

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GUILHERME MADRID PEREIRA

ANÁLISE QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE UMA PORÇÃO DO GRUPO GUARITAS

**CAÇAPAVA DO SUL
2015**

GUILHERME MADRID PEREIRA

ANÁLISE QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE UMA PORÇÃO DO GRUPO GUARITAS

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, para
obtenção do Título de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

**CAÇAPAVA DO SUL
2015**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

P436a

PEREIRA, GUILHERME MADRID
ANÁLISE QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE UMA PORÇÃO DO GRUPO
GUARITAS / GUILHERME MADRID PEREIRA.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação) -
Universidade Federal do Pampa, BACHARELADO EM GEOLOGIA,
2015.

"Orientação: FELIPE GUADAGNIN".

1. Análise Químioestratigráfica. 2. Depósitos Flúvio-
Eólicos. 3. Formação Pedra Pintada. 4. Bacia do Camaquã
I. Título.

GUILHERME MADRID PEREIRA

ANÁLISE QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE UMA PORÇÃO DO GRUPO GUARITAS

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito obrigatório para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 08 de dezembro de
2015.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Felipe Guadagnin
Orientador
Universidade Federal do Pampa - Unipampa

Prof. Dr. Felipe Caron
Universidade Federal do Pampa - Unipampa

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
Universidade Federal do Pampa – Unipampa

Dedico este trabalho aos meus avós paternos e maternos, Nelmo Bazilio Dias Pereira e Crecilia Pereira de Pereira, Pedro Dirceu Madrid e Honorina Peres Madrid "*In Memoriam*", pela existência de meus pais, Jose Itagibá Pereira de Pereira e Silvina Terezinha Madrid Pereira, e a minha irmã Darcielle Madrid Pereira pois sem eles este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

AGRADECIMENTOS

Em todos os textos gerados neste trabalho, sem dúvida este tem uma atenção especial. Neste período, grandes conquistas alcancei e hoje mais uma fase da minha vida está chegando ao final e muitos compartilharam comigo esta caminhada. Portanto, agradecer é reconhecer o apoio e demonstrar seu valor, especialmente quando as pessoas, não tem obrigação nenhuma de nos ajudar, mas contrariando isso estão ali para te estender a mão. Uso este pequeno espaço para agradecer aos que de alguma forma me ajudaram na geração deste trabalho.

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

À minha família, em especial a meu pai Itagiba, minha mãe Silvina, minha irmã Darcielle e meus avós Nelmo Bazilio Dias Pereira e Crecilia Pereira de Pereira, Pedro Dirceu Madrid e Honorina Peres Madrid "*In Memoriam*", pela vida, amor, incentivo, compreensão e toda dedicação, que mesmo nas horas difíceis sempre estiveram ali para me ampararem e me dando forças para seguir em frente como fortes pilares que me sustentaram até aqui. Eles, cada um de sua maneira, me ensinaram e ensinam muita coisa. A minha família de coração, Ibiritê, Marta e Janaina Beck, Pedro Ubiracy, Dalva, Brenda e Pedro Ferreira e Maria Alice Santos, obrigado pela atenção, cumplicidade, ensinamentos e carinho incondicionais dedicados à minha pessoa, tanto nos momentos comemorativos como nos tumultuados. Amo vocês!

Aos meus amigos por todo apoio e cumplicidade. Porque mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida, Brenda Ferreira, Bibiana Freitas, Franciele Vivian, Filipi Godinho, Gustavo Ragagnin, Johnatan Garcia, Maríndia Kneipp, Moises Oliveira, Nicolás Chavez e Thais Anversa, cito estes por serem mais que amigos, mas irmãos de longa data, mesmo sabendo que a lista seria grande preferi citar o nome de cada um, e lembrar que a partir deles está lista se ramifica e foi através deles que conheci pessoas sensacionais. A os amigos que a universidade me proporcionou conhecer, que me acompanharam desde o início ou durante o caminho aos quais aprendi a amar e construir laços eternos em especial, Ana Paula Tavares, André Gaino, Bruno Mendes, Everton Rezende, Hamilton Reis, João Pedro Santana, Maiara Bettinelli, Maiara Lautert, Marly Silva, Samuel Correa,

Sergio Maturana, Victor Hugo Brito e Vinicius Silva. Obrigado por todos os momentos em que fomos estudiosos, brincalhões e cúmplices. Obrigado pela paciência, pelo sorriso, pelo abraço, pela mão que sempre se estendia quando eu precisava. Esta caminhada não seria a mesma sem vocês.

Aos colegas da 1ª Turma da Geologia da Unipampa, foram muitos momentos juntos, dividimos alegrias, brigas e frustrações, compartilhando experiências e aprendizados que somente a primeira de um curso pode saber. Obrigado por tudo! Agradeço a oportunidade de poder dividir esta etapa com vocês.

Aos docentes do curso de Geologia, pela convivência harmoniosa, pelas trocas de conhecimento e experiências que foram tão importantes na minha vida acadêmica e pessoal.

Aos técnicos administrativos em educação, principalmente a Liara Londero, Leila Dias e Katiúcia Pletiskaitz, por serem mais que orientadoras no meu período de bolsista, mas sim pessoas que me dedicaram todo o seu carinho e atenção, me tratando não como um bolsista, mas sim como um filho. Há vocês meu muito obrigado.

Ao Laboratório de Análise de Sinais Geofísicos – LASG, ao Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios – LATRAM na pessoa da Angela Fleck e ao Laboratório de Geociências, pelos equipamentos que auxiliaram na realização deste trabalho.

Aos meus amigos Vinicius Silva e a Sissa Kumaira, pela ajuda nos trabalhos de campo, para que todos os dados fossem coletados da melhor maneira possível e tornando-o mais divertido na companhia de vocês.

Ao meu orientador, prof. Dr. Felipe Guadagnin, que acreditou em mim; que ouviu pacientemente as minhas considerações, partilhando comigo as suas ideias, conhecimento e experiências e que sempre me motivou. Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional e minha gratidão pela sua amizade, por ser um profissional extremamente qualificado e pela forma humana que conduziu minha orientação. Agradeço imensamente por ter tido a oportunidade de conviver e aprender contigo.

Enfim, quero agradecer a Geologia da Universidade Federal do Pampa por me proporcionar experiências inigualáveis, enormes aprendizados e amizades incríveis. Tudo que vivi e aprendi aqui permitiram minha formação profissional e um enorme enriquecimento pessoal. “ Não pelos frutos colhidos, mas pelo terreno que

preparam e as sementes que lançaram; não pelos ensinamentos recebidos, mas pelas transformações que proporcionaram em minha mente e coração. ”

A todos vocês, meu carinho, respeito e gratidão! Obrigado!

“Ninguna fuerza abatirá tus sueños,
porque ellos se nutren con su propia luz.
Se alimentan de su propia pasión.”

Atahualpa Yupanqui

RESUMO

A análise estratigráfica de seqüências sedimentares pode ser realizada por meio de informações obtidas em superfície (afloramentos) e/ou por meio de testemunhos de sondagem ou métodos geofísicos indiretos, em subsuperfície. Uma das ferramentas mais utilizadas para auxiliar na definição das variações laterais e verticais das propriedades físicas e químicas de seqüências sedimentares é a perfilagem geofísica e geoquímica. Depósitos fluvio-eólicos correspondem a bons reservatórios de água e hidrocarbonetos e apresentam heterogeneidades que podem ocorrer em diversas escalas, desde a escala microscópica até a escala de reservatório. No presente trabalho será utilizada a análise estratigráfica de depósitos fluvio-eólicos utilizando o método quimioestratigráfico para entender a heterogeneidade estratigráfica em um perfil vertical de fácies. A área de estudo corresponde às Formações Pedra Pintada e Varzinha do Grupo Guaritas, Supergrupo Camaquã. Esta unidade está exposta na região oeste do município de Santana da Boa Vista, na região da Serra do Apertado. Para atingir os objetivos deste trabalho foram utilizados métodos de análise faciológica e quimioestratigráfica, com aquisição de seções verticais de fácies e análises geoquímicas. As análises geoquímicas foram realizadas utilizando equipamento de Fluorescência de Raios-X, que mede o comprimento de onda característico que é emitido da formação quando esta é bombardeada por raios-X. Após a aquisição de dados, as informações foram integradas em fácies e associações de fácies e subsequente correlação e estabelecimento de perfis verticais compostos. A ferramenta quimioestratigráfica associada a análise faciológica de campo, integradas em um modelo 1D permitiram definir as unidades quimioestratigráficas dos depósitos flúvio-eólicos estudados, auxiliando na delimitação das unidades estratigráficas e na modelagem de análogos de reservatórios.

Palavras-Chave: Análise Quimioestratigráfica, Depósitos Flúvio-Eólicos, Formação Pedra Pintada, Bacia do Camaquã.

ABSTRACT

Stratigraphic analysis of sedimentary sequences can be made by surface outcrop information and/or by core descriptions or indirect geophysical methods in the subsurface environments. One of the main tools used to define variations in the lateral and vertical physical and chemical properties is geophysical and geochemical logs. Fluvial and eolian deposits are good water and hydrocarbon reservoirs and display varying scales of heterogeneity, from microscopic to reservoir scales. In the present work, it is presented a stratigraphic analysis of fluvial and eolian deposits using chemostratigraphy to unravel the stratigraphic heterogeneities in a vertical facies log. The study area corresponds to the Pedra Pintada and Varzinha Formations of Guaritas Group, Camaquã Supergroup. This unit is exposed in the western region of Santana da Boa Vista town, in the Serra do Apertado region. To reach the goals it was used facies analysis and chemostratigraphic methods, with the acquisition of vertical sections and geochemical analysis. The geochemical analysis were acquired using a X-ray Fluorescence equipment, which measures the characteristic wave length that is emitted from the formation when it is bombarded by X-rays. After data acquisition, information were integrated in facies and facies associations and subsequently correlated and establishment of composed vertical logs. Chemostratigraphy associated with facies analysis, integrated in a 1D model allowed the definition of the chemostratigraphic units of the fluvial and eolian deposits, helping in delimiting stratigraphic units and in the modeling of analog reservoirs.

Keywords: Chemostratigraphic Analysis, Fluvial and Eolian Deposits, Pedra Pintada Formation, Camaquã Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo, em a) mapa de situação, b) mapa de localização e c) mapa de detalhe.	22
Figura 2 – Fotografia panorâmica da região da Serra do Apertado. No plano principal da fotografia é mostrada a Pedra Pintada, unidade geomorfológica que dá nome a unidade litoestratigráfica (Formação Pedra Pintada).	23
Figura 3 – Fotografia panorâmica da região estudada.	23
Figura 4 – Mapa geológico da Bacia do Camaquã e áreas adjacentes. 1: Batólito Pelotas; 2: Batólito Encruzilhada do Sul; 3: Serra das Encantadas; 4: Grupo Guaritas; 5: Alto de Caçapava do Sul.	25
Figura 5 – Carta estratigráfica do Grupo Guaritas (segundo ALMEIDA et al., 2009).	27
Figura 6 – a) Projeção das atitudes do acamamento medidas em campo em 2 perfis seccionando a área de estudo. b) A espessura entre a medida mais elevada no perfil P1 abaixo (linha verde) e a superfície de contato entre as formações Pedra Pintada e Varzinha (linha vermelha) corresponde a 40m. c) A espessura entre a superfície de contato entre as formações Pedra Pintada e Varzinha (linha verde) e a medida menos elevada no perfil P2 acima (linha vermelha) corresponde a 7,6m, totalizando 47,6m encobertos.	31
Figura 7 – Modelo para levantamento de perfil colunar em campo.	32
Figura 8 – Espectrômetro de dispersão de comprimento de onda WDS (a) e de dispersão de energia EDS (b).	35
Figura 9 – Levantamento dos perfis quimioestratigráficos com o equipamento de FRXp.	36
Figura 10 – Aquisição dos dados sendo realizada ao fundo, seguindo os perfis verticais, realizando medidas a cada 2 metros.	37
Figura 11 – Espectrômetro portátil de fluorescência de raios-X da Marca BRUKER, série S1 TURBO SD.	38
Figura 12 – a) Mapa de localização dos perfis 1 e 2, b) Mapa de pontos do P1 e c) Mapa de pontos do P2.	41
Figura 13 – Perfil vertical 1 – P1.	44

Figura 14 – Associação de Fácies do P1, onde: a) Fácies Sm(Ca)s, interpretada como Sistema fluvial entrelaçado; b) Fácies Sfm(Ca) e c) Fácies Sfm(p), segundo o código de fácies da tabela 2 interpretadas como Sistema de dunas eólicas;	45
Figura 15 – Perfil vertical 2 – P2.....	47
Figura 16 – Associação de Fácies do P2, onde: a) Fácies Gp(m), b) Fácies Go(m), c) Fácies Smg(p), d) Fácies Smg(m), e) Fácies Sfm(Ca) e f) Fácies Sfm(Cab), segundo o código de fácies da tabela 2, interpretadas como Sistema de leques aluviais distais.	48
Figura 17 – Diagramas de correlação elementar SiO ₂ versus Óxidos do P1.	49
Figura 18 – Diagramas de correlação elementar SiO ₂ versus Óxidos do P2.	50
Figura 19 – Conceitos de acurácia e precisão, a) baixa acurácia e precisão; b) alta precisão e baixa acurácia; c) boa acurácia e baixa precisão e d) excelente acurácia e precisão.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fácies identificadas na área de estudo.....	42
Tabela 2 – Associações de Fácies	43
Tabela 3 – Resultado da análise estatística do Perfil 1	43
Tabela 4 – Resultado da análise estatística do Perfil 2	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC – Bacia do Camaquã

DRX – Difração de Raio X

EDS – Método de Dispersão de Energia

EMP – *Empirical*

ESRG – Escudo Sul Riograndense

FP – *Fundamental Parameters*

FRX – Fluorescência de Raio X

FRXp – Fluorescência de Raio X Portátil

GPS – *Global Positioning System*

ICP-AES – Espectrometria de Emissão Atômica

ICP-MS – *Inductively coupled plasma mass spectrometry*

ICS – Comissão Internacional de Estratigrafia

ID – Identificação

IUGS – *International Union of Geological Sciences*

LA-ICPMS – Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer

LATRAM – Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

NE – Nordeste

NNE – Nor-nordeste

ppm – Partes por milhão

S0 – Acamamento Sedimentar

SAD 69 – *South American Datum 1969*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SSW – Su-sudoeste

SW – Sudoeste

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

WDS – Método de Dispersão de Comprimento de Onda

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Área de estudo	21
2 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 Etapa Pré-Campo	28
3.1.1 Estudo bibliográfico.....	28
3.1.2 Preparação para as análises em campo	28
3.2 Etapa de Campo.....	28
3.2.1 Análise faciológica.....	29
3.2.2 Análise quimioestratigráfica	33
3.2.2.1 Ferramentas de análise quimioestratigráficas	33
3.2.2.1.1 Fluorescência de raios-X (FRX).....	33
3.2.2.1.2 Fluorescência de raio-X portátil (FRXp).....	35
3.2.3 Procedimentos empregados no presente trabalho.....	36
3.3 Organização do Banco de Dados	39
4 RESULTADOS	40
4.1 Análise Faciológica.....	40
4.2 Levantamento Espectrométrico de Fluorescência de Raio-X	42
4.2.1 Análise estatística do perfil 1 (P1).....	45
4.2.2 Análise estatística do perfil 2 (P2).....	46
4.3 Análise Quimioestratigráfica	51
5 DISCUSSÃO	53
5.1 Acurácia e Precisão	53
5.2 Quimioestratigrafia.....	55
5.3 Diagramas de Correlação Elementar SiO ₂ <i>versus</i> Óxidos	55

6 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
ANEXOS	64
ANEXO I - Resultados das medidas de FRX portátil.	65
ANEXO II - Análise estatística do perfil 1 (P1).....	67
ANEXO III - Análise estatística do perfil 2 (P2).....	69
ANEXO IV - Perfil quimioestratigráfico compostos (Elementos Maiores).	70
ANEXO V - Perfil quimioestratigráfico compostos (Elementos Maiores Normalizados por Alumínio).....	71
ANEXO VI - Perfil quimioestratigráfico compostos (Log da Razão de Elementos Maiores Normalizados por Alumínio).....	72

1 INTRODUÇÃO

A Químioestratigrafia consiste na análise e subdivisão do registro estratigráfico com base na composição química das rochas sedimentares (RAMKUMAR, 2015). Segundo Ramkumar (2015), com base nos métodos estratigráficos definidos pela Subcomissão de Estratigrafia (ICS) da União Internacional de Geociências (IUGS), a Químioestratigrafia pode ser definida como o *estudo da variabilidade espaço-tempo na composição química das rochas sedimentares, com vista a estabelecer unidades mapeáveis de rochas, definidas pela composição química elementar, razões geoquímicas e proporções de elementos em óxidos e/ou uma combinação destes*. A subdivisão do registro estratigráfico com base em composição química das rochas tem vantagens e desvantagens em relação aos métodos tradicionais, baseados em composição litológica e/ou fóssilífera (litoestratigrafia e bioestratigrafia, respectivamente) ou em métodos modernos, baseados em superfícies chave (discordâncias e superfícies de inundação e regressão, entre outras). As principais vantagens são: i) análises geoquímicas estão em rotina em diversos laboratórios ao redor do globo utilizando diversas ferramentas de análise; ii) o tempo de análise é relativamente pequeno; iii) o custo das análises é relativamente baixo; iv) os dados obtidos são precisos e acurados (dentro do intervalo de confiança) quando os equipamentos de análise estão bem calibrados, permitindo a repetitividade dos resultados (e.g., RAMKUMAR, 2015). Segundo Ramkumar (2015), a aplicação da Químioestratigrafia deve ser realizada para complementar as informações lito-, bio-, alo- e cronoestratigráficas (quando disponíveis) e auxiliar na definição das superfícies chave da estratigrafia de seqüências (CATUNEANU et al., 2009).

A Químioestratigrafia também contribui para a definição dos parâmetros relacionados à Geologia de Reservatórios de hidrocarbonetos e água (RAMKUMAR, 2015). Depósitos fluvio-eólicos preservados em bacias sedimentares de idades e ambientes tectônicos variados constituem excelentes reservatórios tanto de água quanto de hidrocarbonetos, por apresentarem características de porosidade e permeabilidade altas (RICCOMINI, SANT'ANNA e TASSINARI, 2012). Esses depósitos tiveram um papel importante ao longo do desenvolvimento da Geologia Sedimentar e os estudos demonstram que depósitos fluvio-eólicos apresentam uma

complexa arquitetura deposicional, controlada em grande parte pela variação do nível freático e aporte sedimentar (MAGALHÃES *et al.*, 2015). Essas variáveis são responsáveis pela geração das heterogeneidades em diferentes escalas hierárquicas em depósitos fluvio-eólicos (NORTH e PROSSER, 1993; HAMPSON e HOWELL, 2005) podendo causar impactos no fluxo dos fluídos, influenciando no fator de recuperação dos reservatórios de hidrocarbonetos, por exemplo. Os estudos de depósitos sedimentares em escala de reservatório (alta resolução) evoluíram ao longo do tempo juntamente com os avanços da tecnologia permitindo aos geocientistas aprofundar os conhecimentos e obter informações mais detalhadas, que não poderiam ser estudados sem tal avanço tecnológico. Uma das formas de estudar a heterogeneidade das sequências sedimentares é por meio da análise das propriedades químicas das rochas ao longo de um perfil vertical, seja em um testemunho de sondagem, poço ou afloramento rochoso. Dentre os métodos que medem propriedades químicas de rochas sedimentares e sedimentos, o método de Fluorescência de Raios-X (composição química) é frequentemente utilizado em perfis verticais (EHRENBERG E SIRING, 1992). O estudo de heterogeneidades composicionais utilizando ferramentas geoquímicas é importante para a definição de modelos de distribuição de propriedades litológicas em depósitos sedimentares. Essa técnica permite a construção de modelos análogos em áreas bem expostas e a extrapolação para sequências sedimentares não aflorantes. Os modelos análogos são utilizados principalmente na área de exploração de recursos energéticos, sobretudo, na modelagem de reservatórios de óleo e gás (KNELLER, 1995; SLATT, 2000; SHANMUGAM, 2000).

Este trabalho tem por objetivo realizar análise quimioestratigráfica de um pacote de rochas sedimentares depositadas em ambientes eólico e fluvial para desenvolver um modelo que permita a investigação da distribuição vertical das heterogeneidades composicionais nesses depósitos. Os objetivos específicos foram: (i) construir um modelo estratigráfico com base nas observações geoquímicas; (ii) reunir informações sobre estruturas e texturas sedimentares e paleocorrentes; e (iii) definir as heterogeneidades verticais em um afloramento. A área de estudo está inserida na Serra do Apertado, município de Santana da Boa Vista e compreende uma porção do Grupo Guaritas, abrangida pelas Formações Pedra Pintada e

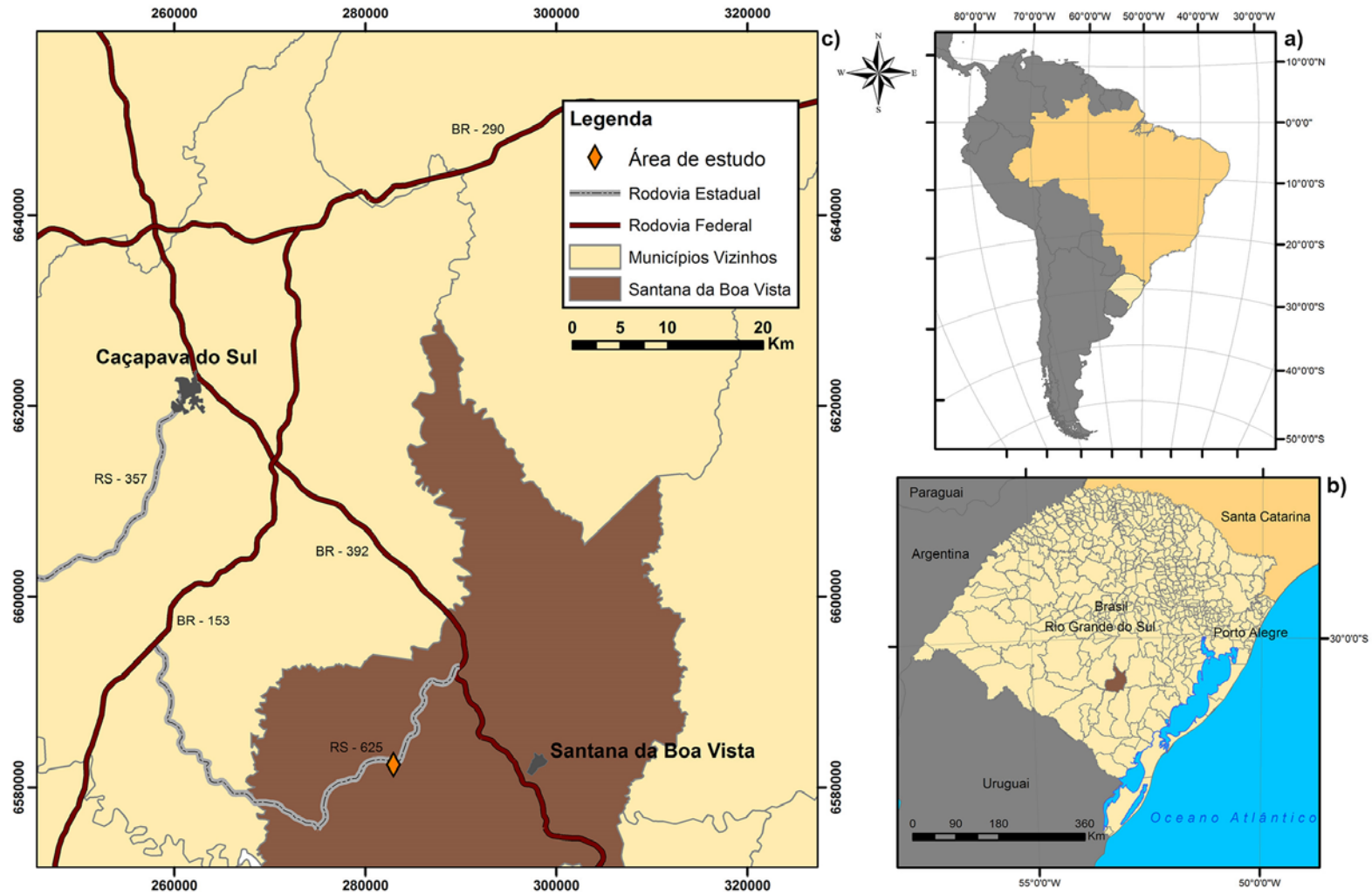
Varzinha (*sensu* Paim, 1994). Os dados foram adquiridos na escala vertical de 1:200, fornecendo um modelo quimioestratigráfico de alta resolução.

1.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Santana da Boa Vista, que está incluído na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul na microrregião das Serras do Sudeste (mesorregião Sudeste Rio-grandense; IBGE, 2014). A área de estudo está localizada a aproximadamente 300 km de Porto Alegre. O acesso pode ser realizado a partir de Porto Alegre pela rodovia BR-290, tomando a BR-153, posteriormente a BR-392 e finalmente a RS-625. Esta última, próxima à localidade de Minas do Camaquã no município de Caçapava do Sul (**Fig. 1**). A RS-625 leva até a região da Serra do Apertado, próximo ao ponto geográfico denominado de Pedra da Arara, onde o presente estudo foi realizado.

A seção vertical selecionada para este trabalho compreende as Formações Pedra Pintada e Varzinha, incluídas no Grupo Guaritas, que por sua vez está incluso no Supergrupo Camaquã (*e.g.*, FRAGOSO-CESAR *et al.*, 1999). O Grupo Guaritas consiste na unidade de topo do Supergrupo Camaquã (ROBERTSON, 1966; LAVINA *et al.*, 1985; PAIM, 1994; ALMEIDA, 2005). A seleção desta unidade foi devido a exposição das unidades sedimentares na região da Serra do Apertado. A existência de áreas amplas próximas ao afloramento, a presença de estruturas sedimentares com dimensões métricas e a existência de superfícies estratigráficas expostas foram as principais características consideradas para a escolha da área de estudo (**Figs. 2 e 3**).

Figura 1 – Localização da área de estudo, em a) mapa de situação, b) mapa de localização e c) mapa de detalhe.



Fonte: Extraído e modificado de WILDNER et al. (2008).

Figura 2 – Fotografia panorâmica da região da Serra do Apertado. No plano principal da fotografia é mostrada a Pedra Pintada, unidade geomorfológica que dá nome a unidade litoestratigráfica (Formação Pedra Pintada).



Fonte: Autor.

Figura 3 – Fotografia panorâmica da região estudada.



Fonte: Autor.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Camaquã (BC; Supergrupo Camaquã) está situada na região central do estado do Rio Grande do Sul e na região central do Escudo Sul-riograndense (ESRG). A BC está depositada sobre as unidades do embasamento do ESRG. A BC foi preenchida por rochas vulcânicas e sedimentares ao longo do período Ediacarano (635 a 541 Ma; COHEN *et al.*, 2013) até a série Ordoviciano Inferior (485 a 470 Ma; COHEN *et al.*, 2013), apresentando aproximadamente 10.000 metros de espessura (GODINHO *et al.*, 2013).

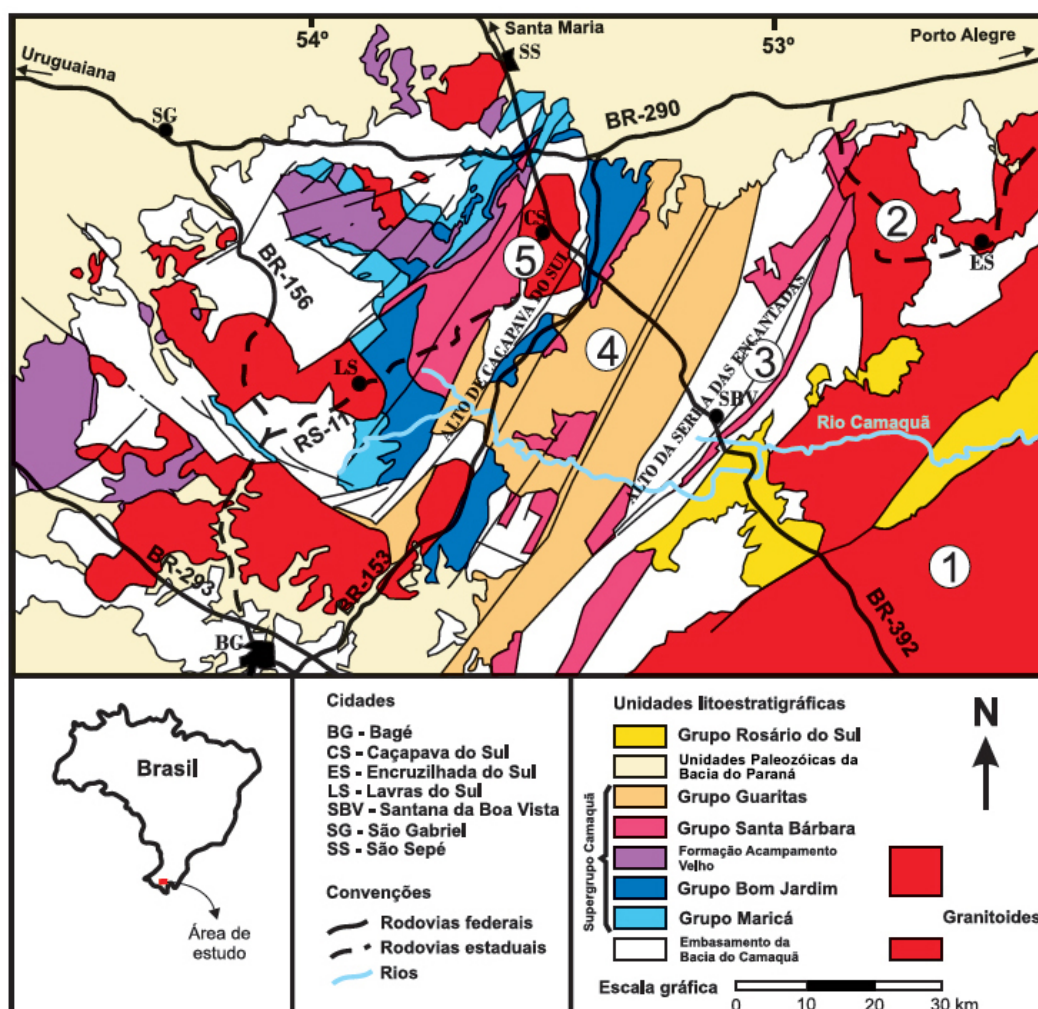
O Supergrupo Camaquã é subdividido em cinco unidades principais, sendo elas da base para o topo: Grupo Maricá (depósitos fluviais e de mar raso continental), Grupo Bom Jardim (depósitos fluviais intercalados com rochas vulcânicas), Formação Acampamento Velho (rochas vulcânicas e vulcanoclásticas ácidas e básicas), Grupo Santa Bárbara (depósitos fluviais e de leques aluviais) e Grupo Guaritas (depósitos fluviais, eólicos e de leques aluviais) (RIBEIRO, 1966; FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2000; ALMEIDA, 2005; JANIQUIAN *et al.*, 2008;) (**Fig. 4**). No Grupo Guaritas ocorrem intrusões de magmas básicos a intermediários e rochas efusivas da Suíte Rodeio Velho (ALMEIDA, 2005; PAIM e SCHERER, 2007).

Estas unidades principais foram depositadas em três tipos de bacias: i) o Grupo Maricá foi depositado em uma bacia de antepaís em posição de retroarco (CHEMALE JR, 2000; PAIM e LOPES, 2000; BORBA *et al.*, 2008); ii) o Grupo Bom Jardim foi depositado em uma bacia com rejeito direcional (Bacia transcorrente); e iii) os Grupos Santa Bárbara e Guaritas foram formados durante eventos extensionais (*e.g.*, OLIVEIRA, 2012; BICCA *et al.*, 2013).

Simultaneamente à sedimentação do Grupo Santa Bárbara, ocorreram eventos tectônicos que culminaram com o soergimento de altos estruturais internos ao Supergrupo Camaquã, compartimentando-o em três sub-bacias, denominadas Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental (FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2000). A estruturação da sub-bacia Camaquã Central coincide, em linhas gerais, com a estrutura do tipo gráben onde ocorreu a deposição do Grupo Guaritas (ALMEIDA, 2005). A sub-bacia Camaquã Central, onde se encontra preservado o Grupo Guaritas, é delimitada tanto a leste quanto a oeste por zonas de falhas de alto

ângulo e direção NNE-SSW, sendo elas, respectivamente, a Zona de Falha das Encantadas e a Falha da Angélica (ALMEIDA, 2005). No limite a leste situa-se o alto da Serra das Encantadas, com rochas do Cinturão Tijucas, e a oeste ocorre o Alto de Caçapava do Sul, com rochas do Terreno Rio Vacacaí e intrusivas mais jovens (FRAGOSO-CESAR, 1991). No limite norte, a sub-bacia Camaquã Central apresenta contato com rochas Paleozóicas da Bacia do Paraná, definido por uma discordância erosiva ou angular; e ao sul, o contato é tectônico com rochas do Cinturão Dom Feliciano e Terreno Rio Vacacaí (ALMEIDA, 2005).

Figura 4 – Mapa geológico da Bacia do Camaquã e áreas adjacentes. 1: Batólito Pelotas; 2: Batólito Encruzilhada do Sul; 3: Serra das Encantadas; 4: Grupo Guaritas; 5: Alto de Caçapava do Sul.



Fonte: Extraído de (GODINHO *et al.*, 2013).

O Grupo Guaritas corresponde aos últimos eventos deposicionais registrados da BC. O Grupo Guaritas é uma unidade sedimentar com mais de 1500m de espessura de depósitos siliciclásticos de ambiente continental, depositados no Eocambriano em uma bacia distensional do tipo rift (e.g., ROBERTSON, 1966; RIBEIRO, 1966; FRAGOSO-CESAR, 1984; LAVINA *et al.*, 1985; PAIM, 1994; PAIM e LOPES 2000; FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2003; PAIM e SCHERER, 2007; ALMEIDA, 2005; ALMEIDA *et al.*, 2009). A idade de deposição do Grupo Guaritas é abrangida pela idade dos Basaltos alcalinos da Suíte Rodeio Velho, cuja idade U–Pb em zircão é 547 ± 6 Ma (ALMEIDA, MACHADO e CHEMALE JR, 2012), e pela diagênese dos arenitos, cuja idade K–Ar em ilitas autigênicas é $473,7\pm 7$ Ma (MARASCHIN *et al.*, 2010).

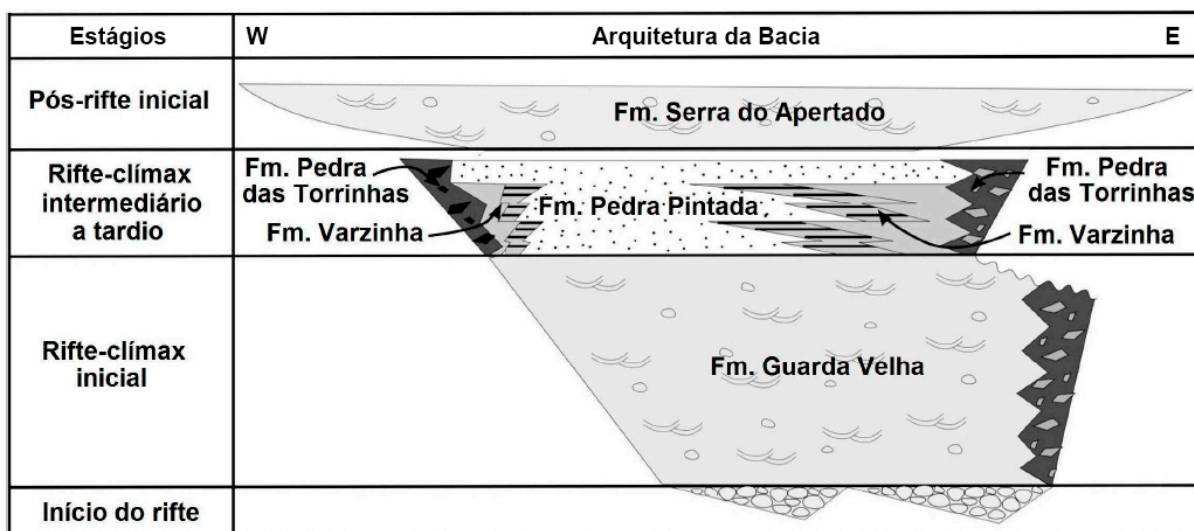
A área de exposição do Grupo Guaritas possui um formato alongado, com cerca de 30 km de largura e extensão superior a 100 km, e seu eixo longitudinal é orientado segunda a direção NNE-SSW. O Grupo Guaritas é constituído por arenitos conglomeráticos, conglomerados, ritmitos psamo-pelíticos e arcósios finos a médios com estratificação cruzada de grande porte (GODINHO *et al.*, 2013). A composição das rochas com granulação areia é essencialmente feldspática, variando para litoarenitos de acordo com a proveniência.

Estudos de mapeamento realizados no Grupo Guaritas subdividem o mesmo em cinco unidades (ALMEIDA *et al.*, 2009) (**Fig. 5**), sendo elas, da base para o topo:

- Formação Guarda Velha – unidade basal composta por arcósios conglomeráticos e conglomerados de sistemas fluviais dominados por carga de fundo;
- Formação Varzinha – ritmitos de arcósios e pelitos gretados e lentes de arcósios conglomeráticos formados em sistemas fluviais distais;
- Formação Pedra Pintada – arcósios finos com estratificação cruzada de grande porte, depositados em campo de dunas eólicas, lateralmente equivalentes à Formação Varzinha;
- Formação Pedra das Torrinhas – brechas e conglomerados de leques aluviais lateralmente equivalentes às duas unidades anteriores;

- Formação Serra do Apertado – arcósios conglomeráticos e conglomerados de sistemas fluviais dominados por carga de fundo que sobrepõe a Formação Pedra Pintada por discordância erosiva (ALMEIDA, 2005).

Figura 5 – Carta estratigráfica do Grupo Guaritas (segundo ALMEIDA *et al.*, 2009).



Fonte: Extraído de NÓBREGA (2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em três etapas: a etapa pré-campo, a etapa de campo e a etapa pós-campo. A etapa pré-campo consistiu no estudo bibliográfico e na preparação para as análises em campo. A etapa de campo consistiu nas análises faciológica e quimioestratigráfica. A etapa pós-campo abrangeu a organização do banco de dados e a integração dos dados nos modelos estratigráficos. Abaixo são detalhadas cada etapa.

3.1 Etapa Pré-Campo

3.1.1 Estudo bibliográfico

A revisão bibliográfica foi uma ferramenta de suma importância, visto que foi a base para a construção das demais etapas deste trabalho. Dessa maneira, o estudo bibliográfico consistiu-se de um levantamento e uma compilação de dados bibliográficos referente ao tema escolhido. Foram selecionados artigos em periódicos especializados, trabalhos de conclusão de curso e de mestrado, bem como pesquisas de doutorado, que abordaram sobre heterogeneidades texturais e composicionais de depósitos eólicos e fluvio-eólicos, a estratigrafia, quimioestratigrafia e estudos geoquímicos. Com isto, ficou possível a obtenção de um embasamento teórico sobre os conceitos e as técnicas a serem utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.2 Preparação para as análises em campo

Para realização do trabalho de campo foram confeccionados mapas topográficos e geológicos da região estudada utilizando *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), bem como a análise e interpretação de imagens de satélite para obter informações prévias sobre o arcabouço geológico da região e seus principais acessos. Para isso foi utilizada a cartas topográficas do Exército, folha Minas do Camaquã (SH.22-Y-A-V-3) na escala 1:50.000, além de mapas de localização, geológicos e imagens de satélite.

3.2 Etapa de Campo

Os trabalhos de campo ocorreram nos dias 28 e 30 de setembro de 2015 e foram divididos em etapas, sendo uma para coleta dos dados faciológicos e outra para as análises geoquímicas.

A orientação espacial do acamamento sedimentar (S0) foi determinada com bússola *Brunton*, com declinação magnética corrigida conforme indicada na Folha Minas do Camaquã (SH.22-Y-A-V-3) para o ano de 2015. A localização espacial dos pontos analisados foi realizada através de Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS), utilizando o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) no *Datum South American Datum 1969 (SAD-69)*.

Foram analisados dois perfis verticais na escala 1:200, o Perfil Vertical 1 tem início na coordenada 283.707 mE e 6.583.140 mS (zona 22J) e o Perfil Vertical 2 tem início na coordenada 282.968 mE e 6.582.437 mS (zona 22J; **Fig. 6**). Os pontos analisados foram numerados sistematicamente por data, perfil, ponto e pelas iniciais do nome Guilherme Madrid Pereira, seguido de números sequenciais. Dessa forma, os pontos foram identificados por P1-01-GMP e assim sucessivamente. Para cada ponto analisado em cada perfil foram obtidas fotografias dos afloramentos e foi realizada a descrição textural, composicional e estrutural e classificação das fácies identificadas. As fácies e conteúdo geoquímico foram analisados em pontos separados a cada 2 metros na vertical. Foi utilizada trena para a determinação da distância entre os pontos e espessura das camadas. Foram analisados 50 m de registro total, distribuídos em dois perfis verticais separados por um intervalo encoberto de 47,6 m (**Fig. 6**). A porção correspondente à Fm. Pedra Pintada com 38 m de levantamento medidos na porção inferior e após o encoberto foi medido o restante da seção, na Fm. Varzinha, totalizando 12 m de levantamento.

Para a anotação das fácies em campo foi utilizada planilha padrão de levantamento faciológico. Esta planilha é composta por um cabeçalho, contendo informações sobre o ponto/seção, autor, coordenadas UTM, altitude, data e a escala do perfil; espaço para as anotações do perfil vertical de fácies, descrições, estruturas sedimentares, medidas estruturais, paleocorrentes, código de fácies, associação de fácies, arcabouço e litoestratigrafia (**Fig. 7**).

3.2.1 Análise faciológica

O conhecimento sobre as técnicas de análise faciológica constitui-se como a principal ferramenta para uma correta e adequada descrição e interpretação de

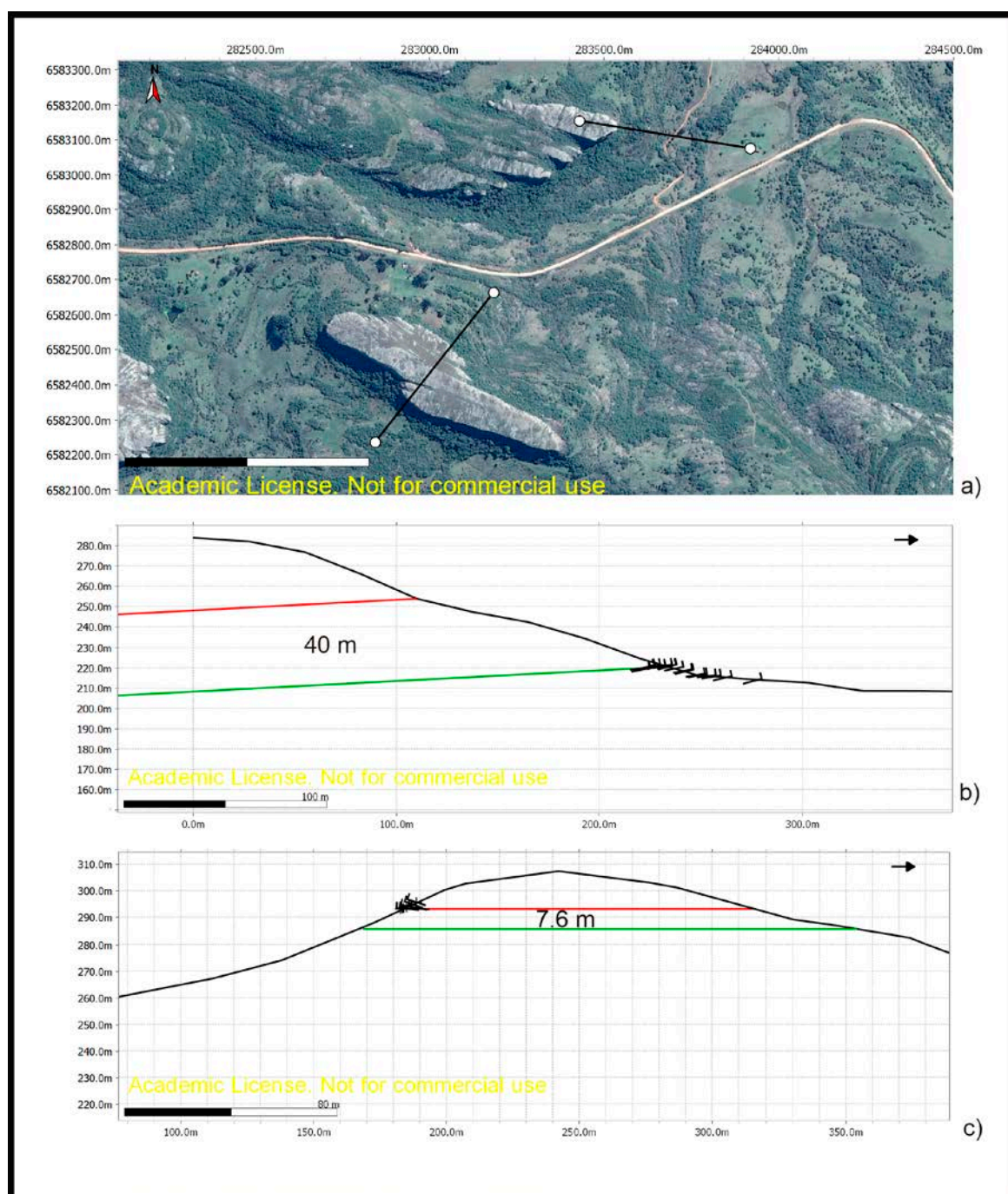
fácies em sistemas deposicionais. (MIALL, 1990; WALKER, 1992, 2006a; POSAMENTIER e JAMES, 1993; DALRYMPLE, 2010) além de outros autores tem por base o levantamento de perfis verticais e sua descrição em termos de fácies e conjuntos de fácies. O termo fácies é definido como um corpo rocha com características específicas, podendo ser uma camada ou um conjunto delas, conforme citado e debatido por (WALKER, 2006b). Já Reading (1996) conceitua fácies como um corpo rochoso distinto que se formou em condições de sedimentação, refletindo em um processo particular, um conjunto de condições ou um ambiente. As fácies são definidas por meio de alguns atributos sendo eles: cor, composição, textura, estruturas e conteúdo fossilífero. Trata-se inicialmente de um método de campo direto, que fornece informações relevantes para a identificação de modelos e sequências deposicionais. Outro fator relevante é que esta técnica pode ser aplicada tanto em escala local quanto regional.

Uma das formas de representar graficamente uma sucessão vertical de fácies em um afloramento é por meio de perfis verticais. Em perfis verticais, o eixo horizontal indica a fração granulometria da rocha (utilizando a escala de (WENTWORTH, 1922) para tamanhos de grão) e o eixo vertical indica a espessura da fácies, representada em escala métrica utilizando um fator de escala apropriado para o objetivo da análise. Outras informações podem ser integradas a perfis verticais, tais como informações sedimentológicas, estratigráficas, estruturais, paleontológicas, paleocorrentes, geoquímicas, entre outras.

Os perfis verticais de fácies adquiridos em campo tiveram por objetivo o agrupamento das fácies em associações de fácies para a interpretação dos ambientes deposicionais. Além disso, a análise faciológica objetivou a definição da geometria das camadas e a correlação com os dados geoquímicos.

Para representar o empilhamento vertical de fácies, os perfis foram digitalizados em *software* de ilustração. Os perfis verticais digitalizados encontram-se nas **(Figs. 13 e 15)**.

Figura 6 – a) Projeção das atitudes do acamamento medidas em campo em 2 perfis seccionando a área de estudo. b) A espessura entre a medida mais elevada no perfil P1 abaixo (linha verde) e a superfície de contato entre as formações Pedra Pintada e Varzinha (linha vermelha) corresponde a 40m. c) A espessura entre a superfície de contato entre as formações Pedra Pintada e Varzinha (linha verde) e a medida menos elevada no perfil P2 acima (linha vermelha) corresponde a 7,6m, totalizando 47,6m encobertos.



Fonte: Imagem de Satélite obtida pelo *software* Google Earth Pro a), georreferenciada no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator no Datum *World Geodetic System-1984* (WGS-84) e Imagem b) e c) extraídas do *Software de Modelamento Estrutural Move 2015*.

Figura 7 – Modelo para levantamento de perfil colunar em campo.

Ponto/Seção: Intérprete(s):		Data: Escala:	Coordenadas UTM: X: Altitude: Y:							
Areia Bl Sx Gr G M F Mf S Ag		Estrut.	Paleo corrente	Fácies (Código)	Descrição	Ass. Fácies	Arcabouço Trato Seq.		Lito	

Fonte: modificado de NICHOLS (2009).

3.2.2 Análise quimioestratigráfica

3.2.2.1 Ferramentas de análise quimioestratigráficas

A aplicação de técnicas analíticas na determinação da composição química de rochas, em particular de arenitos, iniciou-se na década de 1950 (WICKMAN, 1954; MACPHERSON, 1958). Atualmente, a determinação da composição química de elementos maiores, traços e terras-raras é uma rotina implementada em diversos laboratórios do mundo. Os equipamentos mais utilizados são as técnicas de Fluorescência de raios-X (XRF), ICP-AES, ICP-MS, EDS, WDS, entre outras. As ferramentas se diferenciam pelo método de amostragem e forma de excitação da amostra. As técnicas de XRF e ICP-AES e ICP-MS podem ser aplicadas em rocha total ou minerais. Já as técnicas de WDS, EDS e LA-ICPMS podem ser aplicadas somente a porções da amostra, e não em rocha total.

3.2.2.1.1 Fluorescência de raios-X (FRX)

A análise multielementar por espectrometria de fluorescência de raios-X funciona através da emissão de um fóton do feixe de raios-X que é incidente sobre os átomos da amostra a ser analisada (*e.g.*, JENKINS, 1999). A interação do feixe de raios-X primário com átomos da amostra excita elétrons dos átomos, fazendo com que alguns elétrons subam de órbita na rede eletrônica, isto deixa um elétron vago na órbita inferior e provoca um estado temporário de instabilidade no átomo. A fim de corrigir esta instabilidade, os elétrons de órbitas mais elevadas, com maior energia, substituem os elétrons deslocados. Uma energia que é específica para átomos de determinado elemento é liberada quando os elétrons de energia mais elevada substituem os deslocados pelo feixe primário de raios-X. A emissão de energia por átomos de vários elementos permite que um espectrômetro de fluorescência de raios X seja determinado, que por sua vez estão relacionados a determinados elementos presentes na amostra analisada (*e.g.*, JENKINS, 1999; BRUKER, 2015a). Uma característica única dos espectrômetros de fluorescência de

raios-X é que o tipo de dispersão de energia pode ser utilizado de forma não destrutiva, o que os torna apropriados para as amostras que necessitam de ser conservadas ou não podem ser alteradas (BRUKER, 2015b).

Segundo Jenkins (1988), “a espectrometria de fluorescência de raios-X permite identificar elementos através da medição do comprimento de onda ou da energia de uma emissão de raios-X. O teor de um dado elemento em uma amostra poder ser medido relacionando a intensidade da emissão detectada com sua concentração”. A técnica é utilizada particularmente para investigações que envolvem análises químicas de rocha total para elementos maiores (Sílica (Si), Titânio (Ti), Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Potássio (K), Fósforo (P)) e elementos traços (> 1 ppm; Bário (Ba), Cério (Ce), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Gálio (Ga), Lantânio (La), Nióbio (Nb), Níquel (Ni), Rubídio (Rb), Escândio (Sc), Estrôncio (Sr), Ródio (Rh), Urânio (U), Vanádio (V), Ítrio (Y), Zircônio (Zr), Zinco (Zn)). Teoricamente, a técnica de XRF é capaz de detectar a emissão de raios-X de todos os elementos, dependendo do comprimento de onda e da intensidade do sinal dos raios-X incidentes. Na prática, os instrumentos comerciais são limitados à análise precisa e acurada da abundância dos elementos com número atômico (Z) maior do que 11, no entanto os limites de detecção e precisão dependem de cada equipamento e estão em constante aprimoramento.

Em laboratório, as amostras devem ser preparadas com a técnica de fusão com LiBO_2 (tetraborato de lítio). Essa técnica possui vantagens com relação à técnica de dissolução da amostra em ácidos, por: i) ser mais segura, pois não necessita o uso de HF; ii) é uma técnica de dissolução completa, permitindo a determinação de todos os elementos, incluindo Si e elementos refratários; iii) A solução resultante é similar composicionalmente por ser dominada pela presença de LiBO_2 ; e iv) a solução é estável em Ácido Nítrico (HNO_3) diluído, permitindo o armazenamento e análise posterior (MURRAY, MILLER e KRYC, 2000).

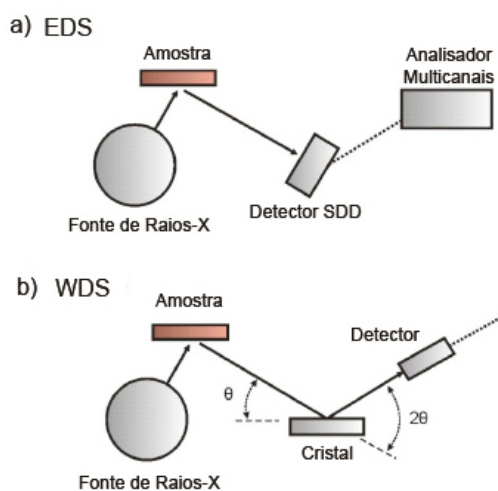
Os instrumentos usados na espectrometria de raios-X são baseados nos métodos de dispersão de energia (EDS; **Fig. 8a**) e dispersão de comprimento de onda (WDS; **Fig.8b**). O primeiro pode ser dividido em fontes de excitação primária ou excitação secundária enquanto o segundo pode ser dividido em detector de canal

único ou detector de multicanais (KEVEX, 1989). O WDS utiliza um cristal para separar a radiação policromática da amostra em seus componentes monocromáticos e depois medir em cada componente o seu comprimento de onda (JENKINS, 1988). O EDS utiliza um detector estático para a produção de um espectro de pulsos voltaicos proporcional ao espectro da energia dos raios-X detectados. Um analisador de multicanais separa os pulsos por níveis de energia, cada pulso desses está relacionado com os raios-X característicos de um elemento e o número de registros de pulsos está relacionado ao seu nível de concentração de um elemento na amostra (JENKINS, 1988).

3.2.2.1.2 Fluorescência de raio-X portátil (FRXp)

Com o crescente desenvolvimento e popularização de técnicas analíticas instrumentais (SKOOG *et al.*, 1998), essas inovações têm propiciado a evolução e readequação de outras ferramentas já fundamentadas, tais como a difração de raio X (DRX), análise elementar por fluorescência de raio X (FRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Sendo assim o trabalho para obtenção desses dados foi facilitado, mas a complexidade de interpretação aumentou.

Figura 8 – Espectrômetro de dispersão de comprimento de onda WDS (a) e de dispersão de energia EDS (b).



O aparelho portátil de análise química funciona com o método EDS de detecção. Similar a uma pistola, com gatilho, visor e um ponto de saída do feixe (**Fig. 9**), este aparelho produz análises geoquímicas qualitativas e semi-quantitativas, sendo utilizado para estudos de solo, rochas ou sedimentos.

Os pontos positivos da utilização do FRXp são a redução de custos com laboratórios especializados em análises químicas, o fácil manuseio e transporte e o resultado imediato. Porém não é aconselhável a substituição integral da análise laboratorial pelo aparelho portátil. O FRXp é visto como uma análise primária ou como uma análise complementar.

Figura 9 – Levantamento dos perfis quimioestratigráficos com o equipamento de FRXp.



Fonte: Autor.

3.2.3 Procedimentos empregados no presente trabalho

A análise quimioestratigráfica foi realizada através do método de Fluorescência de raio-X portátil (FRXp), buscando as assinaturas espectrais em afloramentos. A aquisição dos dados foi realizada segundo os dois perfis verticais

com medidas a cada 2 metros, conforme descrito no item 3.2 (**Fig. 10**). Nesta etapa de campo foi utilizado o espectrômetro portátil de raios-X da Marca *BRUKER*, série *S1 TURBO SD* de propriedade da Unipampa (**Fig. 11**). O primeiro perfil adquirido em campo foi denominado de Perfil 1 (**Fig. 13**) e o segundo de Perfil 2 (**Fig. 15**). Antes do iniciar o levantamento, o aparelho é ligado por 30 (trinta) minutos para um aquecimento interno e mais 30 minutos para estabilização. A partir deste aquecimento, o FRXp estará pronto para ser utilizado.

Figura 10 – Aquisição dos dados sendo realizada ao fundo, seguindo os perfis verticais, realizando medidas a cada 2 metros.



Fonte: Autor.

O aparelho de Fluorescência de raios-X portátil foi configurado para o modo *GeoChem General*, por possuir dois tipos de análises, sendo elas: *Fundamental Parameters* (FP), que analisa contagens válidas para cada elemento e calcula suas concentrações e que deve ser utilizada caso a composição do material a ser analisado é geralmente desconhecida. Essa podendo analisar a composição de uma ampla gama de materiais, mas normalmente demanda mais tempo para mostrar resultados, estes podendo ser não tão precisos quanto aqueles obtidos no tipo de

análise *Empirical*. O segundo tipo de análise é chamado de *Empirical* (EMP), que calcula concentrações elementares com base em dados de contagem válidos. Se o tipo de material é geralmente conhecido, a análise empírica identificará os resultados de forma mais rápida do que o tipo FP, e, muitas vezes, relata resultados analíticos mais precisos. Já o prefixo *Dual* é um subconjunto dos tipos FP e *Empirical* que mede as amostras alternando em dois diferentes tipos de energias de excitação.

Figura 11 – Espectrômetro portátil de fluorescência de raios-X da Marca BRUKER, série S1 TURBO SD.



Fonte: Autor.

Neste trabalho foi utilizada análise *Dual FP* pois permite maior detalhamento dos elementos químicos e a configuração de parâmetros para a definição dos tempos de amostragem mínimos e máximos. Os tempos totais de análise foram definidos para 60 e 90 segundos.

3.3 Organização do Banco de Dados

A etapa de organização do banco de dados consistiu no refinamento, na integração e na interpretação dos dados adquiridos em campo. Compreendeu a digitalização das seções verticais, interpretação e correlação dos dados quimioestratigráficos e litológicos.

Os dados oriundos do levantamento espectrométrico de fluorescência de raios-X foram organizados em um banco de dados específico do equipamento, contendo o número da análise, data, horário, nome da amostra, ID, nome do operador, coordenada (UTM), modo de análise, tipo de análise, duração da análise, concentração do elemento químico, erro da medida. Do mesmo modo, os dados provenientes do levantamento faciológico e das seções verticais também foram organizados em bancos de dados contendo os seguintes atributos: numeração do ponto, coordenada x, coordenada y, altitude, descrição do ponto, litologia, tipo de estrutura, direção (*strike*), mergulho (*dip*) e observações.

Os elementos maiores estão expressos em porcentagem (%) de peso total e os elementos menores em partes por milhão (ppm). O espectrômetro de fluorescência de raio-X utilizado consegue realizar leituras nos seguintes elementos: Óxido de Magnésio (MgO), Óxido de Alumínio (Al₂O₃), Óxido de Silício (SiO₂), Óxido de Fósforo (P₂O₅), Óxido de Potássio (K₂O), Óxido de Cálcio (CaO), Óxido de Titânio (TiO₂), Óxido de Manganês (MnO), Óxido de Ferro (Fe₂O₃ Total), Enxofre (S), Cloro (Cl), Vanádio (V), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênio (As), Selênio (Se), Rubídio (Rb), Estrôncio (Sr), Ítrio (Y), Zircônio (Zr), Nióbio (Nb), Molibdênio (Mo), Ródio (Rh), Paládio (Pd), Prata (Ag), Cádmi (Cd), Estanho (Sn), Antimônio (Sb), Cério (Ce), Háfnio (Hf), Tântalo (Ta), Tungstênio (W), Platina (Pt), Ouro (Au), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Bismuto (Bi), Tório (Th) e Urânio (U). Para o presente trabalho foram utilizadas somente concentrações de nove elementos maiores.

Os dados apresentados nas tabelas de análise estatística (Tab. 3 e 4) Os dados que serão apresentados nas tabelas de análise estatística mostram um resumo das análises realizadas nos Perfis 1 e 2 (**Anexo II** e **Anexo III**) e os dos dados são apresentados com as seguintes características: *Valor mínimo:*

Representa o valor mínimo encontrado na média das leituras em 60 e 90s realizadas nos 26 pontos coletados; *Valor máximo*: Representa o valor máximo encontrado na média das leituras em 60 e 90s realizadas nos 26 pontos coletados; *Média*: Representa o valor da média de todos os valores encontradas através da média das leituras em 60 e 90s nos 26 pontos coletados; e *Desvio Padrão*: Representa o valor do desvio padrão da média de todos os valores encontradas através da média das leituras em 60 e 90s nos 26 pontos coletados.

4 RESULTADOS

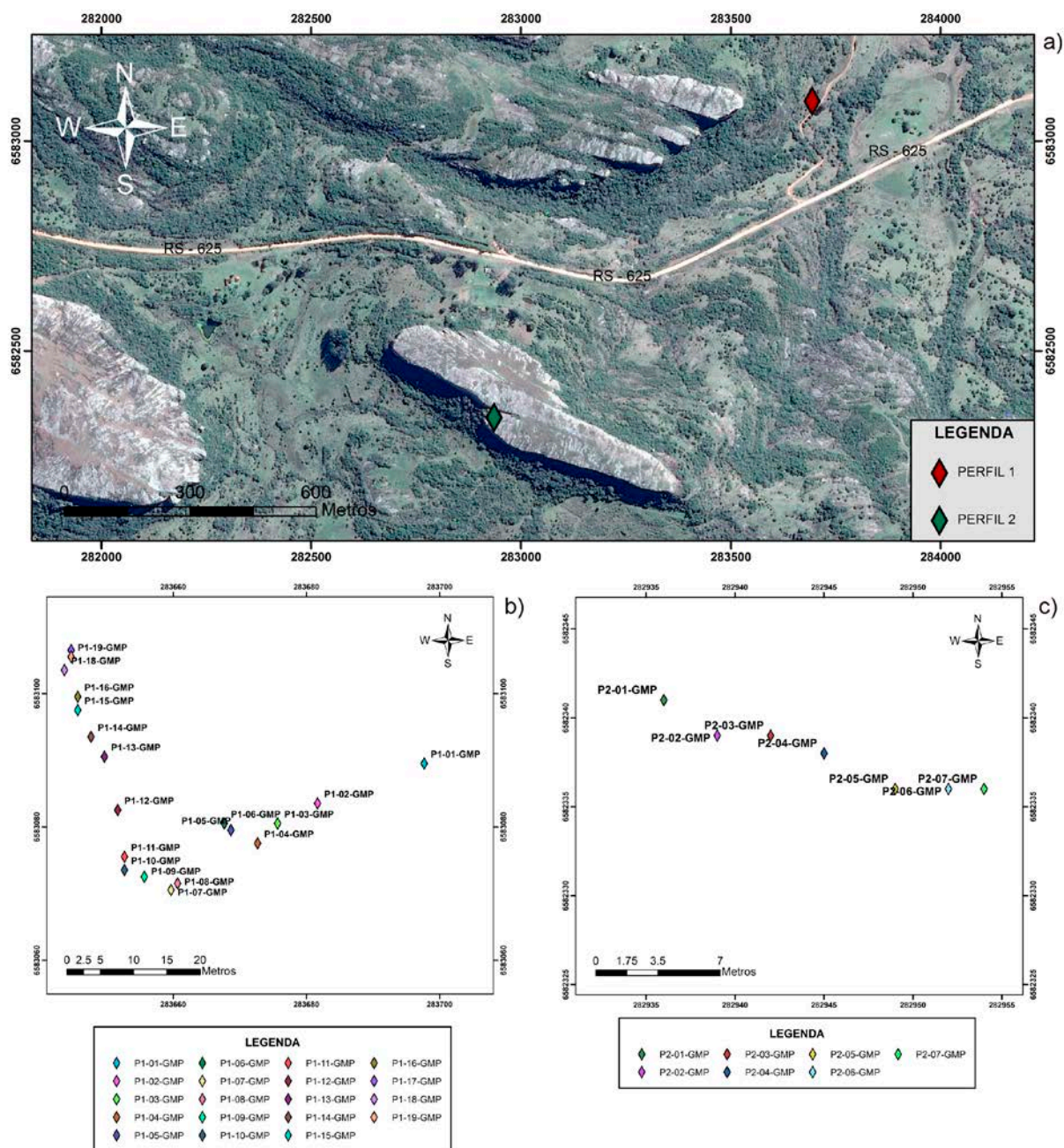
Os resultados obtidos a partir da aplicação dos métodos e ferramentas descritas, que envolveram análises faciológica e quimioestratigráfica, são apresentados abaixo, juntamente com os mapas de localização dos perfis (**Fig. 12**) e os mapas de pontos do Perfil 1 (**Fig. 12b**) e Perfil 2 (**Fig. 12c**).

4.1 Análise Faciológica

A análise faciológica realizada permitiu a individualização de oito litofácies distintas, agrupadas em três associações de fácies. A nomenclatura e interpretação das fácies foram adaptadas segundo Miall (1996), de forma a abranger sucessões sedimentares depositadas em ambientes não fluviais. Na **Tabela 1** são definidas as 8 fácies identificadas.

O Perfil 1 (**Fig. 13**) é representado por *sets* de estratos de arenitos bem selecionados com estratificação cruzada acanalada de médio a grande porte. De forma subordinada ocorrem níveis de arenitos com laminação plano-paralela. No topo da seção ocorrem arenitos mal selecionados com raros seixos dispersos, com estratificação cruzada acanalada. As fácies e suas respectivas associações de fácies foram interpretadas como Sistema de Dunas Eólicas passando para um Sistema Fluvial Entrelaçado (**Fig. 14**).

Figura 12 – a) Mapa de localização dos perfis 1 e 2, b) Mapa de pontos do P1 e c) Mapa de pontos do P2.



Fonte: Imagem de Satélite obtida pelo *software* Google Earth Pro, georreferenciada no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator no Datum *World Geodetic System-1984* (WGS-84).

Verifica-se da base em direção ao topo do Perfil 2 (**Fig. 14**) a presença de arenitos finos a médios com estratificação cruzada acanalada, em geral mal

selecionados, intercalados com orto e paraconglomerados polimíticos e maciços. As fácies e as respectivas associações de fácies do perfil estão discretizadas na (**Fig. 15**) e foram interpretadas como Sistema de Leques Aluviais Distais.

Com base na descrição das seções verticais e análise das oito fácies encontradas, foi possível caracterizar as seções em três associações de fácies distintas (**Tab. 2**):

Tabela 1 – Fácies identificadas na área de estudo.

Código	Litofácies
Go(m)	Orto-conglomerado mal selecionados maciço, constituído por clastos tamanho areia até seixos centimétricos. Composto por clastos de veios de quartzo, granitóides e riolitos.
Gp(m)	Para-conglomerado mal selecionado maciço, constituído por clastos tamanho areia grossa até seixos. Composto por clastos de veios de quartzo, granitóides e riolitos.
Sfm(Ca)	Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura cruzada acanalada.
Sfm(p)	Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura plano paralela.
Sg(Cab)	Arenito grosso, mal selecionado com estrutura cruzada acanalada de baixo ângulo. Com ocorrência de grânulos flutuantes na matriz.
Sm(Ca)s	Arenito médio, bem selecionado com estratificação cruzada acanalada. Com ocorrência de seixos de granitóides.
Smg(m)	Arenito grosso com grânulos e seixos, mal selecionado. Composto por clastos de veios de quartzo, riolitos e granitos. Apresenta estrutura maciça.
Smg(p)	Arenito muito grosso com grânulos mal selecionado com estrutura plano paralela.

Fonte: Autor.

4.2 Levantamento Espectrométrico de Fluorescência de Raio-X

Os perfis quimioestratigráficos foram realizados em 50 m do registro total, distribuídos nos dois perfis verticais, conforme descrito nos procedimentos de campo (**seção 3.2**). Os resultados obtidos através da análise por FRXp e o erro associado no modo de leitura (*FP Dual*) encontram-se no **Anexo I**. Nas **Tabelas 3 e 4** os dados estão resumidos com o tratamento estatístico.

Tabela 2 – Associações de Fácies.

Sistema deposicional	Associação de fácies	
Sistemas de leques aluviais distais	Go(m)	São caracterizados por rochas sedimentares de textura grossa, e fragmentos líticos de rochas ígneas intrusivas e extrusivas;
	Gp(m)	
	Sfm(Ca)	
	Sg(Cab)	
	Smg(m)	
	Smg(p)	
Sistemas fluvial entrelaçado	Sm(Ca)s	Distingue-se pela presença de estruturas cruzadas acanaladas de grande porte e fragmentos líticos de granitoides.
Sistemas de dunas eólicas	Sfm(Ca)	É caracterizado por arenitos finos a médios, com estruturas cruzadas e plano paralelas, com dunas de grande porte e interdunas;
	Sfm(p)	

Fonte: Autor.

Tabela 3 – Resultado da análise estatística do Perfil 1.

Perfil 1	Si	Al	Mg	K	Ca	Fe	Ti	P	Mn
Valor Mínimo	21.250	5.875	1.640	1.530	0.035	0.690	0.020	0.000	0.000
Valor Máximo	75.000	17.250	6.325	3.450	5.500	1.820	0.350	0.340	0.090
Média	41.117	10.709	4.125	2.656	1.717	1.316	0.174	0.059	0.028
Desvio Padrão	14.942	3.108	1.294	0.554	1.515	0.363	0.101	0.085	0.022

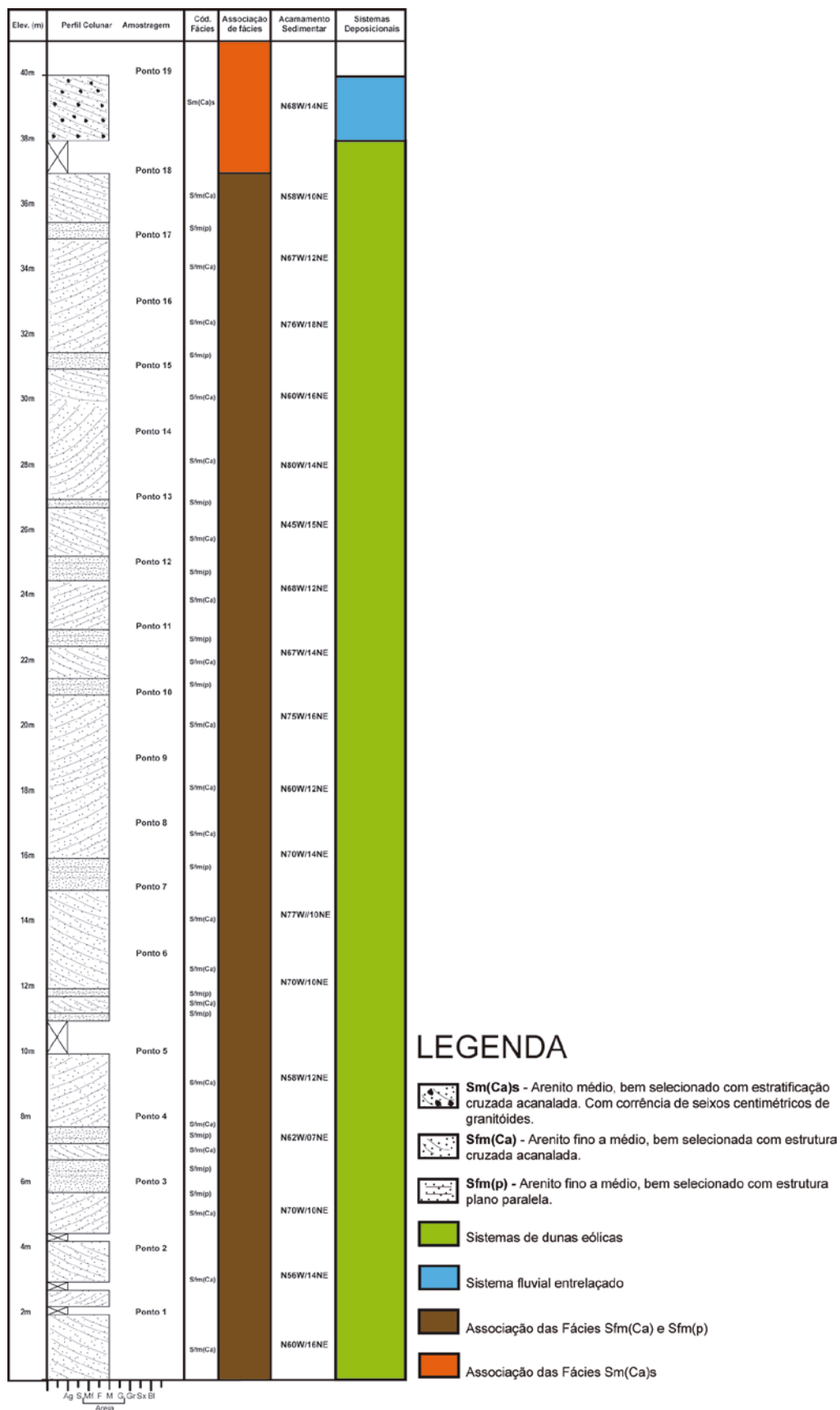
Fonte: Autor.

Tabela 4 – Resultado da análise estatística de do Perfil 2.

Perfil 2	Si	Al	Mg	K	Ca	Fe	Ti	P	Mn
Valor Mínimo	12.850	2.950	3.235	1.935	0.100	0.730	0.100	0.000	0.005
Valor Máximo	62.450	16.650	5.890	3.805	1.435	1.655	0.255	0.615	0.440
Média	45.800	11.559	4.185	2.831	0.476	1.074	0.165	0.181	0.077
Desvio Padrão	18.379	4.417	1.097	0.594	0.447	0.349	0.054	0.211	0.161

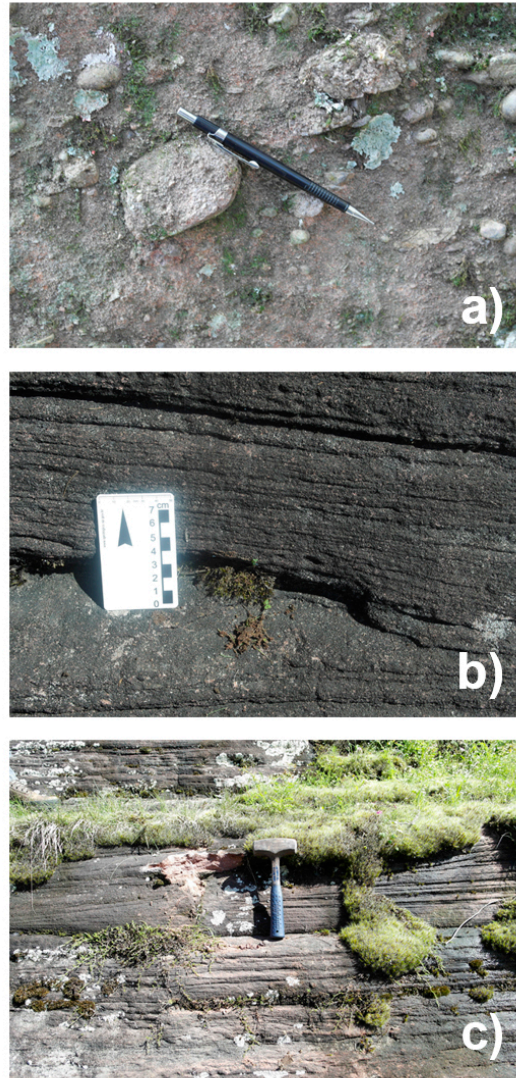
Fonte: Autor.

Figura 13 – Perfil vertical 1 – P1.



Fonte: Autor.

Figura 14 – Associação de Fácies do P1, onde: a) Fácies Sm(Ca)s, interpretada como Sistema fluvial entrelaçado; b) Fácies Sfm(Ca) e c) Fácies Sfm(p), segundo o código de fácies da tabela 2 interpretadas como Sistema de dunas eólicas;



Fonte: Autor.

4.2.1 Análise estatística do perfil 1 (P1)

No levantamento realizado no Perfil 1 (**Fig. 12b**) foram analisadas amostras de 19 pontos. A partir da análise estatística se observou as seguintes concentrações: Sílica (Si) variou entre 21,25% e 75% com valor médio de 41,117% ($\pm 14,942\%$ 1 SD). A concentração de Alumínio (Al) variou entre 5,87% e 17,25%

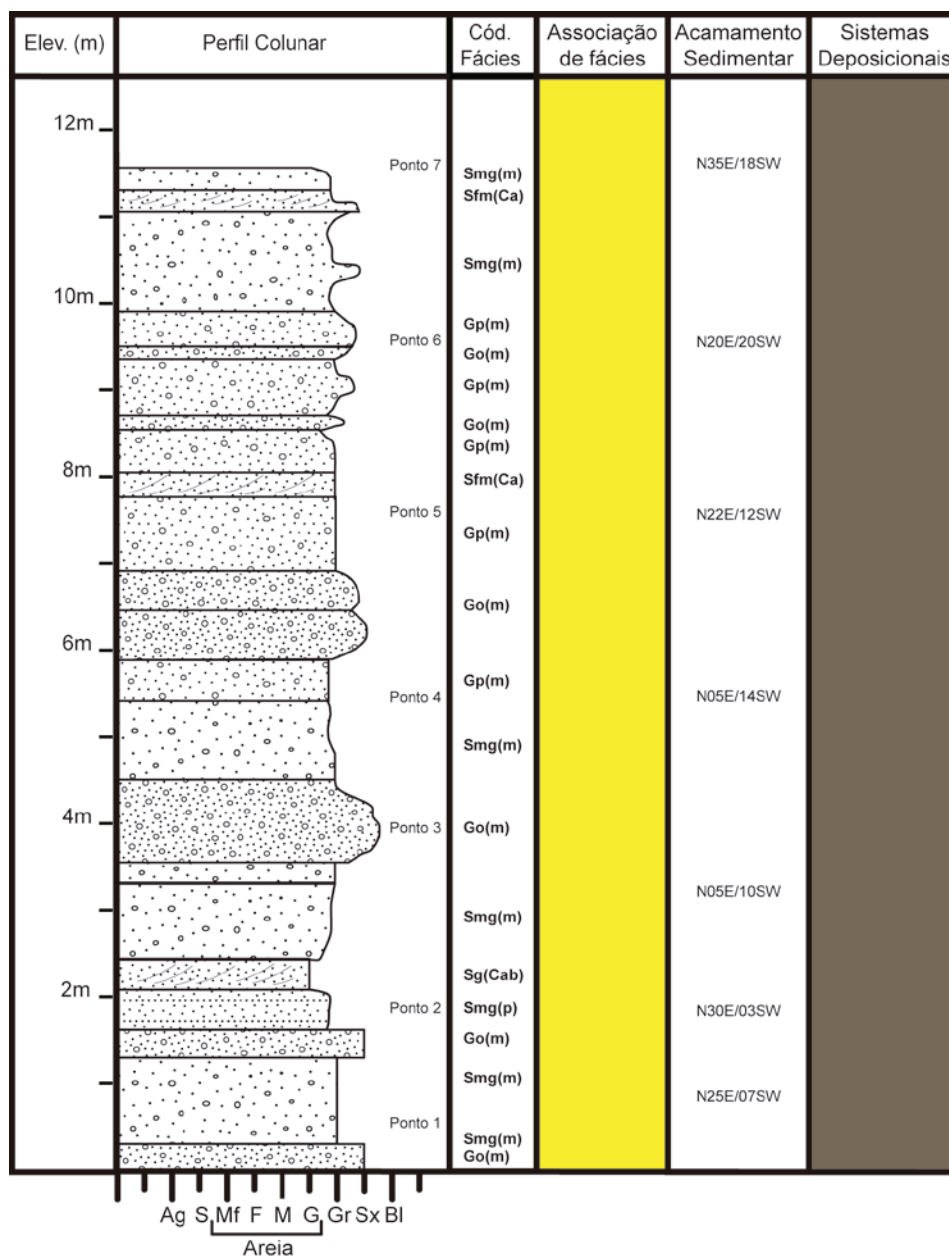
com valor médio de 10,709% ($\pm 3,108\%$ 1 SD). A concentração de Magnésio (Mg) variou entre 1,64% e 6,32% com valor médio de 4,125% ($\pm 1,294\%$, 1 SD). A concentração de Potássio (K) variou entre 1,53% e 3,45% com valor médio de 2,656% ($\pm 0,554\%$ 1 SD). A concentração de Cálcio (Ca) variou entre 0,035% e 5,5% com valor médio de 1,717% ($\pm 1,515\%$ 1 SD). A concentração de Ferro (Fe) variou entre 0,69% e 1,82% com valor médio de 1,316% ($\pm 0,363\%$ 1 SD). A concentração de Titânio (Ti) variou entre 0,02% e 0,35% com valor médio de 0,174% ($\pm 0,101\%$ 1 SD). A concentração de Fósforo (P) variou entre ausente e 0,34% com valor médio de 0,059% ($\pm 0,085\%$ 1 SD). A concentração de Manganês (Mn) variou entre ausente e 0,090% com valor médio de 0,028% ($\pm 0,022\%$ 1 SD).

4.2.2 Análise estatística do perfil 2 (P2)

No levantamento realizado no Perfil 2 (**Fig. 12c**) foram analisadas amostras de 7 pontos. A partir da análise estatística se observou as seguintes concentrações: Sílica (Si) variou entre 12,85% e 62,45% com valor médio de 45,8% ($\pm 18,379\%$ 1 SD). A concentração de Alumínio (Al) variou entre 2,95% e 3,47% com valor médio de 11,559% ($\pm 4,417\%$ 1 SD). A concentração de Magnésio (Mg) variou entre 3,23% e 5,89% com valor médio de 4,185% ($\pm 1,097\%$, 1 SD). A concentração de Potássio (K) variou entre 1,93% e 3,80% com valor médio de 2,831% ($\pm 0,594\%$ 1 SD). A concentração de Cálcio (Ca) variou entre 0,1% e 1,43% com valor médio de 0,476% ($\pm 0,0447\%$ 1 SD). A concentração de Ferro (Fe) variou entre 0,73% e 1,65% com valor médio de 1,074% ($\pm 0,349\%$ 1 SD). A concentração de Titânio (Ti) variou entre 0,1% e 0,25% com valor médio de 0,165% ($\pm 0,054\%$ 1 SD). A concentração de Fósforo (P) variou entre ausente e 0,615% com valor médio de 0,181% ($\pm 0,211\%$ 1 SD). A concentração de Manganês (Mn) variou entre 0,005% e 0,44% com valor médio de 0,077% ($\pm 0,161\%$ 1 SD).

A análise dos gráficos de correlação de elementos maiores (**Figs. 17 e 18**) mostra que a SiO_2 possui correlação positiva com Al_2O_3 e K_2O e correlação negativa com MgO e CaO , apesar de uma alta dispersão. Os demais óxidos possuem baixa correlação com SiO_2 .

Figura 15 – Perfil vertical 2 – P2.

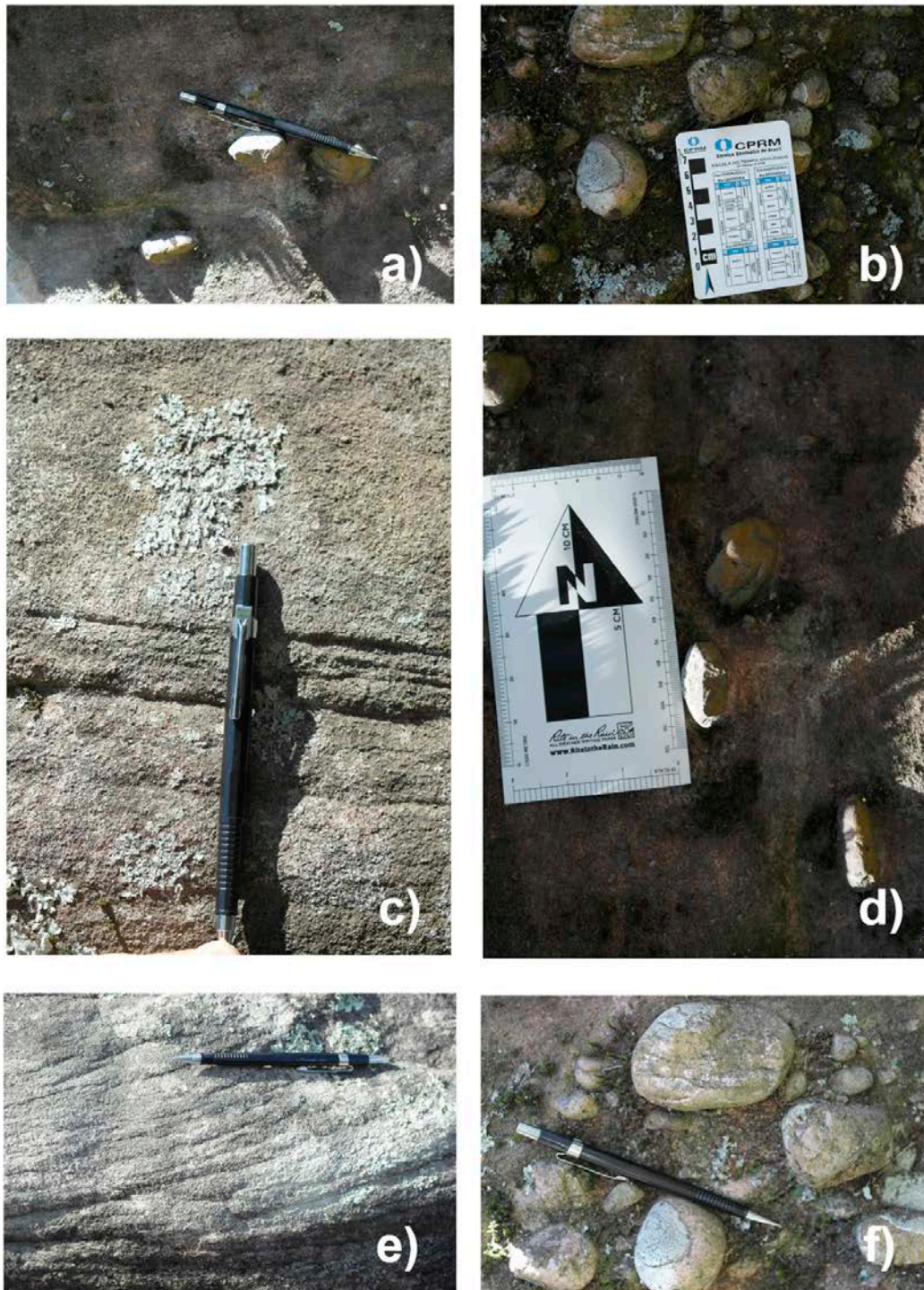


LEGENDA

- Sistemas de leques aluviais distais
- Associação das Fácies Go(m), Gp(m), Sfm(Ca), Sg(Cab), Smg(m) e Smg(p)
- Go(m)** - Orto-conglomerado maciço, constituído por seixos centimétricos mal selecionados. A mineralogia é composta por quartzo de veio, clastos de granitóides e riolitos. Imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Gp(m)** - Para-conglomerado maciço, mal selecionado. Constituído por seixos centimétricos de quartzo de veio, granitóides, riolitos, imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Sg(Cab)** - Arenito grosso, mal selecionado com estrutura cruzada acanalada de baixo ângulo. Com ocorrência de grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.
- Smg(m)** - Arenito grosso, grânulos e seixos mal selecionados. Compostos por quartzo de veio, riolitos e granitos com predominância de arenito grosso. Apresentando estrutura maciça. Os seixos e grânulos flutuam na matriz arenosa.
- Smg(p)** - Arenito muito grosso, mal selecionado com estrutura plano paralela e grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.

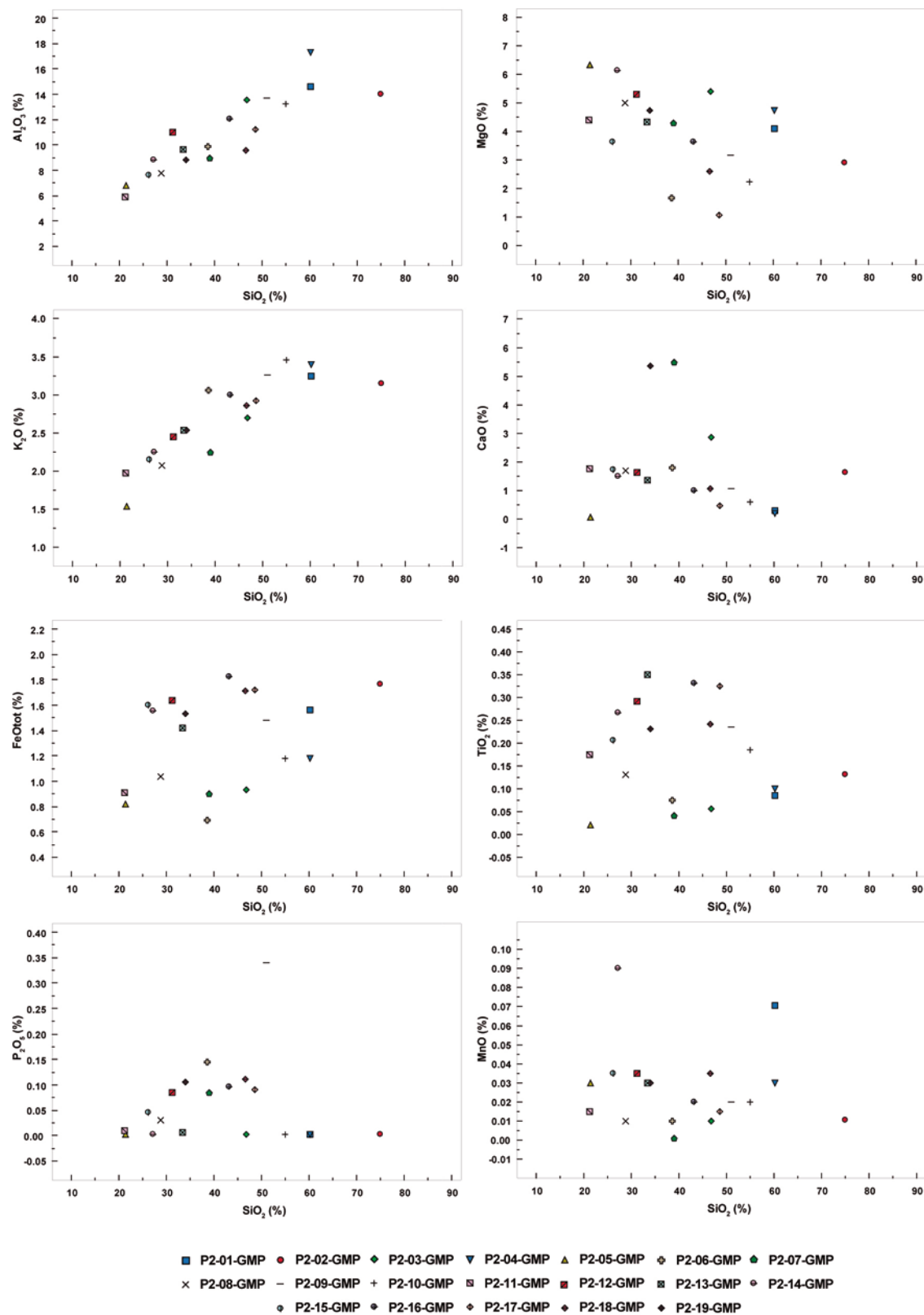
Fonte: Autor.

Figura 16 – Associação de Fácies do P2, onde: a) Fácies Gp(m), b) Fácies Go(m), c) Fácies Smg(p), d) Fácies Smg(m), e) Fácies Sfm(Ca) e f) Fácies Sfm(Cab), segundo o código de fácies da tabela 2, interpretadas como Sistema de leques aluviais distais.



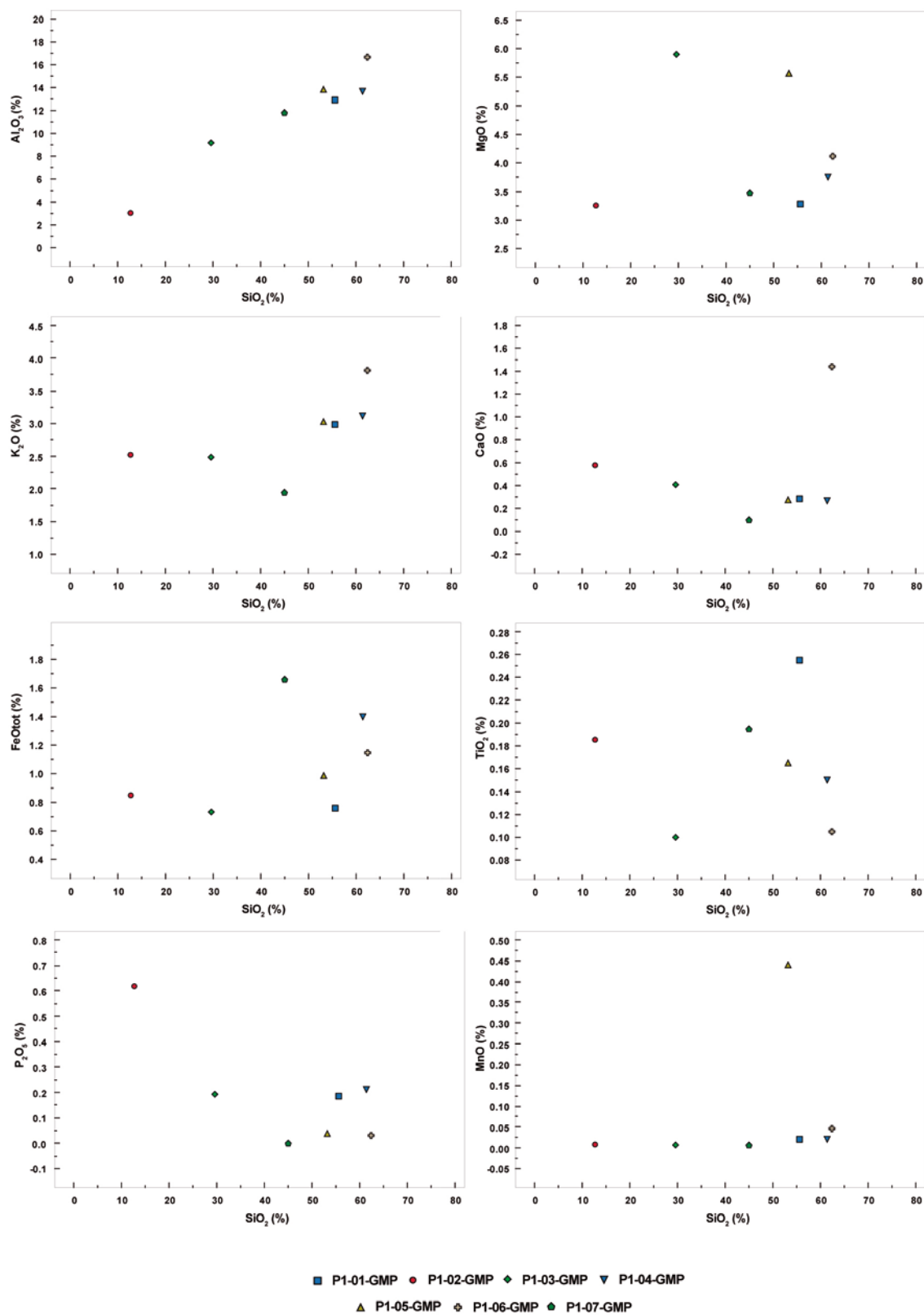
Fonte: Autor.

Figura 17 – Diagramas de correlação elemental SiO_2 versus Óxidos do P1.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Diagramas de correlação elemental SiO_2 versus Óxidos do P2.



Fonte: Autor.

4.3 Análise Químioestratigráfica

Nos perfis químioestratigráficos compostos (**Anexo IV**, **Anexo V** e **Anexo VI**), juntamente com o perfil vertical e suas respectivas fácies, foram identificadas três unidades, divididas em inferior, intermediária e superior.

Na **Unidade Químioestratigráfica Inferior** do perfil composto de *Elementos Maiores* (**Anexo IV**) ocorre um padrão serrilhado para SiO₂, Al₂O₃, K₂O, CaO, Fe₂O₃ Total, P₂O₅ até o ponto 11 (elevação 247 m) e para MgO e TiO₂ até a ponto 18 (elevação 262m). No perfil dos *Elementos Maiores Normalizados por Alumínio* (**Anexo V**), ocorre o mesmo padrão serrilhado para MgO, CaO, Fe₂O₃ Total e TiO₂ até o ponto 11 (elevação 247 m). Os elementos SiO₂, K₂O, P₂O₅ e MnO apresentam-se com um padrão linear na porção inferior do perfil colunar. No perfil composto do *Log da razão de Elementos Maiores Normalizados por Alumínio* (**Anexo VI**), ocorre padrão serrilhado para MgO, CaO, P₂O₅ e MnO até o ponto 11 (elevação 247 m) e para MgO até a ponto 18 (elevação 262m). Os elementos SiO₂, K₂O, Fe₂O₃ Total, TiO₂ apresentam-se com padrão linear na porção inferior do perfil colunar.

A **Unidade Químioestratigráfica Intermediária** do perfil composto de *Elementos Maiores* (**Anexo IV**), que abrange do ponto 12 (elevação 249 m) ao ponto 19 (elevação 264 m), ocorre um padrão em arco para SiO₂, Al₂O₃, MgO, K₂O, CaO, Fe₂O₃ Total, TiO₂ e MnO. Nesse trecho, a SiO₂ variou entre 31,4% e 34,05%; Al₂O₃ variou entre 10,9% e 8,8%; MgO variou entre 5,2% e 4,705%; K₂O variou entre 2,4% e 2,5%; CaO variou entre 1,6% e 5,3%; Fe₂O₃ Total variou entre 1,6% a 1,5%; TiO₂ variou entre 0,29% e 0,23%; P₂O₅ variou entre 0,08% e 0,1% e MnO variou entre 0,035% e 0,030%. No perfil dos *Elementos Maiores Normalizados por Alumínio* (**Anexo V**), ocorre padrão em arco para SiO₂, MgO, CaO e Fe₂O₃ Total. Nesse trecho, a SiO₂ variou entre 3,6% e 3,8%; MgO variou entre 0,7% e 0,5%; CaO variou entre 0,3% e 0,6%; Fe₂O₃ Total variou entre 0,15% a 0,17% e TiO₂ variou entre 0,03% e 0,02%. Os elementos K₂O, TiO₂, P₂O₅ e MnO ocorrem com padrão linear, apresentando baixos valores de conteúdo geoquímico. No perfil composto do *Log da razão de Elementos Maiores Normalizados por Alumínio* (**Anexo VI**), na porção entre os pontos 12 (elevação 249 m) e 19 (elevação 264 m), ocorre um padrão linear para SiO₂, K₂O, CaO, Fe₂O₃ Total, TiO₂. O MgO apresenta padrão serrilhado variando

entre -0,595 e -0,530 e P_2O_5 apresenta assinatura geoquímica baixa no ponto 13 (elevação 251) com valores de -3,242. No primeiro trecho, os padrões lineares variaram em: SiO_2 entre 0,458 e 0,588; K_2O entre -0,652 e -0,541; CaO entre -0,830 e -0,215; Fe_2O_3 Total entre -0,826 a -0,760 e TiO_2 entre -1,577 e -1,583. O trecho com padrão serrilhado apresenta valores de MgO entre -0,317 e -0,272 e P_2O_5 com valores -2,110 e -1,923.

A **Unidade Quimioestratigráfica Superior** do perfil composto de *Elementos Maiores (Anexo IV)*, que abrange do ponto 20 (elevação 312 m) ao ponto 26 (elevação 323 m), apresenta padrão serrilhado para SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , Fe_2O_3 Total, TiO_2 e padrão linear para CaO , P_2O_5 e MnO . As concentrações no padrão serrilhado foram: SiO_2 variando de 55,7% a 45,1% com um *trend* menor no ponto 21 (elevação 314 m), com valor de 12,85%; Al_2O_3 variando de 12,9% a 11,8% que também apresentou um *trend* menor no ponto 21 (elevação 314 m), com valor de 2,9%; MgO variando de 3,2% a 3,4%; K_2O variando de 2,9% a 1,9%; Fe_2O_3 Total variando de 0,7% a 1,6%; e TiO_2 variando de 0,2% a 0,1%. As concentrações no padrão linear são: CaO variando entre 0,2% e 0,1%; e MnO variando entre 0,020% e 0,006%, com uma assinatura geoquímica baixa, com valor de 0,440% no ponto 24 (elevação 320 m). No perfil dos *Elementos Maiores Normalizados por Alumínio (Anexo V)*, ocorre padrão linear para SiO_2 , MgO , K_2O , CaO , Fe_2O_3 Total, TiO_2 e P_2O_5 , com anomalia na assinatura geoquímica no ponto 21 (elevação 314 m). Os valores de MnO apresentam anomalia no ponto 24 (elevação 319 m). Os valores da anomalia no ponto 21 foram os seguintes: SiO_2 com valor de 4,3%; MgO com valor de 1,09%; K_2O com valor de 0,8%; CaO com valor de 0,1%; Fe_2O_3 Total com valor de 0,2%; TiO_2 com valor de 0,06%; e P_2O_5 com valor de 0,2%. O valor da anomalia de MnO no ponto 24 foi de 0,002%. No perfil do *Log da razão de Elementos Maiores Normalizados por Alumínio (Anexo VI)*, a unidade quimioestratigráfica superior apresenta três padrões de assinatura, sendo eles o padrão linear para SiO_2 e TiO_2 , padrão serrilhado para MgO , K_2O , P_2O_5 e MnO , e padrão em arco para CaO , Fe_2O_3 . Ocorrem anomalias na assinatura geoquímica de MgO , K_2O , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 no ponto 21 (elevação 314 m). Nesse caso, os seguintes valores de MgO foram obtidos: 0,040, K_2O com valor de -0,071, CaO com valor de -0,710, Fe_2O_3 com valor de -0,543, com valor de TiO_2 -1,203 e P_2O_5 com valor de -0,681. Além dessas

anomalias existe um pico bem definido no ponto 24 (elevação 319 m) com valor de -2,729.

5 DISCUSSÃO

5.1 Acurácia e Precisão

Para garantir uma excelência na amostragem, o aparelho de FRXp deve ser submetido a testes com amostras padrão, amostras brancas ou duplicatas (WELTJE *et al.*, 2015). *Amostras padrão* devem possuir certificados de referência de diversos laboratórios especializados e licenciados para tal análise. Estes padrões são caracterizados por serem substâncias homogêneas com concentrações de elementos químicos bem determinada e com nível de confiança igual ou superior a 95%. *Amostras branco* devem consistir em medidas cujos teores não são detectáveis com relação aos elementos de interesse, tendo por objetivo indicar e monitorar qualquer possível contaminação causada por limpeza precária do equipamento ou material. *Duplicatas* tem por objetivo verificar a consistência ou concordância das medidas e objetivam também a obtenção de indicações acerca da adequação e representatividade dos métodos analíticos. Assim, as duplicatas devem ser coletadas exatamente no mesmo local e sob as mesmas condições que a amostra original.

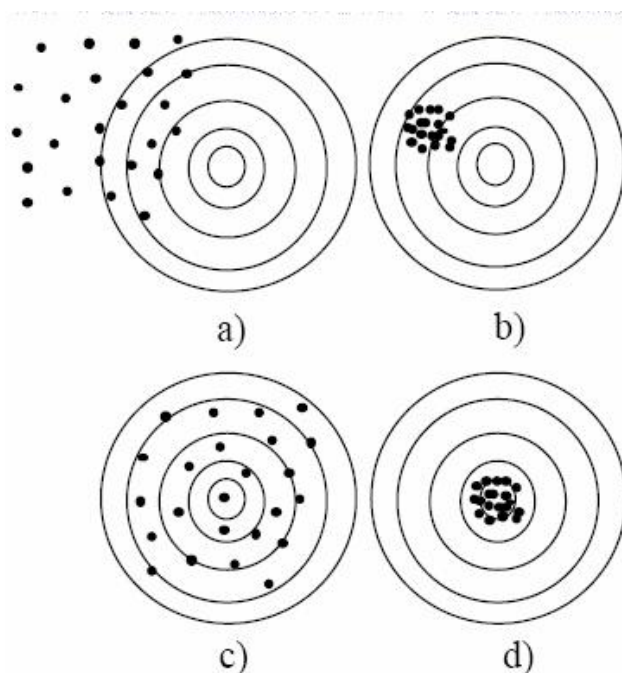
Para garantir a qualidade e representatividade dos resultados analíticos que serão gerados a partir das análises de FRXp, esses procedimentos devem ser realizados com objetivo de alcançar a validação e assegurar a qualidade das informações obtidas. Para avaliar a qualidade das análises realizadas com a FRXp são discutidos procedimentos segundo os conceitos de acurácia e precisão (**Fig. 18**).

A acurácia consiste na proximidade do valor médio de um conjunto de amostras em relação ao valor real do lote amostrado, independente da sua dispersão, medindo a diferença entre o valor encontrado e o valor teórico real. Uma análise possui maior acurácia quanto maior for a sua aproximação ao valor

verdadeiro. Já a precisão se refere à dispersão das amostras em relação a sua média, independente da proximidade do valor médio das amostras em relação ao valor real. Assim a precisão é o valor que pode ser obtido através da análise de duplicatas de mesmas amostras. Portanto, considera-se uma medida como precisa quanto menor for sua dispersão estatística em torno de um valor médio (CHIEREGATI, 2010).

A **Figura 19a** ilustra a situação em que análises ocorrem dispersas em uma região distante do centro do alvo. Nesse caso podemos interpretar que esse resultado apresenta uma baixa acurácia e precisão. Na **Figura 19b** as análises aparecem concentradas em uma pequena região, porém distantes do centro do alvo. O resultado apresenta-se com uma alta precisão (repetibilidade), porém com baixa acurácia. Na **Figura 19c** as análises apresentam-se de forma dispersa, mas ao redor do centro do alvo, sendo definidas com boa acurácia, porém com baixa precisão (não há repetibilidade). Na **Figura 19d**, ocorre a situação em que as análises ocorrem concentradas em uma pequena região ao redor do centro do alvo, esse resultado então apresenta uma excelente acurácia e precisão.

Figura 19 – Conceitos de acurácia e precisão, a) baixa acurácia e precisão; b) alta precisão e baixa acurácia; c) boa acurácia e baixa precisão e d) excelente acurácia e precisão.



Neste trabalho a precisão não foi analisada, pois não foram realizadas análises da amostra padrão, brancas e duplicatas. Contudo, a acurácia das análises pode ser analisada através do desvio padrão das médias calculadas para as medidas realizadas em 60 e 90s conforme visto na (**Tabela 3 e 4**). O desvio padrão das médias das medidas realizadas em 60 e 90 s variou entre 0,049 e 5,090. Sendo assim, a acurácia das análises apresentadas no presente trabalho foi considerada satisfatória.

A falta de avaliação da precisão dos dados no presente trabalho permite somente a realização de inferências relativas entre os padrões apresentados nos perfis compostos.

5.2 Químioestratigrafia

A partir da análise realizada na **seção 4.2** foi possível correlacionar as *Unidades Químioestratigráficas Inferior e Intermediária* com as associações de fácies do Sistema de dunas eólicas, até o ponto 18; e com o Sistema fluvial entrelaçado entre o ponto 18 e 19. A *Unidade Químioestratigráfica Superior* tem correlação com o Sistema de leques aluviais distais.

As anomalias geoquímicas identificadas nos pontos 21 e 24 correspondem às rochas conglomeráticas.

5.3 Diagramas de Correlação Elementar SiO₂ versus Óxidos

A correlação positiva entre SiO₂ e Al₂O₃, observadas nos diagramas de correlação das Figuras 14 e 15, não são o esperado para rochas sedimentares siliciclásticas. Segundo Fralick e Kronberg (1997), a relação inversa entre SiO₂ e Al₂O₃ nas rochas sedimentares clásticas reflete a gradação textural entre lamitos e arenitos. A grande parcela dos grãos detríticos que contém SiO₂ estão na fração areia do espectro de sedimentos e são representadas principalmente por quartzo. Por outro lado, os grãos detríticos que contém Al₂O₃ estão na maior parte na fração argila a silte do espectro de sedimentos e são representados principalmente por

argilominerais (e.g., MCLENNAN *et al.*, 1993; FRALICK E KRONBERG, 1997). Dessa forma, rochas que contém maior teor de areia tem a tendência de apresentar maior conteúdo de SiO₂ e rochas que contém maior teor de lama tendem a apresentar maior conteúdo de Al₂O₃.

No presente estudo, as análises mostram uma relação contrária ao observado na maior parte das situações geológicas. O teor de SiO₂ e Al₂O₃ estão diretamente relacionados. Essa variação pode estar relacionada a baixa precisão do instrumento, a calibração ineficaz, entre outros fatores que devem ser melhor estudados.

6 CONCLUSÕES

A quimioestratigrafia é uma ferramenta importante na análise estratigráfica em afloramentos (ou *in situ*), fornecendo um arcabouço quantitativo para a subdivisão do registro estratigráfico (RAMKUMAR, 2015).

No presente trabalho não foi realizada análise de precisão, assim os dados podem não concordar com os valores geoquímicos absolutos, mas, a alta acurácia permite a análise da variação relativa entre os teores geoquímicos. Sendo assim, foi possível a caracterização de três unidades quimioestratigráficas distintas.

As vantagens do uso da FRXp são diversas, incluindo a portabilidade, o curto tempo de análise, a ampla variedade de elementos que podem ser identificados, contudo deve ser utilizado em associação com dados geoquímicos analisados em laboratórios com padrão de certificação.

Como sugestão para trabalhos futuros, deve-se realizar análise da precisão e acurácia e realizar aquisição em mais do que 1 perfil para subdividir o registro estratigráfico em 2D ou em 3D. Essa ferramenta tem potencial em auxiliar a definição de unidades estratigráficas, em associação com análise faciológica, bioestratigráfica, de estratigrafia de sequências, entre outras técnicas estratigráficas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Delia del Pilar Montecinos de; MACHADO, Adriane; CHEMALE JR, Farid. **Late to Post-Orogenic Brasiliano-Pan-African Volcano-Sedimentary Basins in the Dom Feliciano Belt, Southernmost Brazil**, in: Al-Juboury, A.I. (Ed.), *Petrology – New Perspectives and Applications*, pp. 73-135, 2012

ALMEIDA, Renato Paes de. **Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai oriental)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.

ALMEIDA, Renato Paes de; JANIKIAN, Liliane; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; MARCONATO, André. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: the Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brasil. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 217, p. 30-51, 2009.

BICCA, Marcos Müller; CHEMALE JR, Farid., JELINEK, Andrea Ritter; DE OLIVEIRA, Christie Helouise Engelmann; GUADAGNIN, Felipe; ARMSTRONG, Richard. Tectonic evolution and provenance of the Santa Bárbara Group, Camaquã Mines region, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 48, p. 173-192, 2013.

BORBA, André Weissheimer; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel; SANTOS, João Orestes Schneider; MCNAUGHTON, Neal. J.; ONOE, Arthur. T.; HARTMANN, Leo Afraneo. U-Pb zircon and ⁴⁰Ar-³⁹Ar K-feldspar dating of synsedimentary volcanism of the Neoproterozoic Maricá Formation: constraining the age of foreland basin inception and inversion in the Camaquã Basin of southern Brazil. **Basin Research**, p. 359-375, 2008.

BRUKER. **Bruker Corporation**, 2015a. Disponível em: <<https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/handheld-xrf/x-ray-fluorescence-spectrometer.html>>. Acesso em: 18 de maio 2015.

BRUKER. **Bruker Corporation**, 2015b. Disponível em: <<https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/handheld-xrf/how-xrf-works.html>>. Acesso em: 18 de maio 2015.

CATUNEANU, O; ABREU, V; BHATTACHARYA, J. P; BLUM, M. D; DALRYMPLE, R. W; ERIKSSON, P. G; FIELDING, C. R; GALLOWAY, W. E; GIBLING, M.R; GILES, K. A; HOLBROOK, J. M; JORDAN, R; KENDALL, C. G. St. C; MACURDA, B; MARTINSEN, O.J; MIAL, A. D; NEAL, J. E; NUMMEDAL, D; POMAR, L; POSAMENTIER, H. W; PRATT, B. R; SARG, J. F; SHANLEY, K. W; SHANLEY, K. W; STEEL, R. J; STRASSER, A; TUCKER, M. E; WINKER, C. Towards the standardization of sequence stratigraphy. **Earth-Science Reviews**, v. 92, n. 1, p. 1-33, 2009.

CHEMALE JR, F. Evolução Geológica do Escudo sul-rio-grandense. In: CIGO/UFRGS **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: [s.n.], p. 13-52, 2000.

CHIEREGATI, A. C. Amostragem, Reconciliação Mineral e Geoestatística. Belo Horizonte: Treinamento Técnico Especializado (TTE). **Apostila de Curso** 2010.

COHEN, K.M; FINNEY, S.C; GIBBARD, P.L; FAN, J.-X. (2013; updated) **The ICS International Chronostratigraphic Chart**. Episodes 36: 199-204. Disponível em URL: <<http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01.pdf>>. Acesso em: 8 de novembro de 2015.

DALRYMPLE, Robert Walker. Interpreting sedimentary successions: facies, facies analysis and facies models. In: JAMES, Noel. P.; DALRYMPLE, Robert W. **Facies Models**. 4ª. ed. St. John's: Geological Association of Canada,. p. 3-18, 2010.

EHRENBERG, S. N.; SIRING, E. Use of bulk chemical analyses in stratigraphic correlation of sandstones: an example from the Statfjord Nord Field, Norwegian continental shelf. **Journal of Sedimentary Research**, v. 62, n. 2, 1992.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Evolução paleoambiental e tectônica da Bacia do Camaquã: uma introdução**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, p. 105. 1984.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo - USP - Tese (Doutorado). São Paulo, p. 366. 1991.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; ALMEIDA, Renato Paes de; FAMBRINI, Gelson Luis; PELOSI, Ana Paula Meireles Reis; JANIKIAN, Liliane. A

Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III – Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: HARTMANN, L. A. I **Encontro sobre Estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias**, 1. Porto Alegre: [s.n.], p. 139-144, 2003.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; FAMBRINI, Gelson Luis; ALMEIDA, Renato Paes de; PELOSI, Ana Paula Meireles Reis; JANIKIAN, Liliane; RICCOMINI, Claudio; NOGUEIRA, Afonso Cesar Rodrigues; SAES, Gersos Souza. The Camaquã Extensional Basin: Neoproterozoic to Early Cambrian Sequences in Southernmost Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 442-445, 2000.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; SILVA FILHO, W.F; FAMBRINI Gelson Luis; MACHADO, R; RICCOMINI Claudio; ALMEIDA, Renato Paes de; PELOSI, Ana Paula Meireles Reis; JANIKIAN, Liliane. Significado tectônico do magmatismo Rodeio Velho no rift Guaritas (Eopaleozóico do Rio Grande do Sul, Brasil). In: **Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados**, 1, Boletim de resumos, p.16, 1999.

FRALICK, P. W.; KRONBERG, B. I. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. **Sedimentary Geology**, v. 113, n. 1, p. 111-124, 1997.

GODINHO, Lucas Padoan de Sá; ALMEIDA, Renato Paes de; MARCONATO, André; SANTOS, Mauricio Guerreiro Martinho dos; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. Análise de proveniência dos arenitos conglomeráticos do Grupo Guaritas (RS): implicações para o paleoclima e a paleogeografia da sub-bacia Camaquã Central no Eocambriano. **Geologia USP, Série Científica**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 123-144, 2013.

GOOGLE IMAGENS. **Google**, 2015. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2008/Debora+ThiagoDouglas/relat2/PROJETO%20ZILMA%20TRUE_arquivos/image131.jpg>. Acesso em: 28 de novembro de 2015.

HAMPSON, G. J.; HOWELL, J. A. Sedimentologic and geomorphic characterization of ancient wave-dominated deltaic shorelines; Upper Cretaceous Blackhawk Formation, Book Cliffs, Utah, USA. In: GIOSAN, L.; BHATTACHARYA, J. P. **River**

Deltas - Concepts, Models and Examples. Tulsa: Society for Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, v. 83, p. 133-154, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/MWX9>>. Acesso em: 30 Abril 2015.

JANIKIAN, Liliane; ALMEIDA, Renato Paes de; TRINDADE, Ricardo Ivan Ferreira da; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; D'AGRELLA-FILHO, Manoel Souza; DANTAS, Elton Luis; TOHVER, Eric. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in Southern Brazil and their global implications. **Terra Nova**, Cowley, Oxford, v. 20, n. 4, p. 259-266, 2008.

JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry.** John Wiley and Sons, Nova Iorque, 2 ed., 232 p, 1999.

JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry.** Swarthmore, Pennsylvania: John Wiley & Sons, 175 p, 1988.

KEVEX INSTRUMENTS, INC. **Energy-Dispersive X-Ray Microanalysis: An Introduction.** 1989.

KNELLER, Ben. Beyond the turbidite paradigm: physical models for deposition of turbidites and their implications for reservoir prediction. In: Characterization of deep marine clastic systems. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 94, n. 1, p. 31-49, 1995.

LAVINA, Ernesto Luiz Correa; FACCINI, Ubiratan Ferrucio; Paim, Paulo Sergio Gomes; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Ambientes de sedimentação da Bacia do Camaquã, eo-paleozóico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Acta Geologica Leopoldensia, v.31, n. 9, p. 185-227, 1985.

MACPHERSON, Harry Gordon. A chemical and petrographic study of Pre-Cambrian sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 14, n. 1, p. 73-92, 1958

MAGALHÃES, A. J. C; RAJA GABAGLIA, G. P; SCHERER, C. M. S; BÁLLICO, M. B; GUADAGNIN, F; BENTO FREIRE, E; BORN L. R. S; CATUNEANU, O. Sequence hierarchy in a Mesoproterozoic interior sag basin: from basin fill to reservoir scale, the Tombador Formation, Chapada Diamantina Basin, Brazil. **Basin Research**, p. 1-40, 2015.

MARASCHIN, Anderson José; MIZUSAKI, Ana Maria, ZWINGMANN, Horst, BORBA, André Weissheimer de; SBRISSA, Gesiane Fraga. Illite authigenesis in sandstones of the Guaritas Allogroup (Early Paleozoic): implications for the depositional age, stratigraphy and evolution of the Camaquã Basin (Southern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, n. 2, p. 400-411, 2010.

MCLENNAN, S.M; HEMMING, S; MCDANIEL, D.K; HANSON, G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: JOHNSSON. M.J., BASU, A. (Eds.), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. **Geological Society of America Special Paper** 284, p. 21-40, 1993.

MIALL, A. D. **Principles of sedimentary basin analysis**. 2ª. ed. New York: Springer-Verlag, 668 p, 1990.

MIALL, A.D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. Italy, Springer Verlag, 582p, 1996.

MURRAY, R.W; MILLER, D.J; KRYC, K.A. Analysis of Major and Trace Elements in Rocks, Sediments, and Interstitial Waters by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). ODP Technical Note 29, 2000. 27 p.

NICHOLS, Gary. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell, 2 ed., 419 p, 2009.

NÓBREGA, Jorge Emanuel dos Santos. **PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DO GRUPO GUARITAS, CAMBRIANO DA BACIA DO CAMAQUÃ (RS)**. Tese de Doutorado. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS. 2011.

NORTH, C. P.; PROSSER, D. J. Characterization of fluvial and Aeolian reservoirs: Problems and approaches. In: NORTH, C. P.; PROSSER, D. J. **Characterization of Fluvial and Aeolian Reservoirs**. UK: Geological Society of London, Special Publication, v. 73, p. 1-6, 1993.

OLIVEIRA, Christie Helouise Engelmann de. **Evolução Tectono-Estratigráfica das Bacias Santa Bárbara e Guaritas, Rio Grande do Sul**. UFRGS (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre, p. 102. 2012.

PAIM, Paulo Sergio Gomes. **Depositional systems and Paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil**. Doctor Thesis, University of Oxford. [S.l.], p. 277. 1994.

PAIM, Paulo Sergio Gomes; LOPES, Ricardo Cunha. Geologia da Região das Minas do Camaquã. In: RONCHI, L. H.; LOBATO, A. O. C. **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar**. São Leopoldo: Unisinos, p. 111-132 2000.

PAIM, Paulo Sergio Gomes; SCHERER, Claiton Marlon dos Santos. High-resolution stratigraphy and depositional model of wind- and waterlaid deposits in the ordovician Guaritas rift (Southernmost Brazil). **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 202, n. 4, p. 776-795, 2007.

POSAMENTIER, H. W.; JAMES, D. P. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In: POSAMENTIER, H. W., et al. **Sequence Stratigraphy and Facies Associations**. Oxford: Blackwell, p. 3-18, 1993.

RAMKUMAR, Muthuvairavasamy. Toward Standardization of Terminologies and Recognition of Chemostratigraphy as a Formal Stratigraphic Method. In: RAMKUMAR, Muthuvairavasamy. **Chemostratigraphy – Concepts, Techniques, and Applications**. Department of Geology, Periyar University, Salem, Tamilnadu, India: Elsevier, Cap. 1, p. 1-21, 2015.

READING, H. G. **Sedimentary Environments: Process, Facies and Stratigraphy**. New Delhi: Blackwell Science, 688 p, 1996.

RIBEIRO, Mauricio. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul**. DNPM/DFPM (Boletim 127). Rio de Janeiro, p. 232. 1966.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; TASSINARI, C. C. G. Pré-sal: geologia e exploração. **Revista USP**, São Paulo, n. 95, p. 33-42, 2012.

ROBERTSON, J. F. **Revision of the stratigraphy and nomenclature of the rock units in Caçapava – Lavras region, State of Rio Grande do Sul, Brazil**. Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, v.1, n. 2, p. 41-54. 1966.

SHANMUGAM, Ganapathy. 50 years of the turbidite paradigm (1950s - 1990s): deep-water processes and facies models - a critical perspective. **Marine and Petroleum Geology**, v. 17, n. 2, p. 285-342, 2000.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Principles of Instrumental Analysis**. 5ª. ed. Philadelphia: Harcourt Brace, 700 p, 1998.

SLATT, R.M. Why Outcrop Characterization of Turbidite System. *In*: BOUMA A.H., E STONE C.G. (eds.) ***Fine-Grained Turbidite Systems***. AAPG, v. 72, SEPM, Special Publication 68, p.181-185, 2000.

URBANO, Emílio Evo Magro Corrêa. **Estudo de Caso sobre Aplicação de um Analisador Químico de Mão no Controle de Qualidade de Minério de Ferro**. Departamento de Engenharia de Minas - Curso de especialização em Engenharia de Recursos Minerais – CEERMIN – Universidade Federal de Minas Gerais – Monografia (Especialização). Belo Horizonte, p. 62, 2013.

WALKER, R. G. Eolian Facies Models. *In*: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. **Facies Models Revisited**. Tulsa: Society for Sedimentary Geology, SEPM Special Publication, v. 84, p. 19-84, 2006a.

WALKER, R. G. Facies models revisited: Introduction. *In*: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. **Facies models revisited**. Tulsa: Society for Sedimentary Geology, SEPM Special Publication, v. 84, p. 1-18, 2006b.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In*: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. **Facies models: response to sea level change**. St. John's: Geological Association of Canada, 1992. p. 1-25.

WELTJE, G. J; BLOEMSMA, M. R; TJALLINGII, R; HESLOP, D; RÖHL, U; CROUDACE, I. W. Prediction of geochemical composition from XRF-core-scanner data: A new multivariate approach including automatic selection of calibration samples and quantification of uncertainties. **Developments in Paleoenvironmental Research**, p. 507-534, 2015.

WENTWORTH, Chester K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377-392, 1922.

WICKMAN, Frans E. The total amount of sediments and the composition of the average igneous rock. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 5, n. 3, p. 97-110, 1954.

WILDNER, W; RAMGRAB, Gilberto Emílio; LOPES, Ricardo da Cunha; IGLESIAS, Carlos Moacyr Fontoura. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. CPRM. Porto Alegre. 2008.

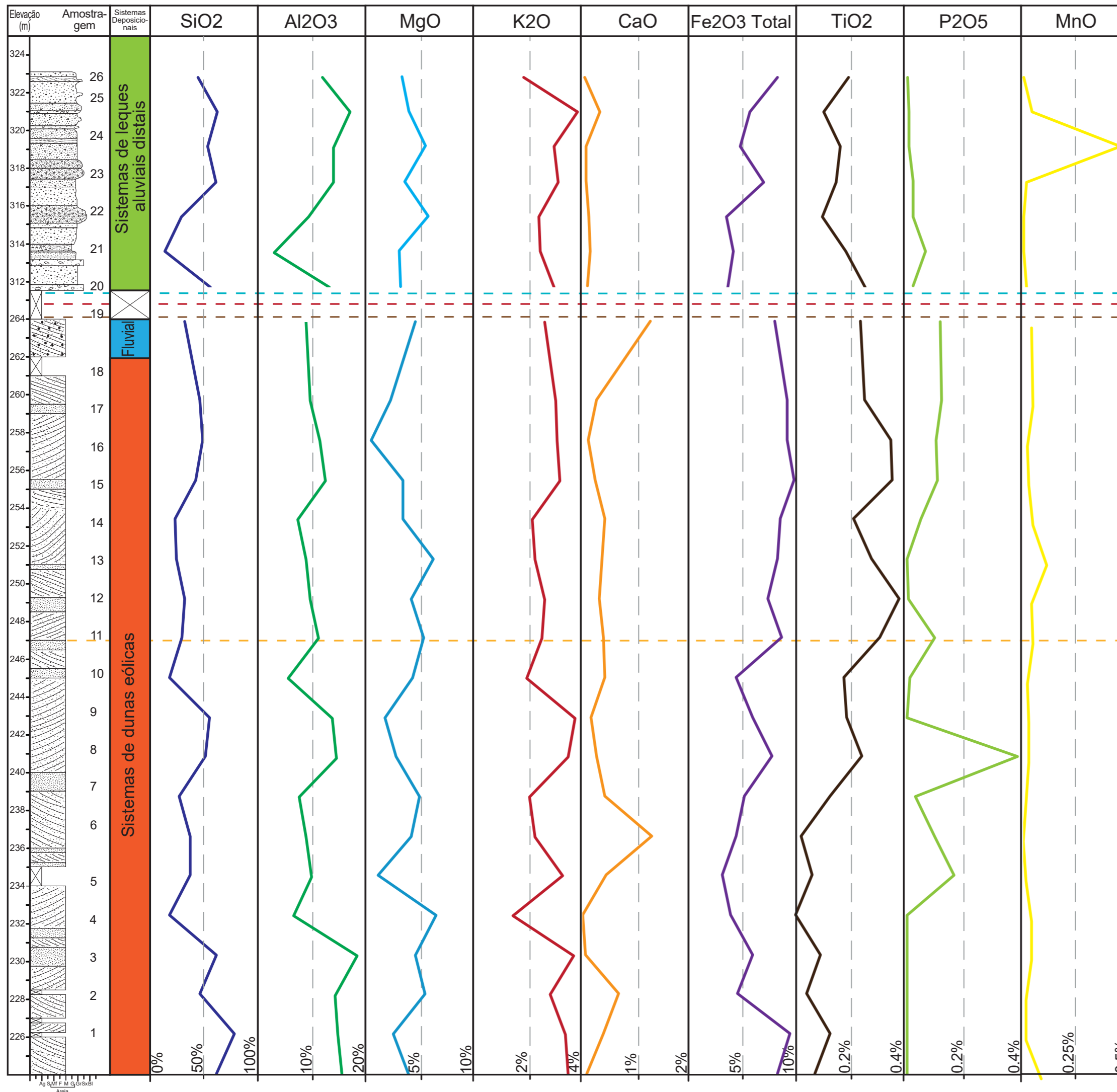
ANEXOS

P1	18	97	30.09.2015	14:34:00	3009-P1-18-3030	283653/6583154	60,40	3,430	3,220	8,540	0,660	42,600	0,740	0,140	0,070	3,210	0,030	1,390	0,020	0,210	0,010	0,040	0,000	2,040	0,020				
P1	18	98	30.09.2015	14:36:00	3009-P1-18-4545	283653/6583154	90,70	1,760	2,360	10,600	0,550	50,700	0,660	0,080	0,050	2,500	0,020	0,690	0,010	0,270	0,010	0,030	0,000	1,380	0,010				
P1	18						Média	2,595	2,790	9,570	0,605	46,650	0,700	0,110	0,060	2,855	0,025	1,040	0,015	0,240	0,010	0,035	0,000	1,710	0,015				
P1	18						Desvio Padrão	1,181	0,608	1,457	0,078	5,728	0,057	0,042	0,014	0,502	0,007	0,495	0,007	0,042	0,000	0,007	0,000	0,007	0,000	0,467	0,007		
P1	19	99	30.09.2015	14:40:00	3009-P1-19-3030	283654/6583156	60,50	3,130	3,230	7,290	0,640	34,200	0,660	0,030	0,060	2,560	0,020	0,900	0,010	0,200	0,010	0,040	0,000	1,290	0,010				
P1	19	100	30.09.2015	14:44:00	3009-P1-19-4545	283654/6583156	90,60	6,280	3,200	10,300	0,620	33,900	0,550	0,180	0,060	2,500	0,020	9,820	0,030	0,260	0,010	0,020	0,000	1,770	0,020				
P1	19						Média	4,705	3,215	8,795	0,630	34,050	0,605	0,105	0,060	2,530	0,020	5,360	0,020	0,230	0,010	0,030	0,000	1,530	0,015				
P1	19						Desvio Padrão	2,227	0,021	2,128	0,014	0,212	0,078	0,106	0,000	0,042	0,000	6,307	0,014	0,042	0,000	0,014	0,000	0,339	0,007				
							Mínimo	1,641	1,975	5,875	0,535	21,250	0,465	0,001	0,020	1,530	0,010	0,035	0,000	0,020	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,690	0,005		
							Máximo	6,325	3,410	17,250	0,695	75,000	0,940	0,340	0,070	3,450	0,040	5,500	0,025	0,350	0,010	0,090	0,010	0,090	0,010	0,010	0,010	1,820	0,025
							Média	4,125	2,864	10,709	0,628	41,117	0,657	0,059	0,045	2,656	0,024	1,717	0,015	0,174	0,008	0,028	0,002	0,028	0,002	0,002	0,002	1,316	0,013
							Desvio Padrão	1,294	0,411	3,108	0,038	14,942	0,127	0,085	0,019	0,554	0,009	1,515	0,006	0,101	0,004	0,022	0,003	0,022	0,003	0,003	0,003	0,363	0,005

Perfil 1 - Normalizado para o Al									
Ponto	Mg/Al	Si/Al	P/Al	K/Al	Ca/Al	Ti/Al	Mn/Al	Fe/Al	
1	0,279	4,123	0,000	0,222	0,021	0,006	0,005	0,107	
2	0,205	5,357	0,000	0,225	0,116	0,009	0,001	0,126	
3	0,399	3,470	0,000	0,199	0,212	0,004	0,001	0,069	
4	0,273	3,490	0,000	0,197	0,011	0,006	0,002	0,068	
5	0,932	3,159	0,000	0,225	0,005	0,003	0,004	0,120	
6	0,167	3,924	0,015	0,310	0,182	0,008	0,001	0,070	
7	0,479	4,383	0,010	0,251	0,617	0,004	0,000	0,101	
8	0,642	3,720	0,004	0,267	0,217	0,017	0,001	0,133	
9	0,230	3,726	0,025	0,238	0,076	0,017	0,001	0,108	
10	0,169	4,170	0,000	0,261	0,045	0,014	0,002	0,089	
11	0,748	3,617	0,002	0,336	0,300	0,030	0,003	0,154	
12	0,482	2,868	0,008	0,223	0,148	0,026	0,003	0,149	
13	0,450	3,486	0,001	0,264	0,140	0,036	0,003	0,147	
14	0,697	3,100	0,000	0,255	0,168	0,030	0,010	0,177	
15	0,473	3,449	0,006	0,281	0,225	0,027	0,005	0,210	
16	0,300	3,613	0,008	0,250	0,081	0,028	0,002	0,152	
17	0,095	4,339	0,008	0,260	0,040	0,029	0,001	0,153	
18	0,271	4,875	0,011	0,298	0,109	0,025	0,004	0,179	
19	0,535	3,872	0,012	0,288	0,609	0,026	0,003	0,174	

Perfil 1 - Log Normal Al								
Ponto	Log (Mg/Al)	Log (Si/Al)	Log (P/Al)	Log (K/Al)	Log (Ca/Al)	Log (Ti/Al)	Log (Mn/Al)	Log (Fe/Al)
1	-0,554	0,615	-4,164	-0,653	-1,687	-2,235	-2,319	-0,971
2	-0,688	0,729	-4,146	-0,648	-0,937	-2,032	-3,125	-0,899
3	-0,399	0,540	-4,130	-0,701	-0,673	-2,390	-3,130	-1,162
4	-0,564	0,543	-4,237	-0,705	-1,958	-2,237	-2,760	-1,167
5	-0,031	0,500	-3,832	-0,647	-2,288	-2,531	-2,355	-0,921
6	-0,778	0,594	-1,832	-0,508	-0,739	-2,118	-2,993	-1,155
7	-0,320	0,642	-2,021	-0,600	-0,210	-2,348	-3,950	-0,996
8	-0,193	0,571	-2,412	-0,574	-0,663	-1,776	-2,890	-0,875
9	-0,639	0,571	-1,605	-0,624	-1,122	-1,766	-2,836	-0,968
10	-0,772	0,620	-4,121	-0,583	-1,350	-1,853	-2,820	-1,051
11	-0,126	0,558	-2,748	-0,473	-0,522	-1,526	-2,593	-0,812
12	-0,317	0,458	-2,110	-0,652	-0,830	-1,577	-2,495	-0,826
13	-0,347	0,542	-3,242	-0,579	-0,852	-1,439	-2,506	-0,832
14	-0,157	0,491	-3,944	-0,594	-0,775	-1,521	-1,990	-0,752
15	-0,325	0,538	-2,228	-0,551	-0,648	-1,570	-2,337	-0,677
16	-0,522	0,558	-2,101	-0,602	-1,090	-1,561	-2,778	-0,819
17	-1,022	0,637	-2,095	-0,585	-1,396	-1,537	-2,873	-0,815
18	-0,567	0,688	-1,940	-0,525	-0,964	-1,601	-2,437	-0,748
19	-0,272	0,588	-1,923	-0,541	-0,215	-1,583	-2,467	-0,760

ANEXO IV - Perfil quimioestratigráfico composto (Elementos Maiores).

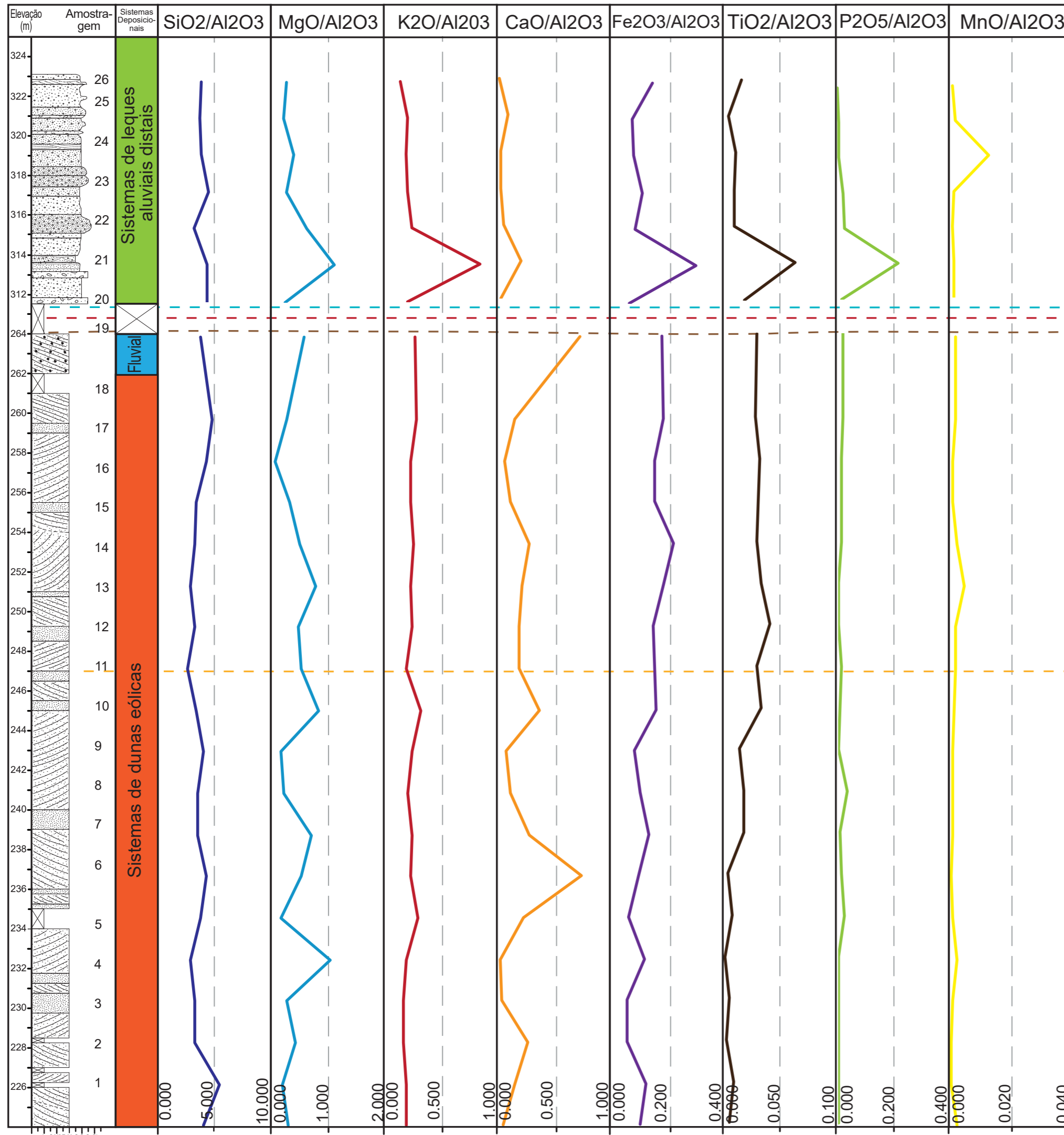


Formação Varzinha
 Formação Pedra Pintada

LEGENDA

- - - Início da porção superior
- - - Final da porção intermediária
- - - Final da porção inferior
- Sistemas de leques aluviais distais
- Sistemas fluviais entrelaçados
- Sistemas de dunas eólicas
- Go(m)** - Orto-conglomerado maciço, constituído por seixos centimétricos mal selecionados. A mineralogia é composta por quartzo de veio, clastos de granitóides e riolitos. Imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Gp(m)** - Para-conglomerado maciço, mal selecionado. Constituído por seixos centímetros de quartzo de veio, granitóides, riolitos, imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Sfm(Ca)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura cruzada acanalada.
- Sfm(p)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura plano paralela.
- Sg(Cab)** - Arenito grosso, mal selecionado com estrutura cruzada acanalada de baixo ângulo. Com ocorrência de grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.
- Sm(Ca)s** - Arenito médio, bem selecionado com estratificação cruzada acanalada. Com ocorrência de seixos centimétricos de granitóides.
- Smg(m)** - Arenito grosso, grânulos e seixos mal selecionados. Compostos por quartzo de veio, riolitos e granitos com predominância de arenito grosso. Apresentando estrutura maciça. Os seixos e grânulos flutuam na matriz arenosa.
- Smg(p)** - Arenito muito grosso, mal selecionada com estrutura plano paralela e grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.

ANEXO V - Perfil quimioestratigráfico composto (Elementos Maiores Normalizado por Alumínio).



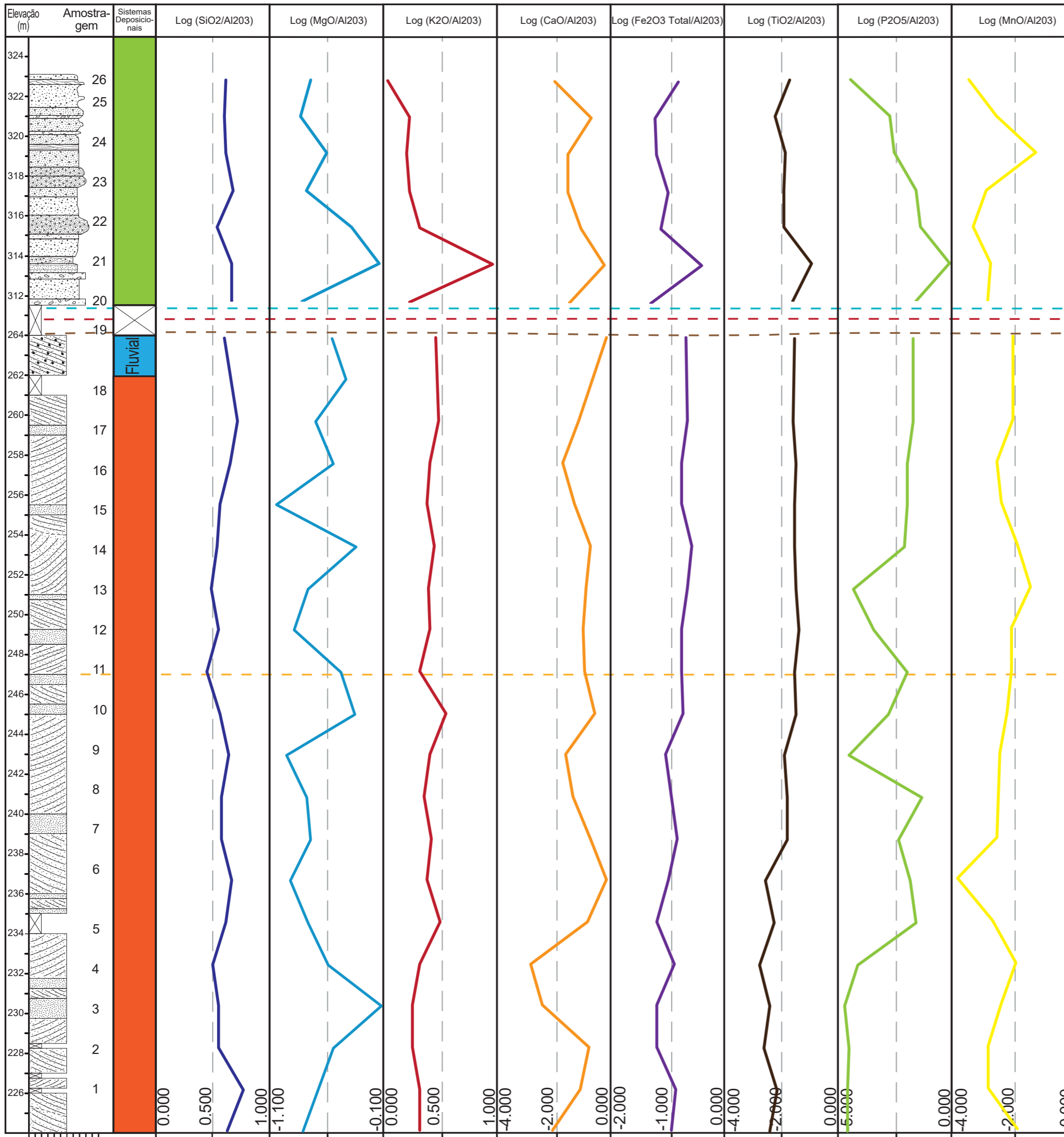
Formação Varzinha
Formação Pedra Pintada

LEGENDA

- - - Início da porção superior
- - - Final da porção intermediária
- - - Final da porção inferior
- Sistemas de leques aluviais distais
- Sistemas fluviais entrelaçados
- Sistemas de dunas eólicas
- Go(m)** - Orto-conglomerado maciço, constituído por seixos centimétricos mal selecionados. A mineralogia é composta por quartzo de veio, clastos de granitóides e riolitos. Imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Gp(m)** - Para-conglomerado maciço, mal selecionado. Constituído por seixos centímetros de quartzo de veio, granitóides, riolitos, imersos em uma matriz arenosa grossa.
- Sfm(Ca)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura cruzada acanalada.
- Sfm(p)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura plano paralela.
- Sg(Cab)** - Arenito grosso, mal selecionado com estrutura cruzada acanalada de baixo ângulo. Com ocorrência de grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.
- Sm(Ca)s** - Arenito médio, bem selecionado com estratificação cruzada acanalada. Com ocorrência de seixos centimétricos de granitóides.
- Smg(m)** - Arenito grosso, grânulos e seixos mal selecionados. Compostos por quartzo de veio, riolitos e granitos com predominância de arenito grosso. Apresentando estrutura maciça. Os seixos e grânulos flutuam na matriz arenosa.
- Smg(p)** - Arenito muito grosso, mal selecionado com estrutura plano paralela e grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.

ANEXO VI -

**Perfil quimioestratigráfico composto
(Log Normalizado dos Elementos Maiores Normalizados por Alumínio).**



Formação Varzinha
Formação Pedra Pintada

LEGENDA

- Início da porção superior
- Final da porção intermediária
- Final da porção inferior
- Sistemas de leques aluviais distais
- Sistemas fluviais entrelaçados
- Sistemas de dunas eólicas
- **Go(m)** - Orto-conglomerado maciço, constituído por seixos centimétricos mal selecionados. A mineralogia é composta por quartzo de veio, clastos de granitóides e riolitos. Imersos em uma matriz arenosa grossa.
- **Gp(m)** - Para-conglomerado maciço, mal selecionado. Constituído por seixos centímetros de quartzo de veio, granitóides, riolitos, imersos em uma matriz arenosa grossa.
- **Sfm(Ca)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura cruzada acanalada.
- **Sfm(p)** - Arenito fino a médio, bem selecionado com estrutura plano paralela.
- **Sg(Cab)** - Arenito grosso, mal selecionado com estrutura cruzada acanalada de baixo ângulo. Com ocorrência de grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.
- **Sm(Ca)s** - Arenito médio, bem selecionado com estratificação cruzada acanalada. Com ocorrência de seixos centimétricos de granitóides.
- **Smg(m)** - Arenito grosso, grânulos e seixos mal selecionados. Compostos por quartzo de veio, riolitos e granitos com predominância de arenito grosso. Apresentando estrutura maciça. Os seixos e grânulos flutuam na matriz arenosa.
- **Smg(p)** - Arenito muito grosso, mal selecionado com estrutura plano paralela e grânulos flutuantes na matriz arenosa grossa.