Basin. *Marine and Petroleum Geology*, v. 52, pp. 107-124.
- Nicolini, J., Pereira, B. F., Pillon, C. N., Machado, V. G., Lopes, W. A., de Andrade, J. B., & Mangrich, A. S. (2011). Characterization of Brazilian oil shale byproducts planned for use as soil conditioners for food and agro-energy production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 90, n. 2, pp. 112-117.
- Oremland, R.; Polcin, S. (1982). Methanogenesis and sulfate reduction: competitive and noncompetitive substrates in estuarine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 44, n. 6, pp. 1270–1276.
- Pimentel, E. T., & Hamza, V. M. (2010). Gradientes Térmicos Crustais das Bacias Sedimentares na Região Amazônica. *IV Simpósio Brasileiro de Geofísica*. European Association of Geoscientists & Engineers. pp. cp-197.
- Pelissari, M. R., Sawakuchi, H. O., Junior, D. J. B., da Silva Almeida, N., & Sawakuchi, A. O. (2021). Water influence on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> generation from tar sandstones: Insights from incubation experiments in the Piramboia Formation, Parana Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 106, n.103097, pp 1-9.
- Pupim, F.N., Sawakuchi, A.O., Almeida, R.P., Ribas, C.C., Kern, A.K., Hartmann, G.A., Grohmann, C.H. (2019). Chronology of Terra Firme formation in Amazonian lowlands reveals a dynamic Quaternary landscape. *Quaternary Science Reviews*, v. 210, pp. 154-163.
- Ribeiro, R.B., Lima, T.C.S. (2007). Evidência da Tectônica do Juruá em Linhas 2D Reprocessadas Da Bacia Do Solimões. *4º PDPETRO*, Campinas, São Paulo. 6 p.
- Rice, D.D. (1993). “Biogenic” gas: controls, habitats, and resource potential. In: *The Future of Energy Gases*. D.G. Howell, Washington, pp. 583-606.
- Riccomini, C., Sant’Anna, L. G., Ferrari, A. L. (2004). Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. *Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR*, pp. 383-405.
- Souza, E. L. D., Galvão, P. H. F., Pinheiro, C. D. S. D. S., Baessa, M. P. M., Demétrio, J. G. A., & Brito, W. R. R. (2013). Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v. 13, n. 1, pp. 110-117.

- Tissot, B.P., Welte, D.H. (1984). Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 2 ed., 699p.
- Wanderley Filho, J. R., Eiras, J. F., Cunha, P. R. da C., van der Ven, P. H. (2010). The Paleozoic Solimoes and Amazonas basins and the Acre foreland basin of Brazil. In: Hoorn, C., Wesselingh, F. P., Vonhof, H. B., Kroonenberg, S. B., Hooghiemstra, H. Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past, pp. 29-37.
- Wanderley Filho, J.R., Eiras, J.F., Vaz, P.T. (2007). Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, pp. 217-225.
- Whiticar, M. (1999). Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. *Chemical Geology*, v. 161, n. 1-3, pp. 291–314.
- Zinder, S. H. (1993). Physiological ecology of methanogens. *Methanogenesis*. Springer, Boston, M, pp. 128-206.

**APÊNDICE A – CONCENTRAÇÕES DE CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> OBTIDAS PELAS AMOSTRAGENS  
DAS INCUBAÇÕES**

	Dia 0 (09/08/2022)		Dia 3 (12/08/2022)		Dia 7 (16/08/2022)		Dia 13 (23/08/2022)		Dia 23 (02/09/2022)		Dia 26 (05/09/2022)		Dia 36 (15/09/2022)	
Amostra	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	CO2 (ppm)
SI-01-L1	n.a.	52.757	n.a.	521.517	0.108	952.112	0.169	1468.379	0.196	2546.698	0.209	2844.203	0.219	3705.056
SI-01-L2	n.a.	58.331	n.a.	633.050	0.111	1112.854	0.330	2787.412	0.138	3382.773	n.a.	n.a.	0.172	4440.170
SI-01-D1	n.a.	103.056	n.a.	651.817	0.110	1199.743	0.116	1857.432	0.143	2714.875	n.a.	n.a.	n.a.	104.092
SI-01-D2	n.a.	78.234	n.a.	541.949	0.091	1069.911	0.205	1486.408	0.206	2425.719	0.205	2604.361	0.227	3090.674
SI-02-L1	n.a.	145.764	0.093	4288.599	n.a.	16567.030	0.438	48814.590	0.850	105856.586	3.014	109229.031	116.504	108147.018
SI-02-L2	n.a.	35.207	n.a.	1714.138	n.a.	2308.244	0.142	6809.954	0.174	8090.240	n.a.	n.a.	0.290	26708.319
SI-02-D1	n.a.	242.014	n.a.	1122.221	n.a.	2224.818	n.a.	1286.168	0.110	12093.275	0.095	18035.958	0.169	49345.241
SI-02-D2	n.a.	214.152	0.075	1016.093	n.a.	1460.321	n.a.	1379.211	0.111	3516.423	n.a.	3758.621	0.144	4791.700
SI-03-L1	n.a.	93.949	0.261	8215.274	0.291	63256.863	0.983	65512.504	11.164	67144.459	19.384	65608.409	90.777	64641.098
SI-03-L2	n.a.	147.040	0.121	19091.196	0.229	62609.749	0.157	1282.811	0.696	63511.853	0.614	63859.117	0.644	61577.987
SI-03-D1	n.a.	50.696	0.090	6338.161	0.208	9363.800	0.319	6502.958	0.499	12015.544	0.483	12095.241	0.544	12370.531
SI-03-D2	n.a.	94.564	0.094	6714.507	0.217	10145.064	n.a.	2995.924	0.480	29750.425	0.516	32896.341	0.598	41853.837
SI-04-L1	n.a.	38.189	n.a.	625.332	n.a.	1101.627	0.136	502.894	n.a.	1933.387	n.a.	1934.621	0.165	2421.740
SI-04-L2	n.a.	35.526	n.a.	552.184	n.a.	713.518	n.a.	533.201	0.217	1272.265	0.114	1705.221	0.105	2088.705
SI-04-D1	n.a.	68.135	n.a.	293.159	0.072	482.854	0.096	653.328	0.151	1447.670	0.151	1436.951	0.154	1813.586
SI-04-D2	n.a.	46.109	n.a.	230.003	n.a.	423.170	0.288	1250.836	n.a.	1209.877	n.a.	1301.975	n.a.	1606.089
SI-05-L1	n.a.	101.612	n.a.	720.376	n.a.	1160.826	0.185	1157.217	n.a.	2456.405	n.a.	2637.303	0.126	3062.300
SI-05-L2	n.a.	121.074	n.a.	666.713	n.a.	1113.279	n.a.	1734.426	0.083	2765.831	n.a.	2927.218	n.a.	3312.005
SI-05-D1	n.a.	136.828	n.a.	639.747	n.a.	1063.240	0.128	1804.365	n.a.	2368.371	n.a.	2562.306	n.a.	3066.162
SI-05-D2	0.195	155.572	0.090	878.007	0.136	1720.001	0.235	4419.262	n.a.	376.840	0.252	8918.959	0.314	9254.465
SI-06-L1	n.a.	72.610	n.a.	4086.231	0.120	5737.070	0.401	6576.652	0.201	10051.025	0.194	10474.978	n.a.	102.051
SI-06-L2	n.a.	65.790	0.107	3830.399	0.130	5916.845	0.143	3790.043	0.185	10755.047	0.213	10333.420	0.224	11580.422
SI-06-D1	n.a.	58.764	0.651	3845.426	0.111	5917.156	n.a.	2090.678	0.178	12287.548	0.208	12641.929	0.155	9612.613
SI-06-D2	n.a.	74.248	n.a.	3132.361	0.137	5379.253	0.107	2606.318	0.216	5592.926	0.258	10121.069	0.240	11200.091
BI-01-L1	-	-	n.a.	51.073	n.a.	125.927	0.210	9613.956	n.a.	489.032	n.a.	703.951	n.a.	780.964
BI-01-L2	-	-	n.a.	36.522	0.109	60.542	0.120	109.346	n.a.	137.771	n.a.	70.982	n.a.	82.557
BI-01-D1	-	-	n.a.	27.736	1.263	553.311	0.147	55.966	n.a.	289.995	0.146	12.381	0.133	287.145
BI-01-D2	-	-	n.a.	25.506	n.a.	102.967	0.174	301.337	n.a.	22.150	0.083	33.264	n.a.	24.557

Legenda: (-) Medida não foi realizada, (n.a.) Não foi identificada concentração na amostra

**ANEXO A – COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO FURO 1-AS-14-AM**

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:

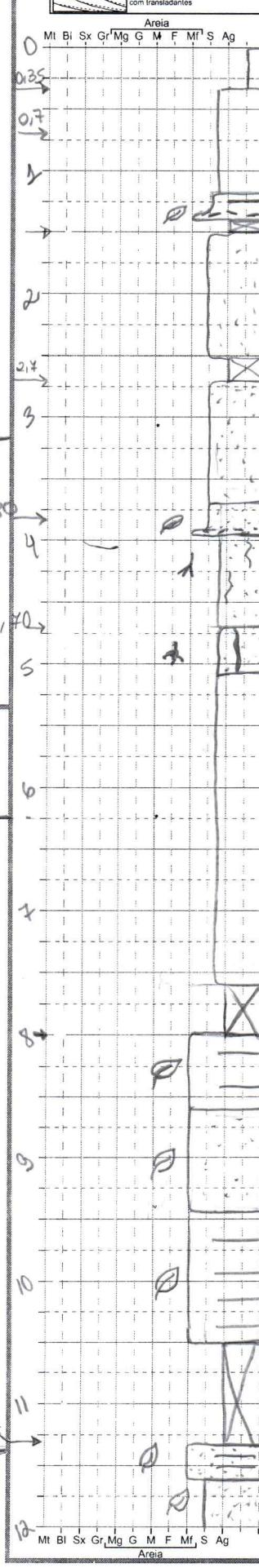
	Pelito blocoso		Granule ripples		Ripples simétricas		Deformações e iludizações (conforme observado)	Ponto:
	Ripples subcriticas e superficiais		Estratificações onduladas truncadas		Laminações de baixo ângulo		Estratolito laminado e peneto colunar (nódulos de silica)	Coord. UTM E: N:
	Cruzadas tangenciais com sexos dispersos		Brechas carbonáticas e côdes		Arenito macio		Clastos concentrados na base	Data: 15/06/22
	Cruzadas tangenciais com transladantes		Intraclastos		Base erosiva			Escala: 1:50

3,20 - 0 = CX L

0,125 - 3,20 = CX 2

0,125 - 11,45 = CX 3

0,20 - 0 = CX 1



Altura (m)	Areia	Cód. Fácies	Paleocorrentes/ Estruturas	Fotos/ Amostras	Assoc. de fácies
0,10					
0,25					
0,75					
1,25					
2,00					
2,25					
3,00					
3,20					
3,80					
4,00					
4,25					
5,00					
5,25					
6,00					
6,25					
7,00					
7,25					
8,00					
8,25					
9,00					
9,25					
10,00					
10,25					
11,00					
11,25					
11,50					

**DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

Horizonte 0 → solo, m. o. blocoso.

Lamito macio, alaranjado oxidado.

Heterolito e los com + material orgânico, 10 cm GAP cíngulo escuro.

20 cm GAP

Siltito cíngulo macio com topo curvo avermelhado.

Lag de fragm carbonosos

Lamito macio cíngulo claro avermelhado com fósseis verticais pretos, com 5cm de comprimento e 0,5cm largura.

totalmente vertical.

Siltito com fóssil (bem no meio do começo), cilíndrico, apino p/ base, tem 2cm de ares de interferência, forças centrais interpreta e tem poros alterados amarelados.

Fratura perpendicular ao comprimento da raiz cobrindo o lado 3 mm.

Lamito cíngulo avermelhado macio.

No poros superior começo a ter umas charavinhadas.

40 cm GAP

Amf. cíngulo escostonhado, com estrutura não identificada, mais visível, mas folhas estão inclinadas, poderão ser umas sx.

Fragm. vegetais dispersos.

85cm GAP.

rupelli (?)

Heterolito de omf luminoso e domito fo címico escuro (3:1).

Siltito macio avermelhado com últimas 15cm com fragmentos Página 251 vegetais oxidados (amarelados).

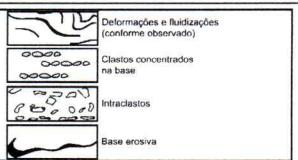
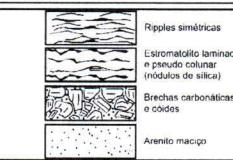
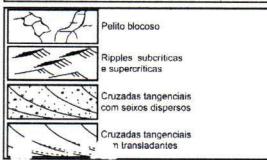
→ 22,10 - pimentos e largura de 1 cm. cilíndrica inclinada.

com 2mm de largura.  
Pode ser buraco ou  
mão.

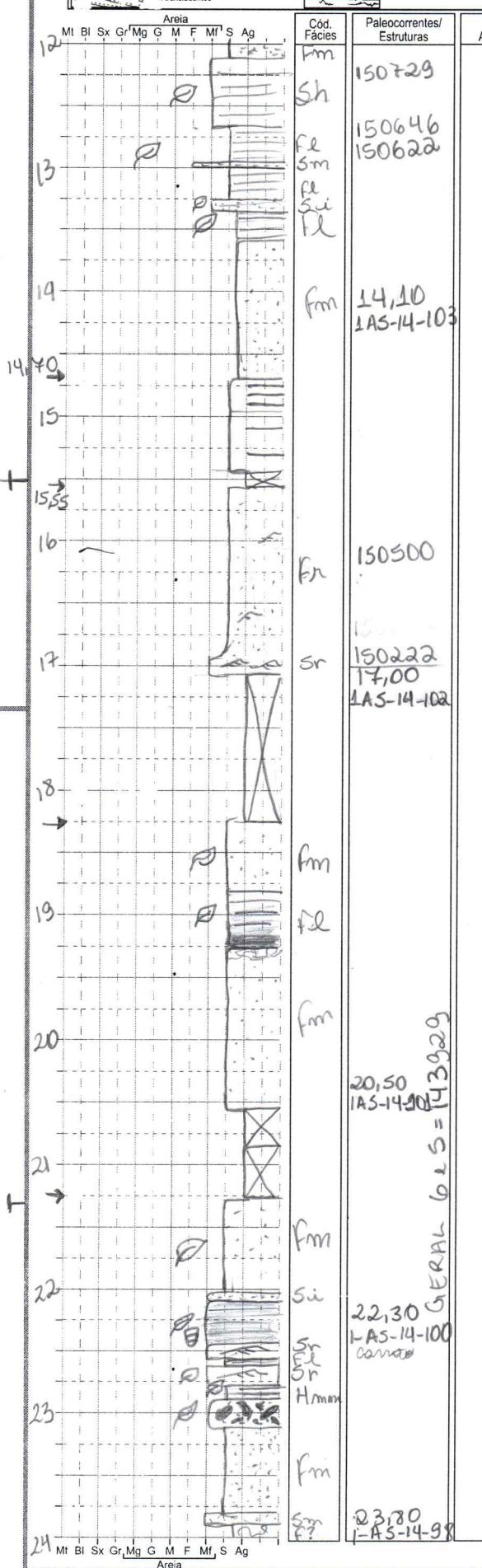
## **COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

**SEÇÃO/UNIDADE:**

## **Participantes:**



Ponto:	
Coord. UTM	
E:	
N:	
Data:	15/06/22
Escala:	



## **DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

Arenito mf com laminações horizontais e fragmentos de folhosa e trocos. Cbr contorno rosado.  
Siltito laminado, contorno rosado com frances e folhas maiores que o diâmetro do poço (5cm).  
Amf, com lam incipiente, gradao de carbonho para vermelho com fragmentos vegetais <2 mm.  
Lamito de baixo com fragmentos orgânicos acompanhando lam. horizontal.  
Lamito moçico carbonho clare.

Metrolito 10:1 (ultito: lomito) e pasto pasto  
3:1 nos 30 cm finais. Mocico.  
10 cm GAP.

Siltito com ripples, cinza escurto nhado

1,2 m GAP

Folheto cinze mísio.

Folhinho com base contendo fragmentos vegetais  
corango escuro e disperso, não comedias, fibro-  
sil. Vira cinzento-méio p/ o topo.

Siltito macio. 0,5-1<sup>o</sup> 10 cm é limpo escorrendo  
do com mosaicos vermelhos escuros no topo.  
15cm de siltito branco. 25cm passa de cor-  
tonho claro p/cortinho escuro. 60 cm de  
fundo cinzão aderido nhado com manchas bri-  
ticas amarelas e manchas  
golumelhadas. Topo averme-  
lhado.

hamito cinza claro com restos vegetais na base, com 3 cm de comprimento e 2 mm de larg. Peso:

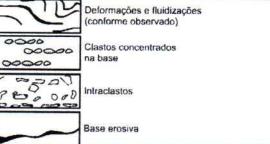
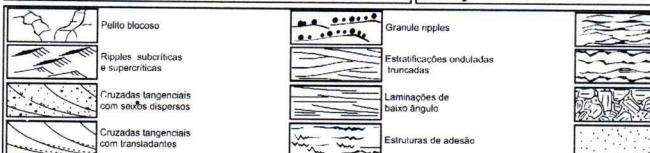
Amf carbonoso, ciz 20 cm e curvo a prato, com f 09-  
 amfites carbonosos, fiam. Burrow nobre 5cm de com.  
 Siltito El, com burrow cilindrica contornos comodo +  
 siltito El, com burrow cilindrica contornos comodo +  
 Amf i amarillo cloro com Sr. marron  
 Heterolite wave siltito (2) e lomito (1)  $\rightarrow$  2:1 cm  
 Areto conglomeratico de intraclastos em arenito amf.  
 Com clastos de 2-3 mm de loms e fragmentos Calb.  
 Siltito maciclo cinze'ceiro, floculosos.

Amfímerigo, anjo amarelo.  
Lamito bifomado pelo futebolinho em  
cinco e verdeado. Página 241

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data:  
Escala:

Cx 6

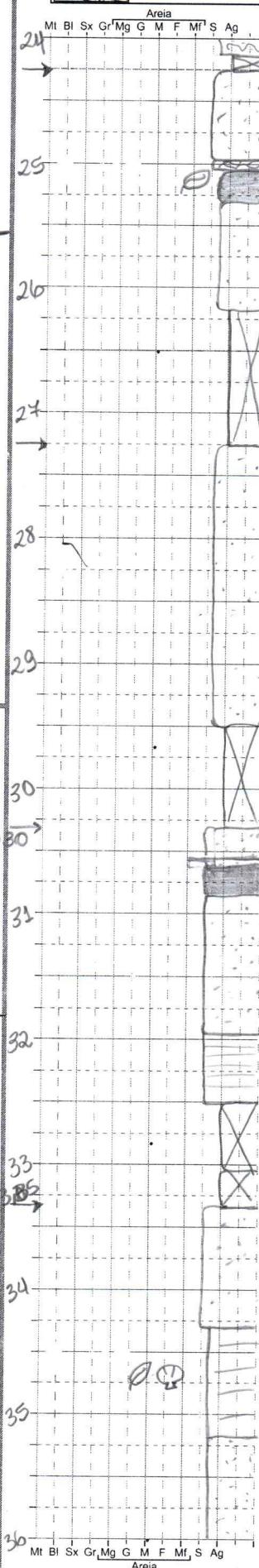
5,55+

34,85 - 35,55 = CX 4

31,85

34,85 - 36,50 = CX 8

31,85 -



## DESCRIPÇÃO LITOLÓGICA

15cm GAP.

Siltito cinza claro macio com manganeto avermelhado.

10cm mistura areia/lama possivelmente pelo perifusão.  
Siltito carbonoso, entre cinza médio e cinza escuro.

linhito?

1,1 m de GAP.

Siltito cinza esverdeado, macio.

1,35cm GAP.

Siltitocinza esverdeado  
Siltito carbonoso preto.

Siltito cinza, macio, com fraturas que concentram peridóxido de Fe.

Siltito laminado cinza esverdeado com oxiidação recorrente e nos intervalos das laminações.

50cm linhito

30 GAP

Siltito cinza esverdeado, macio, estufo, manganeto vermelho acintanholado, manganeto disperso

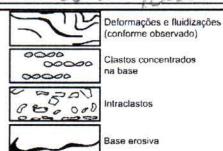
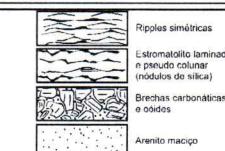
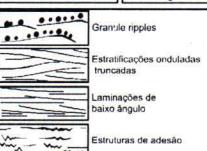
Linhito júníl, com muitos bioclastos que são fragmentos e conchas inteiras (1-3 mm) e fragm. vegetais amarulados (?). Gasterópodes, raízes? Manchas cilíndricas aloranjadas. 10YR 4/2 = cartonho.

5Y6/1 = cinza.

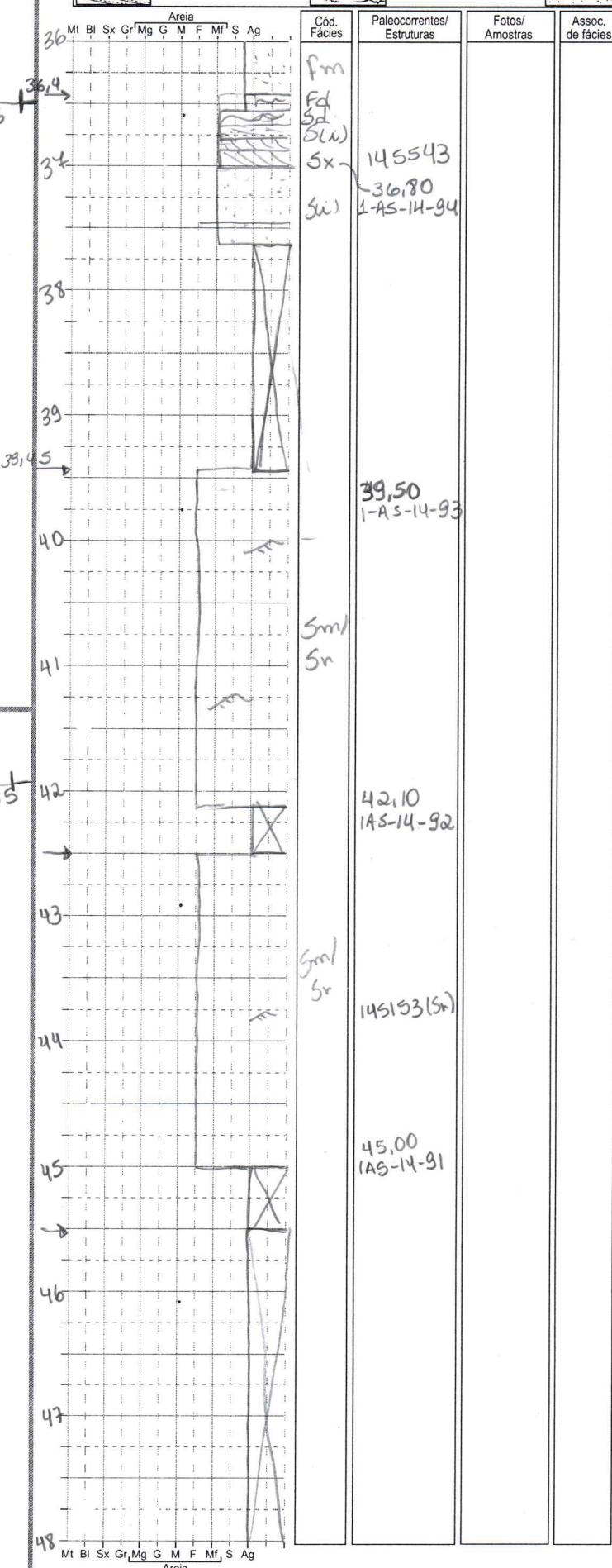
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes: Camilo, Isaac, Adriano



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 15/06  
Escala: 1:50



## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

Lamito (15cm) iniciais moles cinza avermelhado. Apesar de mores marcas de alongamento e quebra um deserto da p1 topo mudo de falso e vermelho. Pode ter laminação.

Arenito deformado.

Arenito com estratificação incipiente.

Set de 5x com ~ 8cm de espessura.

Amf, mole, cinza e vermelhado, com estrutura incipiente, mod. selecionado. Lâmina de 2mm de arenito fino nos 20cm basais.

1,8m de GAP.

Nos últimos 50cm tem maior concentração de mico, ligeiramente selecionado.

A fino, micocédo, cinza claro, com micos pretos, ligeiramente selecionado. Por regra ocorrem ripples.

40cm GAP.

Arenito fino, cinza amarelado, com estratificações indistintas, moderadamente selecionado. Duogrubo? Sr?

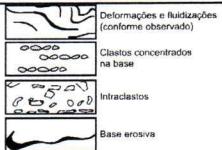
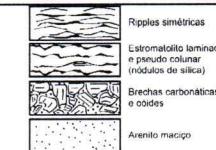
50cm GAP

3mm. GAP

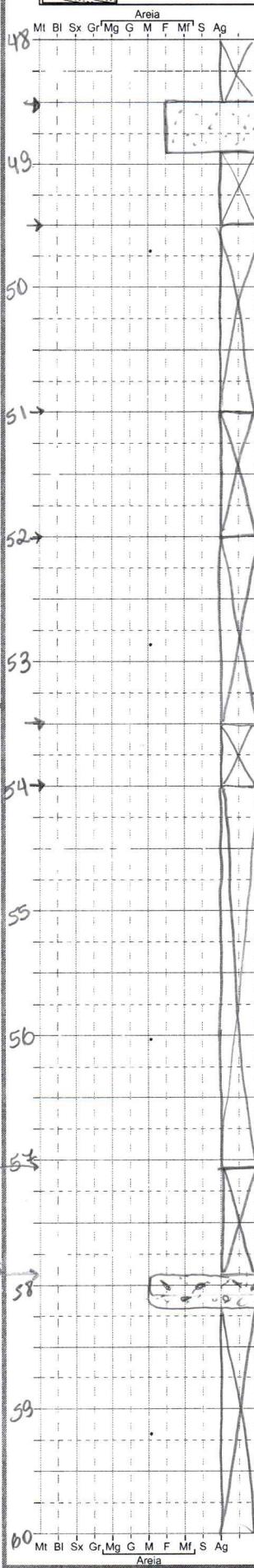
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:
Coord. UTM:
E:
N:
Data:
Escala:



Cód.

Fácies

Paleocorrentes/  
EstruturasFotos/  
AmostrasAssoc.  
de fácies

5m

145423  
48,50  
IAS-14-90

## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

Af, desagregado, macio, intraclasto de rocha carbonosa vermelha (estriado). Pergas cimentadas, mal. selecionadas. 60 cm GAP. Cimento de sílico, difícil de pentar, serrar.

1,5m GAP

1 mm GAP.

1,5 GAP.

50 cm GAP

3,05 GAP.

90cm GAP.

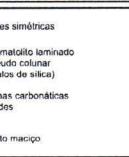
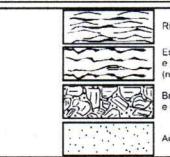
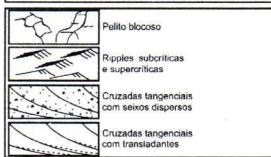
Arenito m, totalmente desagregado, cinza com intraclastos carbonosos de 4 cm, mal. rotundamente selecionado.

2,95 cm GAP.

## **COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

**SEÇÃO/UNIDADE:**

### **Participantes:**



Ponto:

Coord. UTM

E:

N:

5

Escala:

Areia

Mt	Bl	Sx	Gr'	Mg	G	M	F	Mf'	S	Ag
60										
b1										
b2										
b3										
b4										
b5										
b6										
b7										
b8										
b9										
b10										
b11										
b12										

Cód. Fácies	Paleocorrentes/ Estruturas
	GERAL 9.2   0 = 143439
	64,38 1-AS-14-88
Sh	
Fm	
c fim	67,07 1-AS-14-86
5(i)	144954 67,50 1-AS-14-84
fim	
fim	70,65 1-AS-14-85
fim	

## **DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

hamito cíngulo médio, mocoço, com fragmentos de m. o e conchas com ~4 mm. min. ondulado ou continuo.

1<sup>as</sup> 10 dm é carbonoso oxidado, acima e carbonoso, com fragmentos de caule, folhas. Tom. lombr. ondulado descontínuo, quebra ondulado. Fragmentos ~ 3 cm (folhas) - fragmentos em média 1 mm.

Folheto com borboleta que começa preto e vai  
se p/ vermelho oxidado.

PS com de GAP.

hamito com 2 cm do topo carbonoso. Lormo  
moligo cing amarelo doclar.  
Amf com domínioção incipiente, caro-  
nho ovolumelhado. Nos 15cm da base tem  
intercalatos de siltito; Bioclastos brancos  
fragmentados com ate' 4 mm, disperso e  
abundantes, quase um conglomerado.

1,95 cm GAP  
35 cm linhite

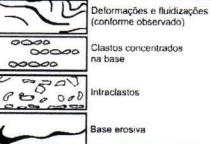
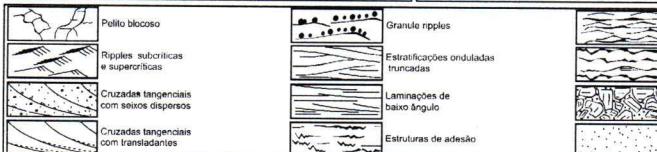
brônco  
famito com 2<sup>o</sup> metade cinza, carbonoso.  
Amf. com 30 cm da base cinza escuro com  
concentração de fragmentos vegetais, lepe  
fumigada, cinza clara, estéril p/ o topo.

sulto macio, deformado pelo pufuro-pão.

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 15/06  
Escala: 1:50

Mt	Bl	Sx	Gr	Mg	G	M	F	M'	S	Ag	Areia	Cód.	Fácies	Paleocorrentes/ Estruturas	Fotos/ Amostras	Assoc. de fácies
73,10																
73,80																
74,10																
74,15																
74,80																
75,10																
76,15																
77,00																
77,80																
78,00																
79,00																
79,20																
79,80																
80,00																
81,00																
82,00																
83,00																
84,00																

## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

Lentito

75 GAP

cilíndricas, 2-5 mm de espessura  
(raízes?)

arenito fino, cinza claro, com monchas  
coloridas p/ o topo (apartir de 73,70). Deso-  
gregado, mas lombo p/ topo.  
A fina, mole, cinza claro, moderadamente  
desligada, micróica, manchas verticais amarelo-  
claras, vermelhas,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mica}$ , com cimento de óxido.  
Amf, cinza e verdeado, lomado com  
fragmentos vegetais, de puro, por vezes oxidado  
(vermelho), 2-3 mm, com lom. horizontal,  
Amf. cinza claro, com lom. horizontal,  
fragmentos vegetais (caule/folha) acompan-  
hando a lamination. Monchas amaraldo-  
das associadas à m. o. (enxofre?).

10 cm. Últimos 1,5 cm é vermelho oxidado.  
Lentito lomado, cinza, com lom. mm de  
cor amarelo. Bioclato na ultima e resto  
de cor amarelo. Bioclato na ultima e resto  
de cor amarelo. Fragmentos vegetais maiores tam +  
pequenos qm. lentito 2-3 cm. Condensado  
que 3 x 3 cm. Condensado 2-3 cm.  
Amf. com massa basal oxidada vermelha  
topo cinza esverdeado. (amf. cinza esverdeado p/ o topo)  
Fragmentos (tudo misturado) → lent. cimentado  
Amf. m. f. moles, amarelo, com m. f. amf.  
Areia do fundo de beira (10 cm x 3 cm ou  
mais) de conchas no topo.  
Amf. micróico, lomoso, carbonoso,  
cinza escuro com fragm. vegetais.

Amf., micróico, mole, com fragmentos ve-  
getais, contorno claro com monchas amar-  
eladas adjacentes ao óxido. Tem m.  
1m GAP sulco vermelho na base.

Lentito cinza, lomado, com bioclato de  
concha < 2 mm (molusco).  
Amf., amarelo, dominado, descontínuo  
ondulado. Possui caule.

Lentito esverdeado, mole, peso. No topo  
10 cm da base tem cimento sólido vermelho  
e o topo é cimentado também.

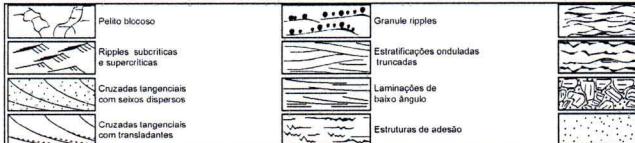
1,05 GAP

arenito amarelado mole, com marca  
de raiz.  
Lentito esverdeado mole, com m. que-  
roto preto e descoloração p/ amarelo.  
Amf. com lom. ondulado descontínuo,  
ainda quebro em placas, mas ondulado.  
Possui muitos fragmentos vegetais talis  
como espinhos. Marcas de raízes cilíndricas  
com halo laranja, preenchidas por sedimento  
cinza p/ concretas.

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participants:



Deformações e fluidizações (conforme observado)

Clastos concentrados na base

Intraclastos

Base erosiva

Ponto:

Coord. UTM

E:

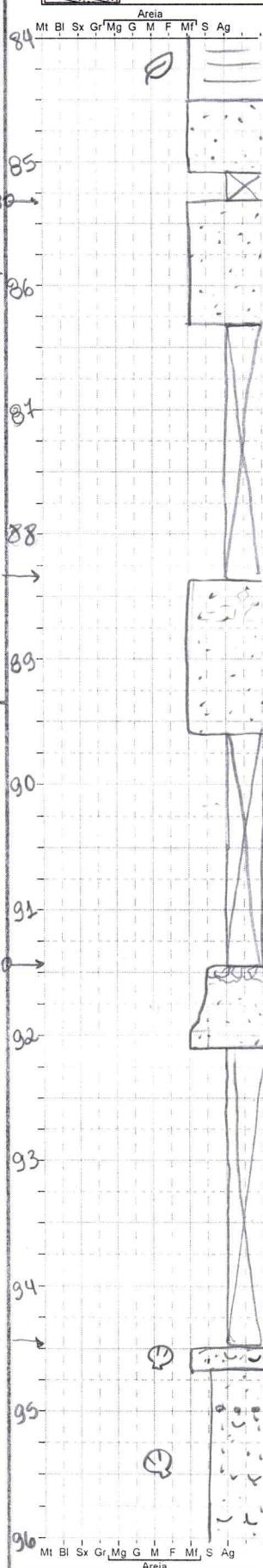
N:

Data:

Escala:

85,95 - 85,95 = CX 13

98,45 - 98,45 = CX 14

Paleocorrentes/  
EstruturasFotos/  
AmostrasAssoc.  
de fácie

## DESCRITÃO LITOLOGICA

Amf, com dominância horizontal, com folha (?) e folhas de calcar (2 mm de esp.). Amf como antroto, moqueamento amarelado, maciço.

20 cm GAP

Amf, maciço, bem fiável, com moqueamento vermelho.

2,07

Amf, maciço cinza, estéril. Comigo moqueamento vermelho nos últimos 40 cm.

1,9 m GAP.

Últimos 10 cm é cimentado por ferro, e oxornelhado.

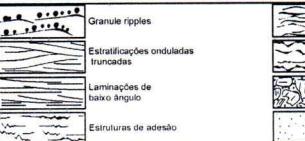
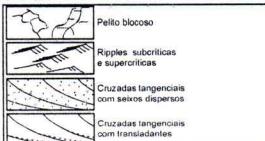
2,40 GAP

Nódulos de cimentação ferrosa, fico um pouco blocos. Siltito macio, úmido acartonhado, com bioclastos brancos (<3mm). Página 181

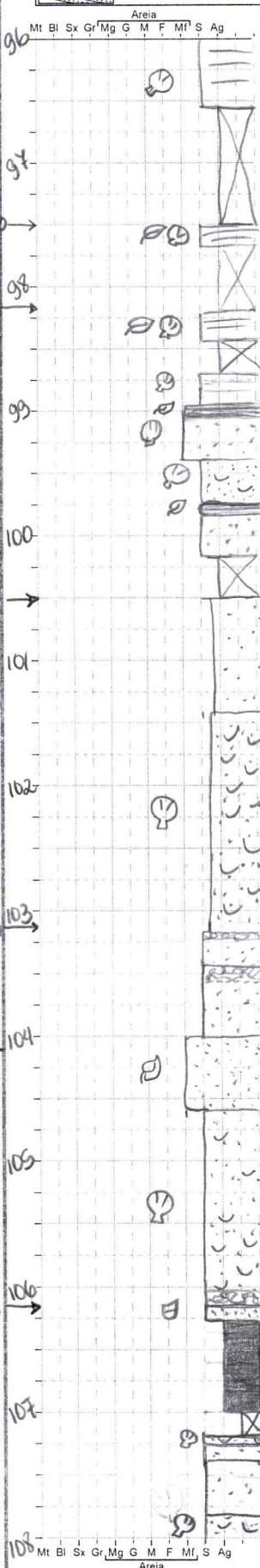
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 24/10/06  
Escala: 1:50



						DESCRIPÇÃO LITOLÓGICA	
96,10	IAS-14-75					Siltito laminado, cinza e carbonhado, com bioclastos brancos dispersos (2mm). 55cm GAP.	
98,40	IAS-14-74					Siltito laminado, mao desagregado	
99,80	IAS-14-70					55cm GAP	
101,40	IAS-14-67					Siltito com bioclastos <2mm, e fragmentos vegetais. Desagregado. Laminado.	
102,40	IAS-14-69					Siltito, Amf intercalando cor carvão. Amf com 5h incipiente, overmelhado com módulos de ferro vermelho (~1mm a 6mm). Bioclastos brancos, irregularmente quebrados, de moluscos, com até 3cm de diâmetro (redutor) e 1cm de espessura. Amf mao com módulos vermelhos (nódulos). Bioclastos abundantes.	
103,40	IAS-14-68					Cimentoção ferrosa no topo.	
104,20	IAS-14-68					Siltito mao, igual ao anterior. 0-15cm é totalmente cimentado vermelho, ferroso.	
106,80	IAS-14-73					Amf mao, cor cinza amarelada com fragmentos de plantas milimétricos (semelhante e caules?).	
108,00	IAS-14-67					Siltito com bioclastos (1-3mm) com recorrência reduzindo p/ o topo. Cor azul carvão, bem claro. Pormenorizado de oxidados e reduzidos círculos radiais com centro ~4mm diâmetro (redutor) e 1cm de espessura. Cimentoção vermelha. Siltito mao com bioturbacões (tubos).	
						Carvão forte.	
						0,15 = 55cm lito	
						Silt. moleto, mao.	
						Siltito mao, cor cinza clara.	

E perturbações  
E fragmentos vegetais

Conchos

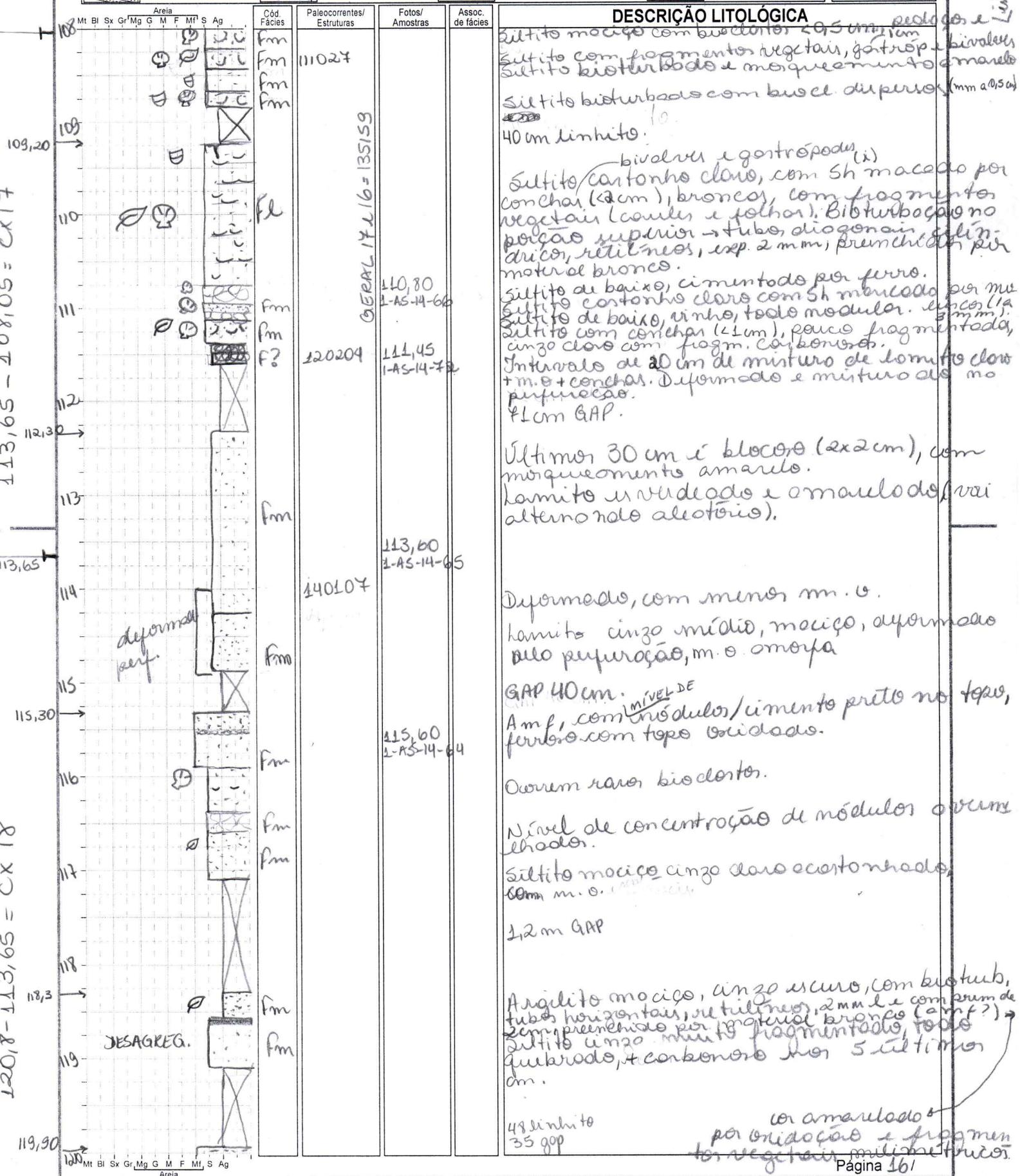
Caixas 16 e 17 tem 1 metro de teste mu-  
ndo a mais. Marcação das caixas  
**Participantes:** **errado?**

## **COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

**SEÇÃO/UNIDADE:**

## **Participantes:**

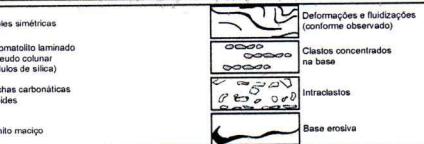
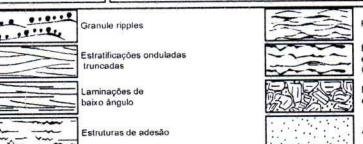
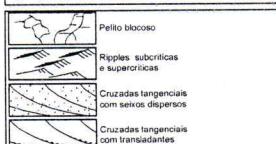
errado?



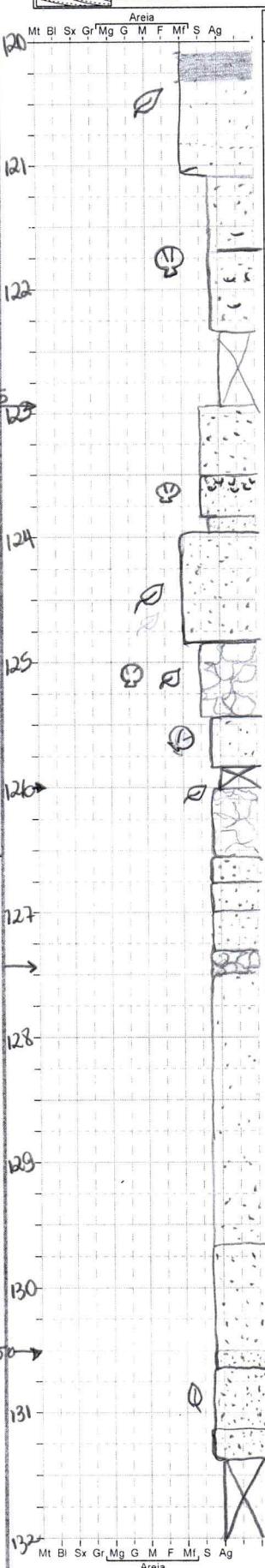
**COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 19/06  
Escala: 1:50



Areia Cód. Paleocorrentes/ Fotos/ Assoc. Fácies Estruturas Amostras de fácies

120,55  
1-AS-14-63

125 = 135/125  
GERAL

124,45  
1-AS-14-62

125

127,43  
1-AS-14-61  
135844

130,52  
1-AS-14-60

**DESCRÍÇÃO LITOLOGÍCA**

Arenito muito fino, macio, com fragmentos vegetais (de sementes?). Entre 120,1 e 120,3 é um nível carbonoso, concentrado muita m. o. 10 YR 6/3 → Pale brown

Lamito cinza claro, macio com bioclastos < 2 mm, concentrados no piso das basas. Nível de lamito carbonoso (~2m). No topo de superior tem tubo com comprimento de 4cm e largura de 4 mm, preenchido por outro sedimento GAP + 18 cm de amarito lítito.

Siltito cinza acartonhado, macio, deformado pelo perfurador. É + grosse em relações ao siltito anterior. Siltito macio com 1,5cm (0,2-0,5cm). Porções irregulares com bioclastos com recobrimento com moquemento amarelo.

10 YR 4/2 → dark g. brown.  
Amf, macio, cinza acartonhado escuro, fragmentos vegetais 2-3 mm.  
Siltito macio cinza e carbonoso claro com fragmentos vegetais e de conchas que brotaram, <3mm, moquamento amarelo. Bem friável, bloco, fragmentado. No topo, 40 cm não tem concha, só vegetal. Lamito cinza claro, macio com 1cm. 20 cm GAP. Cinzas quebradas 20,5cm.

Lamito blocoso com moquemento amarelado, bem quebrado com osídios quebrados, óxido no topo. No óxido tem um fragmento de concha.  
Lamito cinza bem claro, macio, com cimentação.  
Lamito cinza médio deformado pelo perfurador.  
Lamito cinza bem claro, macio.

15cm da borda exterior, ovularizada, com nódulos de 1-2cm ferroso.

Lamito macio fúsil, macio, 5Y7/1. 6cm fúsil.

Lamito amarelado quebrado em blocos, pliocôndicos (4x0,5 cm). Dá raro se é Pau prever vogão do fute munho.

Lamito amarelado e vermelhado, macio.  
Lamito cinza mais escuro com fragmentos vegetais dispersos. Deformado pelo perfurador.  
Lamito cinza médio, macio

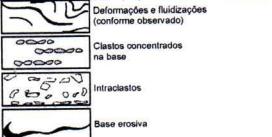
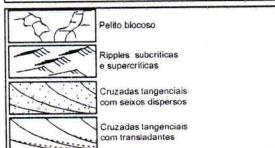
lun pord + 2 mm longimo +  
pormulda de per motriz + elon. Blunow  
mto no topo.

↓  
perova  
reticulo

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 13/06  
Escala: 1:50

Cx = 20  
133,50 - 136,50 = Cx 20

Cx = 21

Cx = 22

Cx = 23

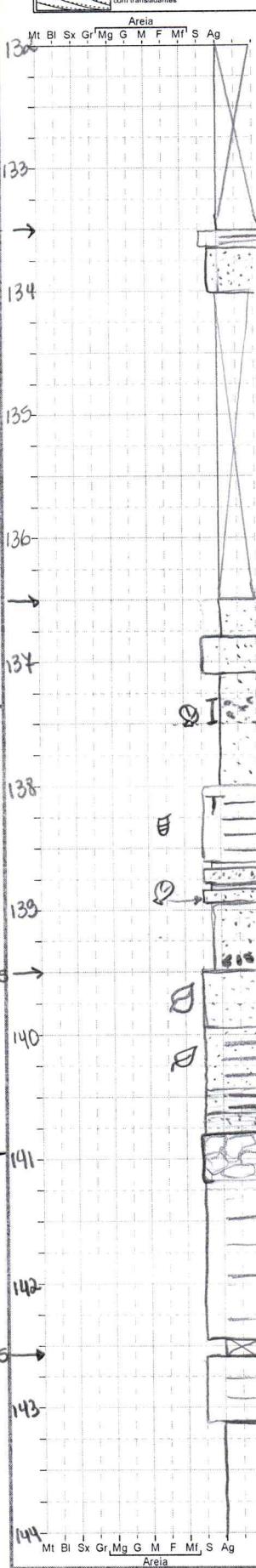
Cx = 24

Cx = 25

Cx = 26

Cx = 27

Cx = 28



Areia  
Mt Bl Sx Gr Mg G M F Mt S Ag  
Cód. Fácies  
Paleocorrentes/  
Estruturas  
Fotos/  
Amostras  
Assoc.  
de fácies

## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

0,83 nocha  
2,17 m G.A.P.

Heterolito blocoso, com comodas de lomito cinza escuro e siltito cinza.  
Argilito argiloso fúsil, macio, 5Y7/1.

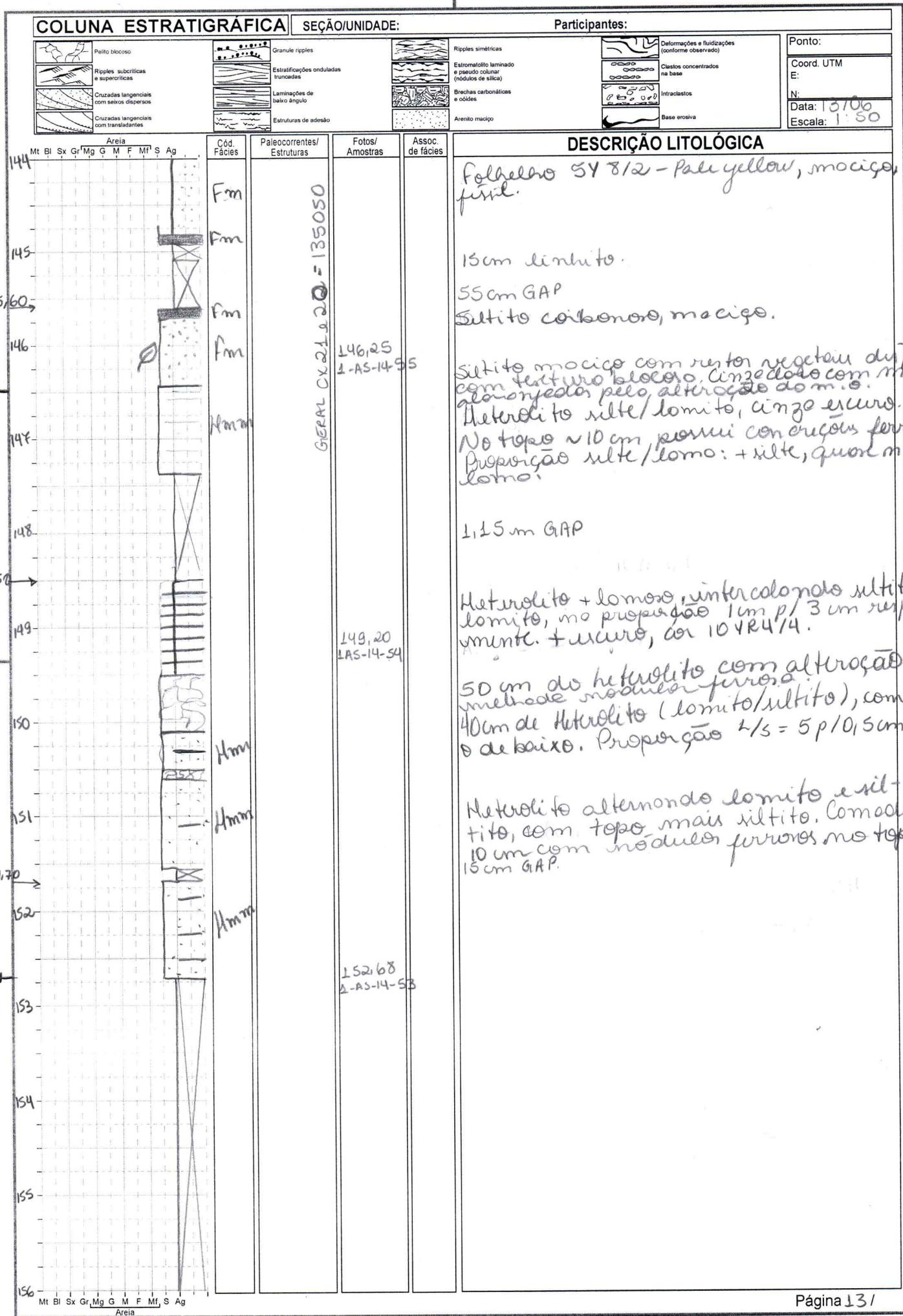
Argilito fúsil, sem fóssil - 5Y7/1.

Siltito macio carbonato, nível que concentra + mochos, concha.  
Argilito fúsil, macio, cor 5Y7/1 - light gray, parece o verdeido). Fóssil amarelado de concha ~1cm (bivalve com molde e contromoldo). Heterolito intercalado st amarelado e lomito, marrom escuro e marrom claro. St: arg. 10, 5: 1 cm. 1 cm burrow, vertical com ponto cui pede ~ 5: 1 cm. 1 cm burrow, vertical com ponto cui pede ~ 5: 1 cm. Argilito fúsil cinza, estéril, macio. Siltito amarelado, macio com ganchinhos. Lomito fúsil, 40 cm iniciais é escuro, com m.o. alvardo, e possui nódulos de 5 cm. Tudo é cinza claro.

Siltito macio marrom com riscas negras dispersas (areolado e irregular com ~0,5 cm). Heterolito com fragmentos vegetais dispersos (téc ~3 x 2,5 cm → folha quebrada). 30 cm heterolito com lomito overmoldado. Proporção 3:0,5 cm (st x lom).  
Siltito macio amarelado. Siltito cinza escuro, overmoldado, espesso?

13/06

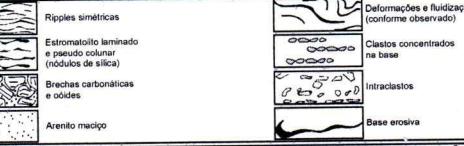
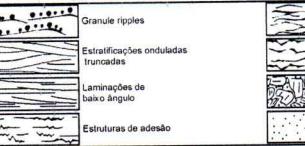
10 cm G.A.P.  
Heterolito alternado lomito e siltito, aumentando proporção de siltite para o topo. Tudo macio.



## **COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

**SEÇÃO/UNIDADE:**

## **Participantes:**



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 13/06  
Escala: 1:50

Areia

	Mt	Bl	Sx	Gr	Mg	G	M	F	Mf	S	Ag
156											
157											
158											
159											
160											
161											
162											
163											
164											
165											
166											
167											
168											

The diagram illustrates a vertical sequence of geological layers from top to bottom. At the top, a thin layer is labeled 'Areia' (sand). Below it is a thick, light-colored layer. A small circular mark with a dot is placed near the base of this layer. The next layer down is dark brown and contains a single leaf-shaped fossil. A horizontal dashed line is drawn across this layer. The following layer is light brown and contains a small circular mark with a dot. The next layer is dark brown and contains a horizontal dashed line. The bottom-most layer is light brown and contains several small circular marks with dots.

Cód. áries	Paleocorrentes/ Estruturas	Fotos/ Amostras	Assoc. de fácies
mm			
FL		GERAL 22223 = 134959 163,50 A-AS-14-52	
f?			
frm		164,10 A-AS-14-51	

## **DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

Heterolito alternado entre lomito e sulfito, com fragmentos vegetais no comodo de multifacetados e marcas de raiz. Topo sulfitado com tubos de 2 a 5 mm de 3 cm de espessura, tubos curvados, preenchidos por material escuro, lomos e P/ o topo da-mento a 7. de sulfito em relação à lomito.

hamito luminoso com módulos deslocados  
e iluminação. ~0,8cm

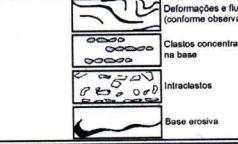
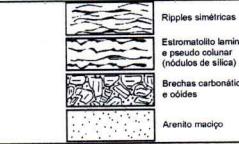
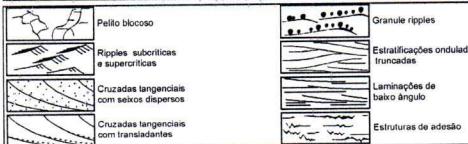
Metrolito alternando entre lomito e sulfito, marron tornando-se + argiloso p/ o topo. Lomitos argilosos, totalmente desgregados, paucam coquinhos. - milimétricos. L. atubulares

Amf com nódulos, esverdeado, brilhante.  
Sulito macio, GLEY (cor só citada anteriormente).

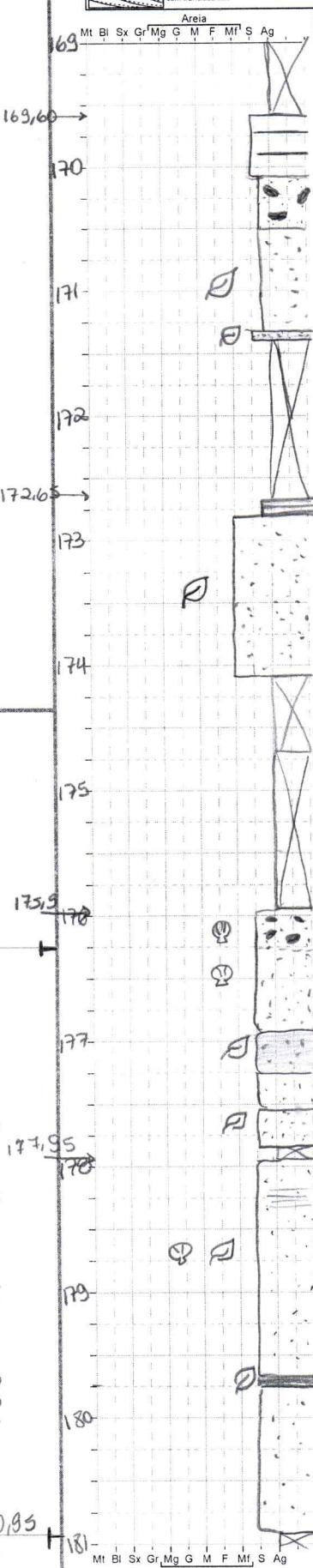
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data: 13/06  
Escala: 1:50



## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

95 GAP.

Alternância de camadas de siltite (+ espessas) e argila (+ finas) na proporção 4:1 cm.

Lamito argiloso com fragmento de rochas cor-de-rosa (até 3,5cm) pretos dispersos, são intrusões.

Lamito macio com rato vegetal dissoluções.

Lamito macio com rato vegetal dissoluções (ramentes e folhas?), cantanhe amarelado.

Tope grande p/ argila clara.

Siltito cinza médio, macio, com fragmentos carbonosos e m.s. dissolvidos preenchidos por siltito cinza claro. Tudo diagonal com 3cm de prof e 6-8mm diâmetro.

GAP ± 1,35m.

Lamito argiloso deformado, com cor cinza-pálida, dominado.

Arenito mf, macio, com fragmentos vegetais (possivelmente um elemento).

Malas bifurcadas (raízes), etem pequenas iluminações (gume?) com iâmbar, com buracos, até 4mm e 1mm, flagras, 1,6m comprimento.

GAP amortre limítico.

Durante long=0,6cm

difuminado no comodo.

GAP

Porção superior (~35cm) avermelhado, com módulo de cimentação por ferro (2,5-5cm).

Siltito macio, cinza claro, com bioclastos dispersos, quebrados, brancos, <1cm.

Siltito macio com concentração de m.o e fragmentos carbonosos.

Siltito macio, cinza amarelado.

Siltito morgueada com manchas avermelhadas, macio. Rato vegetal oxidado (eloximônito). jader.

Siltito macio, com bioclastos de rato vegetal dispersos, com maior concentração para o topo. Bioclastos brancos com até 1cm, dispersos e por vez concentrados em níveis, tudo quebrado. Os fragmentos vegetais são oxidados, alongados, bem menor frequente que os anterior.

Siltito, folheto carbonoso fino.

Siltito macio, amarelado.

GAP limítico.

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:

	Péito blocoso		Ripples subcriticas e supercriticas		Estratifações onduladas truncadas		Ripples simétricas		Extromotato laminado e pseudo colunar (nódulos de silício)		Brochas carbonáticas e oóides		Deformações e fluidizações (conforme observado)	Ponto:
	Cruzadas tangenciais com setos dispersos		Laminações de baixo ângulo		Estruturas de adesão		Arenito macio		Clastos concentrados na base		Intraclastos		Base erosiva	Coord. UTM E: N: Data: 13/06 Escala: 1:50
	Cruzadas tangenciais com transladantes													

181

182

183

184,05

185

186

187

188

189

190

191

192

193

Areia	Mt	Bl	Sx	Gr	Mg	G	M	F	Mf	S	Ag
-------	----	----	----	----	----	---	---	---	----	---	----

Cód.

Fácies

Paleocorrentes/  
EstruturasFotos/  
AmostrasAssoc.  
de fácies

## DESCRÍÇÃO LITOLOGÍCA

181,30  
I-AS-14-42

Siltito com lam. incipiente, com matério orgânico. Cinza escuro.

Nível com folhelho carbonoso, fútil.

Nível vermelho.

184,30  
I-AS-14-41

Siltito macio 2.5YR 5/2, amarelo. Topo + blocos, modular, amarelo. P?

Linha amostra. É difícil marcar o GAP, + recho 15cm GAP.

Siltito dominado no 1.2-30cm com concentração de m.º no topo e vai ficando amarelo e com m.º p/ o topo.

Siltito macio cinza claro.

1.2-20cm tem concentração de fragm. carb., e cin-30clar.

Siltito macio, cinza e verdeado, último 30cm ele fico mais escuro e fumelar ( $<1.6\text{cm}$ ).

Siltito macio 2.5Y 6/3 com fragmentos de conchas (bioclastos) dispersos 1-4mm brancos. Nível com concentração de bioclastos.

Siltito macio (2.5Y 6/3), blocos com preenchimento cinza escuro.

No último 50cm tem cutículas, blocos, fragm. carbonosos, cor va-riando 5YR 4/2.

SSum GAP

Siltito macio amarelo.

Nível granular, cinza escuro, com manchas amareladas (1-10mm) de motus org.

+ para de GRES p/ amarelo, blocos, com silex ricos.

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:

Palto bloco	Granule ripples	Ripples simétricas	Deformações e fluidizações (conforme observado)	Ponto:
Ripples subcriticas e supercriticas	Estratificações onduladas truncadas	Estratificado laminado e pseudo colunar (nódulos de silício)	Claustros concentrados na base	Coord. UTM E: N:
Cruzadas tangenciais com sexos depressos	Laminações de baixo ângulo	Brechas carbonáticas e côides	Intradastros	Data: 10/06
Cruzadas tangenciais com transladantes	Estruturas de adesão	Arenito maciço	Base erosiva	Escala: 1:50

195  
193,95  
194  
195  
196,20  
96,45  
197  
198,20  
199  
200  
201  
201,25  
202  
203  
203,85  
204  
205

Mt Bl Sx Gr Mg G M F Mt S Ag  
Área

Cód.  
FáciesPaleocorrentes/  
EstruturasFotos/  
AmostrasAssoc.  
de fácies

## DESCRÍÇÃO LITOLÓGICA

Fm

193,75  
L-AS-14-38

\* heterolito wave no amortecedor.  
Siltito maciço GLEY 1 7/1.

Mismo siltito arrumilhado, com intercalamento cinza.

Siltito cinza acortanhado.  
Siltito arrumilhado, placoídal. Cor 2.5 YR 3/3. Brilhoso, com infiltração (injeção) de st cloro.

Siltito cartonho clare, maciço, que fica brilhoso  
nos ult títulos (10cm).

Siltito maciço amarelado.  
Lamito maciço, cinza médio, + argilos que  
fazem anterior. Argilo infiltração, st  
cloro (?) que é sólido

Siltito maciço cinza clare (GEYL 1 7/1).

Fm

3m

ou dispersos?  
Intradastros tomando siltito entre níveis (?)  
e grânulos dispersos por todo o comedo.  
Inthoclastos pretos (+carbonatos) e cimentação p/  
“algo” preto. São subarranhaçados.  
Siltito maciço carbonato, predominante %. de  
vn. o p/ topo. Vai de cinza escuro a  
amarelado.

Siltito maciço amarelado.

\* É heterolito wave no amortecedor.

Lamito.

Siltito maciço cinza escuro, com fragmentos  
carbonáticos dispersos.  
10cm GAP.

Siltito maciço, cinza amarronzado.

Lamito cinza médio, com fragmentos carboná-  
tos dispersos. + cloro que corta o obaia.

M.O. fragmentado, disperso. Troncos?

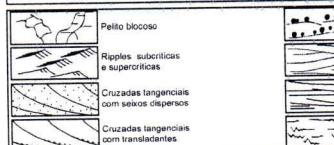
Lamito cinza escuro, com bastante m. o.  
disperso e pontas alaranjadas. 10YR 3/1 very  
dark grey.  
Lamito maciço, arrumilhado, com  
m. o. disperso.

Grado de amf p/ siltito.

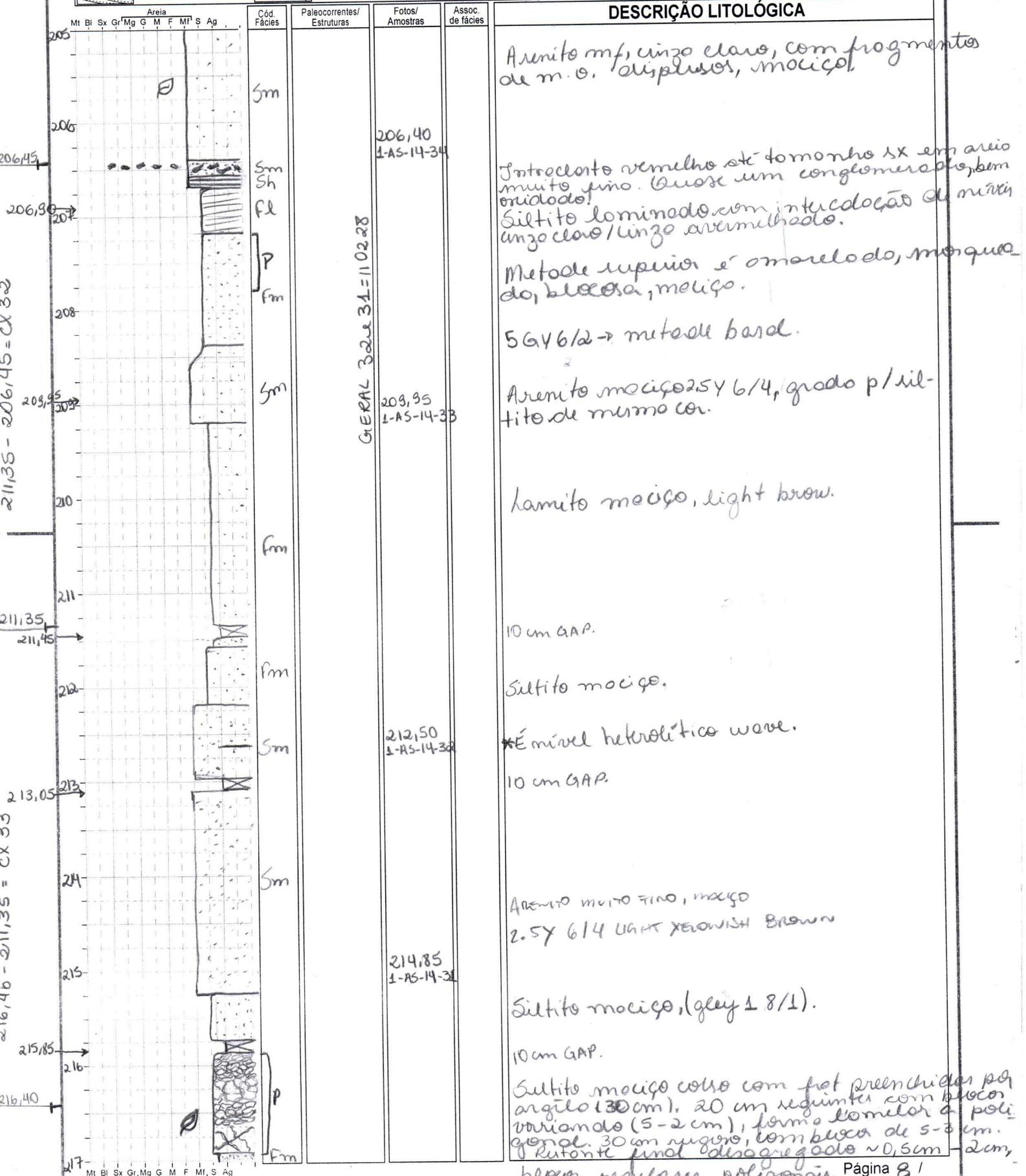
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

## SEÇÃO/UNIDADE:

## Participants:



Ponto:  
Coord. UTM:  
E:  
N:  
Data: 10/06  
Escala:

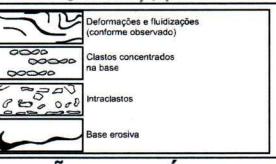
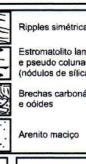
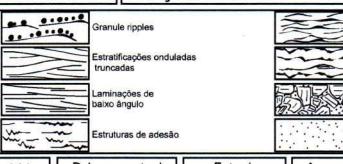
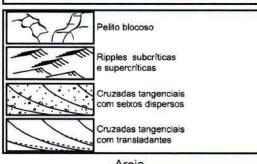




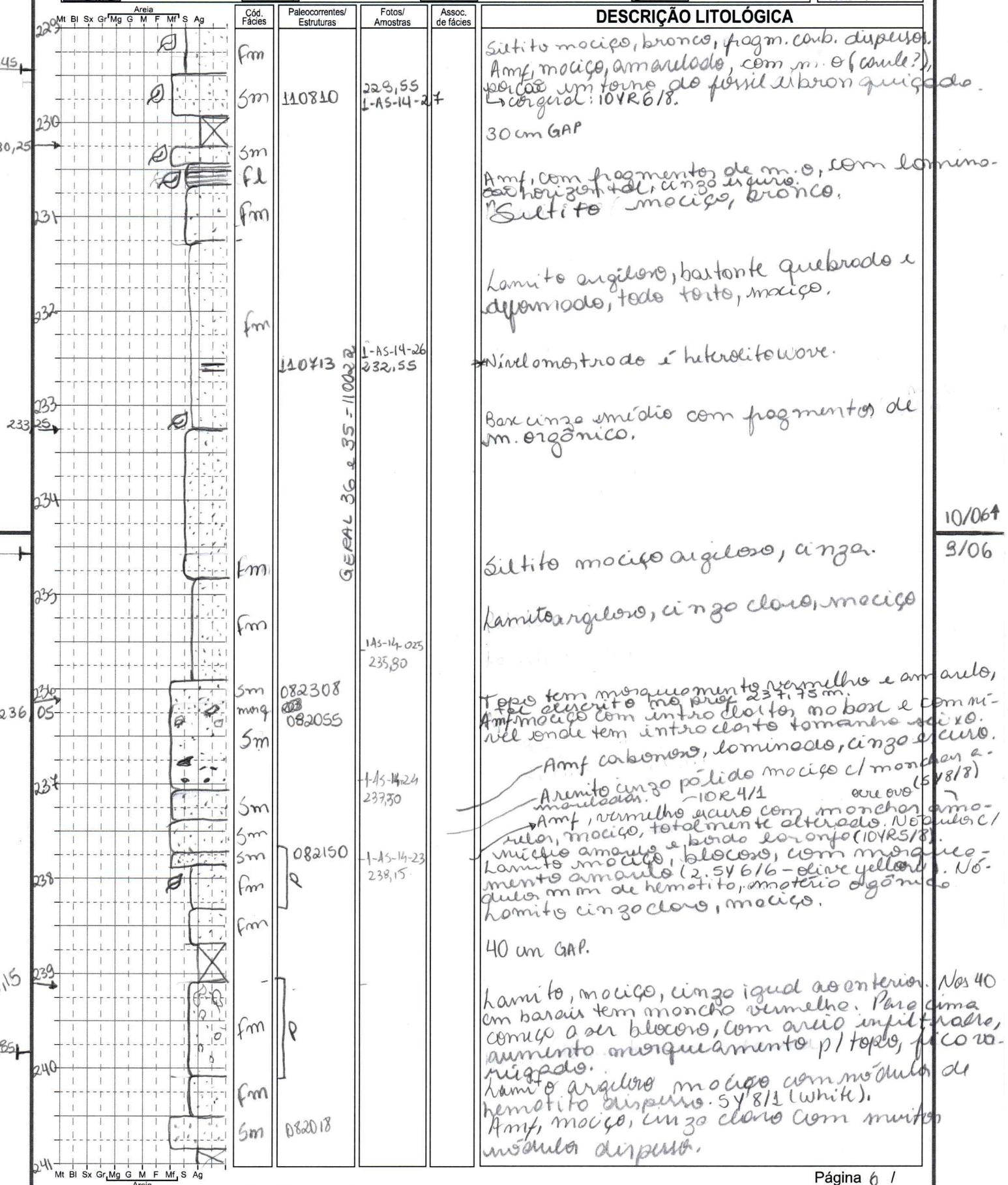
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes: Cami, Ad



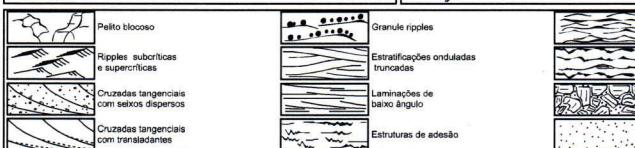
Ponto:  
Coord. UTM E: N:  
Data: 10/106 Escala: 1:50



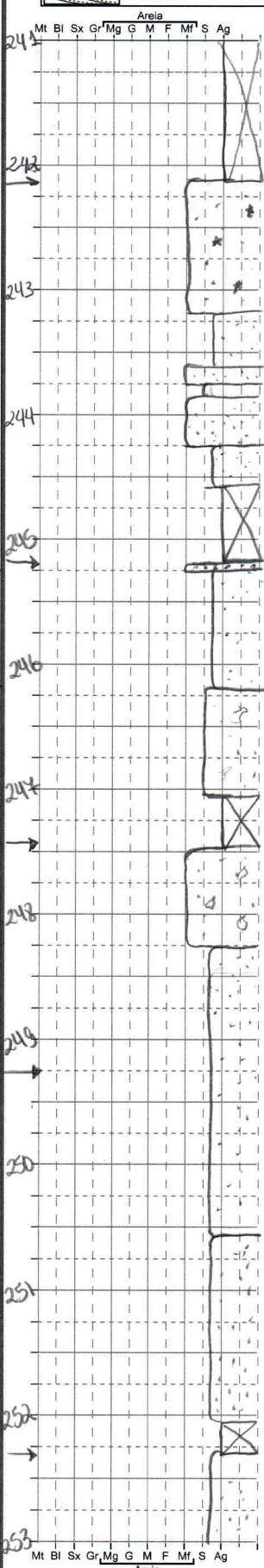
## **COLUNA ESTRATIGRÁFICA**

**SEÇÃO/UNIDADE:**

## **Participantes:**



Ponto:
Coord. UTM
E:
N:
Data:
Escala:



Cód. Fácies	Paleocorrentes/ Estruturas	Fotos/ Amostras	Assoc. de fácies
		IAS-14-022 242,00	
Fm			
Fm			
Sm			
Fm			
Sm	081905	IAS-14-021 244,00	
Fm			
Sm			
Fm			
Fm			
Sm	081904	IAS-14-020 248,50	
Fm			
	081642		
Fm			
Fm		IAS-14-019 251,50	
Fm			

## **DESCRICAÇÃO LITOLÓGICA**

GAP 1,35 m

\* Colho 24215 - 23910  
 Amf. moçizo, bem selec., com raros módulos de hematito dispersos. 548½ - Pale yellow.  
 Lamito moçizo, 2. 547½ - Pale brown.  
 Aremito moçizo, 2. 547½ - light gray.  
 Siltito cinzão 548½.  
 Amf. moçizo, sem módulos. 548½ - Pale yellow  
 Mesma fm anterior.

55cm GAP  
Anf com módulos de hematita, moci 49.

Lamito arqueloso, macizo, cor SY6/2 light Oliv gray.  
Siltito cinza, macizo. Metade é amarelo  
pardo SY 8/3 na base, e o topo é amarelo  
SY 7/1 (cinza claro). Não é laminado, m  
e blocos.  
38 cm GAP.

Arenito m<sup>f</sup>, amarilloado, macizo, com  
modulor mm de hematita. Cor heterogêneo  
amaruloso.

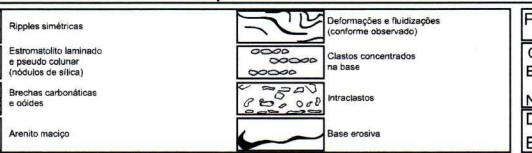
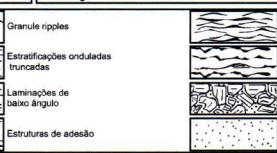
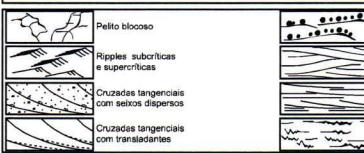
$54 \frac{1}{4}$  = Pale yellow  
from *to mocco*, *bilocoso*,

25cm GRAP.

## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data:  
Escala:

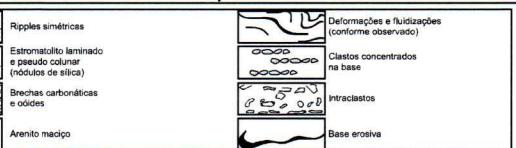
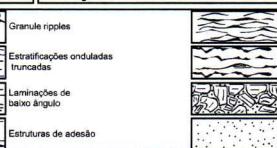
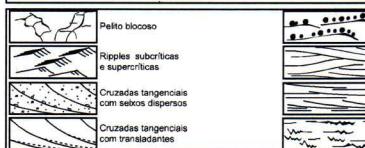
Altura (m)	Areia	Mt	Bl	Sx	Gr	Mg	G	M	F	Mt'	S	Ag	Cód.	Fácies	Paleocorrentes/ Estruturas	Fotos/ Amostras	Assoc. de fácies	Descrição Litológica						
256,3 - 251,25 = CX 40																								
253																								
254																								
255																								
256																								
257																								
258																								
258,40 →																								
259																								
260																								
261,3																								
261,45 →																								
262																								
263																								
264																								
264,90 →																								
265																								
261,30 - 264,30 = CX 42																								
		Mt	Bl	Sx	Gr	Mg	G	M	F	Mt'	S	Ag												

Nível + gasto com monchões amarelos de enxope. Folhelho fino cinza, com concentração de monchões e níveis com este 3 mm. Os níveis com m. o. um nível com este 3 mm + olitontal, não laminar e pardo.

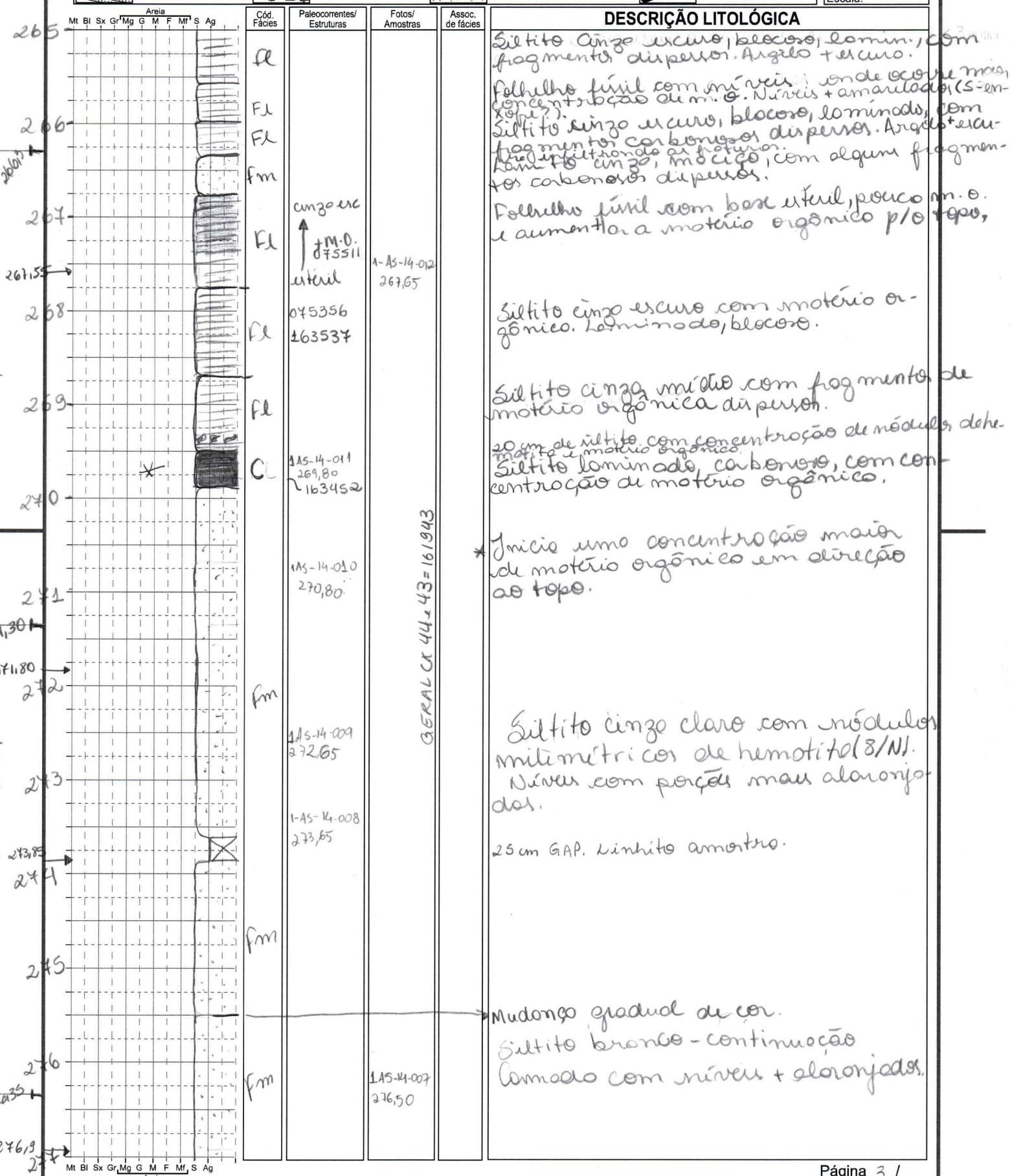
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

Participantes:



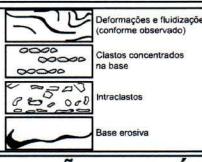
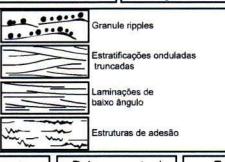
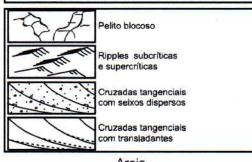
Ponto:
Coord. UTM
E:
N:
Data:
Escala:



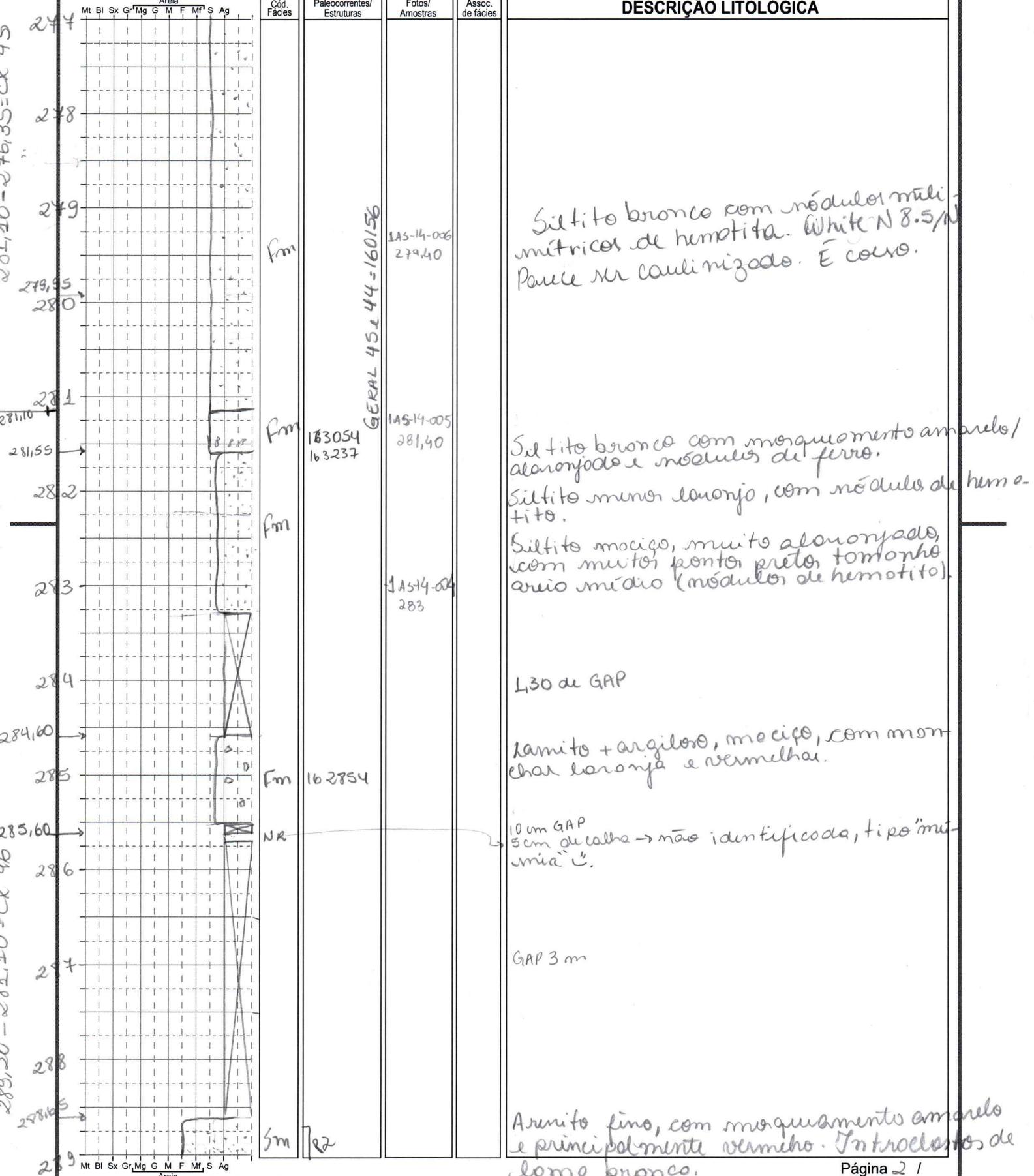
## COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

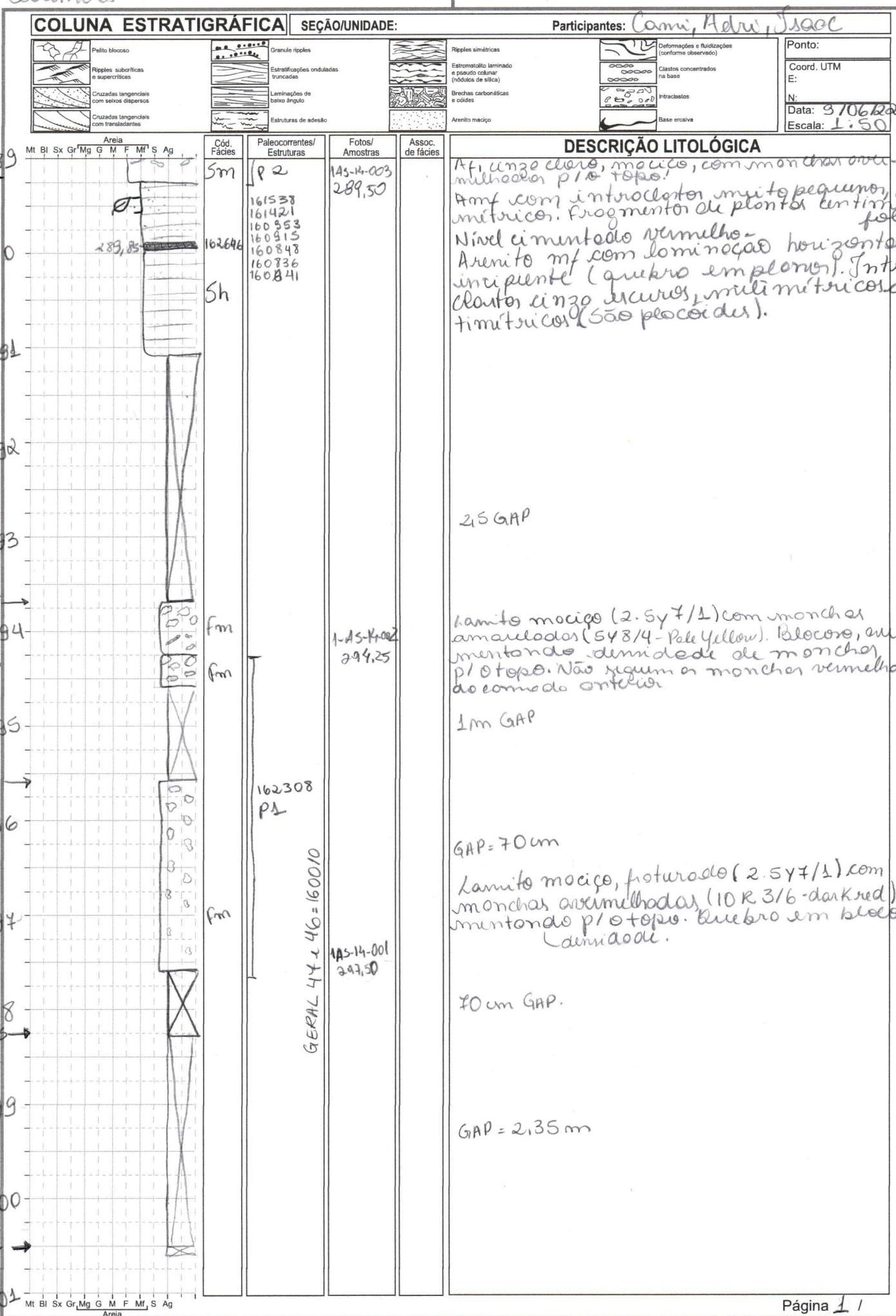
Participantes:



Ponto:  
Coord. UTM  
E:  
N:  
Data:  
Escala:



Alto Solimões



**ANEXO B – LAUDOS DE ANÁLISE CHN**



Data: 20/10/2022 15:08

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-01-André	10,07	2,02	0,39
43641-SI-01-André	10,21	2,02	0,39



Data: 20/10/2022 15:22

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-02-André	8,46	1,95	0,33
43641-SI-02-André	8,74	1,90	0,32



Data: 21/10/2022 08:28

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-03-André	7,73	1,99	0,33
43641-SI-03-André	7,93	2,06	0,32



Data: 21/10/2022 08:33

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-04-André	5,87	1,62	0,29
43641-SI-04-André	5,61	1,62	0,25



Data: 21/10/2022 08:42

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-05-André	15,23	3,06	0,48
43641-SI-05-André	15,46	2,95	0,46



Data: 21/10/2022 08:48

Analizado por: WILTON LIMA

Amostra	%Carbono	%Hidrogênio	%Nitrogênio
43641-SI-06-André	18,60	2,94	0,52
43641-SI-06-André	18,39	2,89	0,57