



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DISTRIBUIÇÃO E MODELAMENTO DOS CORPOS DE MINÉRIO DE
FERRO DA MINA DE FÁBRICA NOVA, SINCLINAL SANTA RITA,
BORDA LESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Alana Lima Pereira

MONOGRAFIA nº 465

Ouro Preto, dezembro de 2022

**DISTRIBUIÇÃO E MODELAMENTO DOS CORPOS DE
MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE FÁBRICA NOVA,
SINCLINAL SANTA RITA, BORDA LESTE DO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 465

DISTRIBUIÇÃO E MODELAMENTO DOS CORPOS DE MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE FÁBRICA NOVA, SINCLINAL SANTA RITA, BORDA LESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Alana Lima Pereira

Orientador

Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo

Co-Orientador

Adilson Geraldo Dias

Co-Orientador

Dr. Emílio Evo Magro Corrêa Urbano

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022/2.

OURO PRETO

2022

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P436d Pereira, Alana Lima.

Distribuição e modelamento de corpos do minério de ferro da mina de Fábrica Nova, Sinclinal Santa Rita, borda leste do Quadrilátero Ferrífero. [manuscrito] / Alana Lima Pereira. - 2022.

123 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo. Coorientadores: Me. Adilson Dias, Prof. Dr. Emílio Evo Magro Corrêa Urbano.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Minério de ferro. 2. Mapeamento geológico. 3. Modelagem geológica. I. Dias, Adilson. II. Melo, Gustavo Henrique Coelho de. III. Urbano, Emílio Evo Magro Corrêa. IV. Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU 551(084.3):553.3

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Alana Pereira Lima

Distribuição e modelamento dos corpos de minério de ferro da Mina de Fábrica Nova, Sinclinal Santa Rita, borda leste do Quadrilátero Ferrífero

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Geóloga

Aprovada em 21 de dezembro de 2022

Membros da banca

Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Edison Tazava - (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Brener Otávio Luís Ribeiro - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Gustavo Henrique Coelho de Melo, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 12/01/2023



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique Coelho de Melo, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/01/2023, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0456010** e o código CRC **6C2A456B**.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Deus pelo dom da vida, pela saúde e principalmente por ter me abençoado e iluminado em todos os momentos desafiadores. Agradeço aos meus pais Zilda e Gilmar e minha irmã Angela, pelo cuidado, compreensão, carinho, incentivo e paciência, pelo suporte que me deram, principalmente no momento que decidi mudar de cidade para viver meus sonhos. A todos meus familiares que contribuíram direta ou indiretamente. Se eu pudesse resumir o significado da palavra amor, com certeza teria o nome deles.

Agradeço aos meus queridos amigos de Palmares Paulista, amigos de Monte Carmelo, amigos de Ouro Preto, que foram essenciais na minha jornada e que me ajudaram de inúmeras formas.

Às meninas que dividiram não somente o espaço em comum, mas o coração e o companheirismo em cada local que morei: obrigada. Aos meus queridos professores da UFU, universidade do qual estudei meus anos iniciais de Geologia: Félix, Alan, Marília, William e Sanchez, eu admiro muito vocês e obrigada por cada palavra de incentivo.

As queridas e amadas entidades: PET e a SEG: Obrigada pelos ensinamentos, pelos aprendizados, pelo suporte técnico e pelo suporte emocional. Um agradecimento em especial à professora Adivane Teresinha Costa que foi uma segunda mãe e acreditou em mim.

Agradeço à grandiosa escola de minas, à Universidade Federal de Ouro Preto e a todos os professores do Departamento de Geologia, em especial ao Gustavo Melo e Emílio Urbano pelo apoio na realização deste trabalho e ao professor Paulo de Tarso que me encorajou no meu primeiro contato com a pesquisa científica.

Por fim, agradeço a Vale S.A, aos colaboradores que me incentivaram e foram um suporte para a realização desse trabalho. Um enorme agradecimento ao meu orientador de estágio Ademar Lopes, ao Geólogo coorientador deste trabalho, Adilson Dias, à gestora Camila Afonso, e aos profissionais incríveis dos quais admiro e são fonte de inspiração para mim: Érika, Diana, Bárbara, Elenir, Matheus, Maurício, Rômulo, Apolo e Aron. Por fim, um forte agradecimento a toda equipe Geologia/Topo de Mariana, Minas Centrais e Itabira.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ix
SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 JUSTIFICATIVA	5
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	5
1.5.1 Revisão bibliográfica	5
1.5.2 Trabalho de campo – mapeamento geológico de detalhe e descrição das frentes de lavra.....	6
1.5.3 Descrição de Testemunhos de Sondagem	6
1.5.4 Modelagem geológica 3D	7
1.5.5 Análise da química global de amostras dos furos	7
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	9
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	9
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO	9
2.2.1 Embasamento	12
2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas.....	13
2.2.3 Supergrupo Minas	13
2.2.4 Supergrupo Estrada Real.....	14
2.2.5 Intrusões Máficas	15
2.2.6 Unidades Cenozoicas	15
2.2.7 Cangas.....	15
2.3 METAMORFISMO.....	18
2.4 CONTEXTO ESTRUTURAL E TECTÔNICO.....	18
2.4.1 O SINCLINAL SANTA RITA	24
2.4.2 A FALHA DE ÁGUA QUENTE.....	25
2.5 METALOGÊNESE DO FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	26

3	A FORMAÇÃO CAUÊ E AS MINERALIZAÇÕES DE FERRO.....	29
3.1	O SUPERGRUPO MINAS	29
3.1.1	A FORMAÇÃO CAUÊ.....	29
3.2	TIPOS E GÊNESES DE ITABIRITOS.....	30
3.2.1	TIPOS DE CORPOS DE MINÉRIO	31
3.3	ESTUDOS PRÉVIOS DA MINA DE FÁBRICA NOVA.....	35
4	RESULTADOS.....	41
4.1	GEOLOGIA DO DEPÓSITO	41
4.2	ASPECTOS DE CAMPO DOS PRINCIPAIS LITOTIPOS DA REGIÃO	47
4.2.1	FORMAÇÃO CAUÊ – GRUPO ITABIRA	47
4.2.2	FORMAÇÃO GANDARELA - GRUPO ITABIRA.....	50
4.2.3	FORMAÇÃO CERCADINHO – GRUPO PIRACICABA	51
4.2.4	UNIDADES INTRUSIVAS	53
4.2.5	COBERTURA	56
4.2.6	GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	57
4.3	CORPOS DE MINÉRIO DE FERRO	59
4.3.1	CORPOS DE CANGA	60
4.3.2	CORPOS ROLADOS	60
4.3.3	VEIOS DE QUARTZO E HEMATITA	61
4.3.4	CORPOS DE HEMATITA COMPACTA.....	62
4.3.5	DISTRIBUIÇÃO DE CORPOS DE MINÉRIO NA MODELAGEM GEOLÓGICA 3D	62
4.3.6	ASSINATURA GEOQUÍMICA DOS LITOTIPOS DE FÁBRICA NOVA	66
5	5. DISCUSSÕES.....	77
5.1.1	ASPECTOS DO MINÉRIO DE FERRO DE FÁBRICA NOVA	78
6	CONCLUSÕES	81
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
8	ANEXOS	88

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: (Alkimin & Marshak 1998), retirado de Farina <i>et al.</i> (2015).	1
Figura 1.2 - Mapa de localização e vias de acesso a Fábrica Nova. Fonte: Autor.	3
Figura 1.3 - Localização da área referente à Cava Norte e Leste de FNO. Fonte: Google Earth.	4
Figura 1.4 - Dados utilizados como base para a modelagem. (Drillholes)	6
Figura 1.5 - Representação de triangulação de modelo geológico 3D pelo método implícito.	7
Figura 2.1 - Mapa Geológico - Estrutural do Quadrilátero Ferrífero. Fonte (Rosière & Chemale Jr 2000).	10
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do QFe (Endo <i>et al.</i> 2020).	11
Figura 2.3 - Períodos climáticos associados à formação de canga. Fonte: Modificado de (Schaefer 2015).	16
Figura 2.4 - Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).	19
Figura 2.5 - Sistemas de Nappes do Quadrilátero Ferrífero - Nappes: NC- Nappe Curral, NM- Nappe Maquiné, NSR- Nappe Santa Rita, NIRP- Nappe Itabira-Rio Piracicaba, NOP- Nappe Ouro Preto. Falhas: SB- São Bento, AQ- Água Quente, RP- Rio Piracicaba, IT- Itacolomi, Cr- Curral. Zonas de cisalhamento: MB- Moeda Bonfim. Fonte: (Endo <i>et al.</i> 2020).	20
Figura 2.6 - Articulação das <i>Nappes</i> Maquiné e Santa Rita. Fonte: (Endo <i>et al.</i> 2020)	24
Figura 2.7 - Tipos de depósitos de Ferro - Lago Superior, Algoma e Rapitan. Fonte: (Endo <i>et al.</i> 2020).	26
Figura 2.8 - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Em destaque de minas ao sudeste do QFe - FZ (Fazendão), FNO (Fábrica Nova), TB (Timbopeba). Fonte: Modificado de Rosière & Rolim (2016).	28
Figura 3.1 – Fragmento de hematita compacta especular com veio de quartzo.	32
Figura 3.2 – Canga na parte superior em contato com itabirito friável. Fonte: Vale S.A.	33
Figura 3.3 - Corpos descritos como "Rolados". Fonte: Vale S.A.	34
Figura 3.4 - Itabirito Friável. Fonte: Vale S.A.	34

Figura 3.5 - Mapa Geológico realizado por Rossi (2014) da área do Sinclinal Santa Rita.....	38
Figura 4.1 - Em (a) observa-se a cava norte da mina, área do mapeamento deste trabalho e o contato proeminente entre a formação ferrífera bandada e a zona de cobertura. Em (b), imagem lateral com vista para leste da cava norte. Em (c) imagens de um dos bancos com 10m apresentando itabiritos friáveis e manganésíferos na cava norte com vista para oeste da mina.	42
Figura 4.2 - Representação esquemática do furo FNO-FD00423.....	43
Figura 4.3 - Representação esquemática do furo FNO-FD00468.....	44
Figura 4.4 – Mapa Geológico da área de estudo da mina, abrangendo as áreas N e E. e localização dos furos de sondagem descritos. Cobertura, Rochas Intrusivas, Formação Cercadinho, Formação Gandarela e Formação Cauê.	45
Figura 4.5 - Perfis referentes ao mapeamento da cava norte e leste de Fábrica Nova. Perfil A e B, confeccionados com base no mapa litológico.....	46
Figura 4.6 Aspectos de campo da Formação Cauê na Mina de Fábrica Nova. (a) foto de itabirito silicoso. (b) itabirito friável apresentando mega dobras com eixos de direção aproximadamente para N-S. (c) itabiritos friáveis dobrados em formato de "s". (d) itabiritos silicosos com fraturas preenchidas por quartzo e hematita. (e) corpo de hematita retirado da zona de fratura, na área ao norte de Fábrica Nova. (f) especularita associada a veios de quartzo nas FFB.....	48
Figura 4.7 – Amostra de testemunho do furo FNO- FD00423. (a) e (b) amostras de itabirito friável, com bandamento marcante de sílica e hematita. (c) Itabirito goethítico friável (d) amostra de itabirito goethítico/ aluminoso de aspecto friável, sem bandamento marcante. (e) e (f) amostra de itabirito compacto, com bandas mais espessas de coloração avermelhada/ dourado.	49
Figura 4.8 - Amostra de itabirito manganésífero. A coloração escura provém de minerais de óxido de manganês.	50
Figura 4.9 Amostras de rochas pertencentes a Formação Cercadinho. (a) Quartzito ferruginoso com óxidos de Fe. (b) Quartzito ferruginoso composto por quartzo e hematita, principalmente. (c) Quartzito ferruginoso com bandamento bem marcado, com falhas de rejeito direcional da cava leste.	51
Figura 4.10 Amostras de testemunho de sondagem do furo FNO-FD00423. (a) furo de sondagem FNO-FD00423 na bancada de descrição. (b) filito de coloração amarelada, com	

intercalações de caulim. (c) quartzitos maduros (d) quartzito ferruginoso de coloração avermelhada, indicando a presença de ferro. (e) quartzito ferruginoso, com % maior de Fe.	52
Figura 4.11 - Rocha intrusiva aflorante na cava leste de Fábrica Nova.	53
Figura 4.12 - Fotos de amostras de testemunhos do furo FNO-FD00468. Em (a), (b) e (c) apresenta rochas xistosas, contendo como mineralogia predominante clorita, sericíta, e quartzo, podendo conter também talco.	54
Figura 4.13 - Fotos de amostras de testemunhos do furo FNO-FD00468. Em (a) observa-se talco-clorita-xisto com microdobras, observadas principalmente pelas bandas mais claras. Em (b) imagem das caixas de testemunho e de intervalo de talco-clorita-qtz-xisto. Em (c) veio de quartzo mais espesso. Em (d) amostra de veio de quartzo com microdobras.	55
Figura 4.14 – (a) Intervalo de testemunho de sondagem referente a unidade de cobertura de coloração avermelhada e de composição argilosa/quartzíticas. (c) Imagens de frente de lavra da unidade de cobertura, com bancos de aproximadamente 10 metros.	56
Figura 4.15 -Medidas estruturais da mina de FNO (a) - So acamamento. (b) - Sn - Bandamento. (c) Eixos de dobras. (d) Veios de quartzo.	58
Figura 4.16 - Descontinuidades presentes na cava leste da mina, ortogonais entre si, e preenchidas com veios de quartzo.	59
Figura 4.17 - Corpos de canga ao sul da mina de FNO. Fonte: Vale.	60
Figura 4.18 - Corpos rolados presentes ao longo da mina. Em (b) imagem aproximada do depósito, onde é possível observar os corpos dispostos de forma irregular ao longo de uma frente de lavra.	61
Figura 4.19 – Fraturas na cava norte preenchidas por veios de quartzo e de hematita em uma frente de lavra na cava norte.	61
Figura 4.20 - Fragmentos de hematita compacta da cava leste de Fábrica Nova.	62
Figura 4.21 - Modelagem geológica simplificada da mina de Fábrica Nova apresentando as Formações presentes ao longo da área estudada, tais como a Cobertura, em vermelho, a Formação Cauê em lilás e ao centro da área, a Formação Gandarela mais a oeste, a Formação Cercadinho na parte mais ao norte e nordeste e as rochas metamáfica e intrusivas da cava leste.	63
Figura 4.22 - Modelagem 3D e os furos de sondagem utilizados. Formação Ferrífera bandada com litotipos refinados.	64

Figura 4.23 - Modelagem dos diferentes tipos de corpos de minério de ferro correspondentes às formações ferríferas bandadas. IF - Itabirito Friável. IFR - Itabirito Friável Rico. IGO - Itabirito Goethítico. IC- Itabirito Compacto.	65
Figura 4.24 - Amostras de testemunhos dos corpos de minério. (a) Itabirito compacto com bandamento marcante. (b) Itabirito friável silicoso. (c) Itabirito goethítico e possivelmente aluminoso.....	65
Figura 4.25 - Imagem em seção da cava leste e sua relação com os furos de sondagem.	66
Figura 4.26 - Gráficos de <i>Boxplot</i> dos elementos maiores do furo FNO-FD00423. (a) FeO, (b) SiO ₂ , (c) P ₂ O ₅ , (d) Al ₂ O ₃ (e) MnO, (f) TiO ₂ , (g) MgO, (h) CaO.....	67
Figura 4.27 - Gráfico de correlação de pearson. (a) Fe vs SiO ₂ , (b) Fe vs P ₂ O ₅ , (c) Fe vs Al ₂ O ₃ , (d) Fe vs TiO ₂ , (e) Fe vs MnO, (f) Fe vs MgO, (g) Fe vs CaO.....	69
Figura 4.28 - Gráficos de <i>Boxplot</i> dos elementos maiores do furo FNO-FD00468. (a) FeO, (b) SiO ₂ , (c) P ₂ O ₅ , (d) Al ₂ O ₃ (e) MnO, (f) TiO ₂ , (g) MgO, (h) CaO.	70
Figura 4.29 - Gráfico de correlação de pearson. (a) Fe vs SiO ₂ , (b) Fe vs P ₂ O ₅ , (c) Fe vs Al ₂ O ₃ , (d) Fe vs TiO ₂ , (e) Fe vs MnO, (f) Fe vs MgO, (g) Fe vs CaO.	72
Figura 5.1 - Eventos associados às estruturas presentes na mina de Fábrica Nova.	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Eventos associados a formação dos Complexos metamórficos. Adaptado de (Endo <i>et al.</i> 2020).....	12
Tabela 2.2 - Tipos de cangas e suas respectivas descrições. Adaptado de (Endo <i>et al.</i> 2020).	17
Tabela 2.3 - Síntese de evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero de acordo com Endo <i>et al.</i> (2020).	23
Tabela 2.4 - Eventos deformacionais e processos tectônicos associados ao Sinclinal Santa Rita. Fonte: (Rossi 2014).	25
Tabela 3.1 - Tipos de Itabirito e mineralogia Fonte: (Rosiére & Chemale Jr 2000).	30
Tabela 3.2 - Coluna Estratigráfica do Sinclinal Santa Rita, proposta por Maxwell (1972), modificado de Rossi (2014).	36
Tabela 3.3 - Eventos tectônicos associados à evolução da mina de Fábrica Nova. Modificado de Rossi (2014).....	39
Tabela 4.1 - Médias referente as estruturas mapeadas em Fábrica Nova.	58
Tabela 4.2 - Dados dos elementos maiores referente as amostras do furo FNO-FD00423.....	73
Tabela 4.3 - Tabela estatística dos elementos maiores das amostras do furo FNO-FD00423, com os parâmetros de Variável, Média, Desvio Padrão, Mínimo, Máximo, Mediana, Q1 (Primeiro quartil), Q3 (Terceiro Quartil).	74
Tabela 4.4 - Dados dos elementos maiores referente as amostras do furo FNO-FD00468.....	75
Tabela 4.5 - Tabela estatística dos elementos maiores das amostras do furo FNO-FD00468, com os parâmetros de Variável, Média, Desvio Padrão, Mínimo, Máximo, Mediana, Q1 (Primeiro quartil), Q3 (Terceiro Quartil).....	76

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero, localizado no estado de Minas Gerais, apresenta ao longo de suas estruturas províncias minerais, das quais ricas em metais, gemas e elementos nativos. Este trabalho foi realizado em uma destas estruturas, o Sinclinal Santa Rita. O Sinclinal, conhecido por conter um arcabouço estrutural complexo, é caracterizado pela presença de depósitos ricos em ferro, como é o caso da mina de Fábrica Nova. Para que os conhecimentos acerca desta mina pudessem ser melhor compreendidos, principalmente no que tange os corpos de minérios e suas respectivas porcentagens e distribuição, foram realizados estudos em escala de mapa e modelamentos geológicos 3D. Em escala de mapa, as formações e grupos da base para o topo englobaram a Formação Cauê e a Formação Gandarela, ambas do Grupo Itabira. Os litotipos pertencentes à Formação Cauê foram representados pelas formações ferríferas bandadas, e englobam os itabiritos friáveis de natureza mais silicosa, os itabiritos compactos, os itabiritos friáveis ricos, e os itabiritos goethíticos. A Formação Gandarela contém corpos de itabiritos manganésíferos e é predominante na cava norte da mina. Corpos de filito e quartzitos, pertencentes à Formação Cercadinho, do Grupo Piracicaba também foram mapeados. Além destas unidades, a mina contém grande expressividade de corpos saprolíticos bastante alterados, e foram definidos como Cobertura. Também foram observados corpos máficos e ultramáficos de direção NW-SE na cava leste, tais como clorita-talco-xistos, clorita-mica-xistos descritos a partir do furo FNO-FD00468 e rochas alteradas amarronzadas em escala de afloramento. Os corpos de minério da mina de Fábrica Nova compreendem em maior proporção itabiritos goethíticos (40% de Fe), itabiritos friáveis (36% de Fe) e/ou silicosos, itabiritos friáveis ricos (54% de Fe) e itabiritos compactos (37% de Fe). É possível que os tipos de minérios estejam associados à hidrotermalismo tardio, visto que, veios de hematita e quartzo que cortam o bandamento dos itabiritos foram observados. Adicionalmente, minérios pós tectônicos também foram descritos, tais como corpos de canga na área mais ao sul, e minérios sin tectônicos representados por hematitas compactas na cava leste.

Palavras-chave: petrografia, petrologia, fábrica nova, Vale S.A, mineração.

Abstract

The Iron Quadrangle, located in the state of Minas Gerais, presents throughout its structure mineral provinces rich in metals, gems and native elements. This work was carried out in one of these structures, the Santa Rita Syncline. The Syncline, known to contain a complex structural framework, is characterized by the presence of deposits rich in iron, as is the case of the Fábrica Nova mine. So that knowledge about this mine could be better understood, especially with regard to the ore bodies and their respective percentages, studies were carried out in map scale and 3D geological modeling. On a cartographic scale, formations and groups from bottom to top include the Cauê Formation and the Gandarela Formation, both of the Itabira Group. The lithotypes belonging to the Cauê Formation were represented by the banded iron formations, and include the friable itabirites of a more siliceous nature, the compact itabirites, the rich friable itabirites and the goethitic itabirites. The Gandarela Formation contains bodies of manganese itabirite and is predominant in the north pit of the mine. Bodies of phyllites and quartzites belonging to the Cercadinho Formation of the Piracicaba Group were also mapped. In addition to these units, the mine contains a large amount of highly altered saprolite bodies, which were defined as Coverage. NW-SE mafic and ultramafic bodies were also observed in the east pit, such as chlorite-talc-schists, chlorite-mica-schists described from hole FNO-FD00468 and brownish rocks altered in outcrop scale. The ore bodies at the Fábrica Nova mine are composed, in greater proportion, of goethitic itabirites (40% Fe), friable itabirites (36% Fe) and/or silica-rich and friable itabirites (54% Fe) and compact itabirites (37% Fe). It is possible that the types of ores are associated with late hydrothermalism, since veins of hematite and quartz that cut the itabirite banding were observed. Additionally, post-tectonic ores were also described, such as canga bodies in the southernmost area, and syntectonic ores represented by compact hematites in the eastern pit.

Key words: petrography, petrology, new factory, Vale S.A, mining.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) (Figura 1.1), localizado no estado de Minas Gerais, possui uma área de aproximadamente 7.000 km² e caracteriza-se como uma província rica em depósitos e jazidas minerais, tais como o ouro, topázio imperial, manganês, ferro, entre outros (Roeser 2013). Como o próprio nome sugere, o QFe é conhecido pelos seus depósitos de ferro ou pelas formações ferríferas bandadas, pertencentes à Formação Cauê do Grupo Itabira (Dorr 1969) e faz parte de uma das maiores reservas de ferro do mundo e de grande importância econômica para o país.

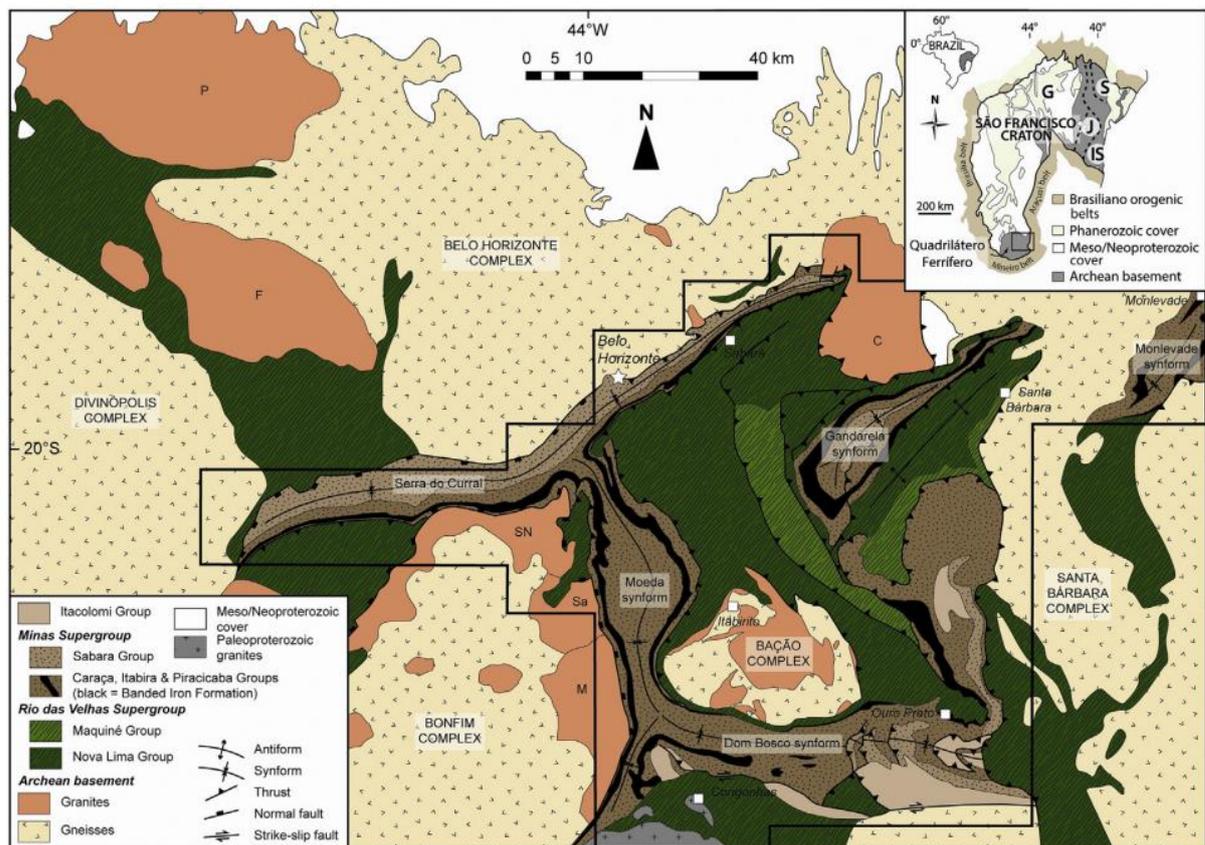


Figura 1.1 - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: (Alkmim & Marshak 1998), retirado de Farina *et al.* (2015).

O QFe está localizado a sudeste do Cratão São Francisco (Almeida 1977) e encontra-se bordejado por faixas orogênicas. É descrito como uma região metamorfizada e deformada por eventos extensionais e compressionais impulsionados por estágios deformacionais (Alkmim & Marshak 1998).

Por se tratar de uma região com grande interesse econômico, empresas como a Companhia Vale do Rio Doce e a Companhia Siderúrgica Nacional foram criadas na Era Vargas (Duarte 2019). Para viabilizar e tornar o projeto de extração do minério de ferro assertivo, foram necessárias bases sólidas do conhecimento geológico da região, que englobou principalmente dados de mapeamentos geológicos.

Dorr (1969) foi um dos pioneiros a publicar a estratigrafia e a evolução do QFe. Seu trabalho também procurou integrar dados de estudos anteriores (por exemplo Harder & Chamberlin 1915; Guimarães 1931) e é uma das principais referências quando se busca entender a estratigrafia da província. Posteriormente, diversos trabalhos foram realizados a respeito da evolução tectônica e estrutural da região (por exemplo, Guimarães 1951, Dorr 1969, Chemale *et al.* 1992 e 1994, Marshak *et al.* 1992, Endo 1997, Alkmim & Marshak 1998, Almeida 2004, Endo *et al.* 2005, Endo *et al.* 2020), o que possibilitou a geração de novos modelos e novas propostas para a formação da província.

Embora a região tenha diversos estudos publicados, a evolução geológica do QFe ainda é motivo de muito debate na comunidade científica. Isso ocorre principalmente pela natureza de eventos que acarretaram deformações e metamorfismo em grande escala, em especial, na parte oriental e a leste do QFe, domínio caracterizado como uma zona de alto *strain* ou deformação.

Na porção leste do QFe o Sinclinal Santa Rita compreende uma estrutura seccionada por falhas de empurrarão de direção norte-sul com deslocamento para leste (Maxwell 1960, Dorr 1969), limitado pelas falhas São Bento e Água Quente (Endo *et al.* 2020). O Sinclinal foi intensamente deformado durante o evento Brasileiro (Chemale Jr *et al.* 1994). É uma estrutura sinformal assimétrica com eixo de direção N-S e N-NE e de alta complexidade estrutural (Dorr 1969; Chemale Jr *et al.* 1994; Rossi 2014). Apresenta no seu flanco leste rochas do Supergrupo Minas e lascas do Supergrupo Rio das Velhas e marcas de redobramentos no flanco inverso (Endo *et al.* 2020).

Segundo Chemale Jr *et al.* (1994) o Sinclinal formou-se entre dois eventos distintos, sendo um evento metamórfico restrito às rochas a leste de Fazendão, na fácies anfíbolito e um de natureza tectono-metamórfico responsável pela deformação das rochas do Super Grupo Minas na fácies xisto-verde. Já segundo Rossi (2014), o Sinclinal formou-se durante o evento Transamazônico, no processo de redobrimento da *Nappe* de Ouro Preto.

Neste contexto ocorre a mina de ferro de Fábrica Nova, operada pela Vale S.A. A mina apresenta uma alta variabilidade de litotipos, o que denota uma alta complexidade litológica e estratigráfica e dificulta a caracterização dos corpos de minério de ferro.

O ferro encontra-se na natureza sob a forma de minerais da classe dos óxidos e hidróxidos, tais como hematita e magnetita, cujas fórmulas são Fe_2O_3 e Fe_3O_4 , respectivamente. Ocorrem também na forma de sulfetos (calcopirita, pirrotita, pirita), hidróxidos (goethita - $FeOOH$) e carbonatos (siderita)

(Duarte 2019). É uma das principais matérias-primas exportadas do Brasil e amplamente utilizada na produção de aço, ligas e chapas metálicas a partir de processos siderúrgicos (Caxito & Dias 2018).

Os estudos metalogenéticos e distribuição das formações ferríferas bandadas são de grande importância para o entendimento dos processos que acarretaram a concentração de ferro nestas porções do QFe. As minas espalhadas ao longo dessa província são fonte de extração e produção do elemento, e apresentam minérios de assimilações tectônicas e não tectônicas (Rosière *et al.* 2001).

Assim, a Mina de Fábrica Nova representa um importante depósito de ferro na região com uma complexidade litológica, estratigráfica e estrutural elevada, o que se reflete diretamente na modelagem do depósito. Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade enriquecer o conhecimento acerca da distribuição dos corpos de minério, dos litotipos presentes ao entorno, e dos processos metalogenéticos presentes ao longo da cava norte e leste da mina, que se encontra encaixada no flanco inverso do Sinclinal Santa Rita.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na parte sudeste do país, mais precisamente no centro-leste e centro-sul do estado de Minas Gerais. Fica a cerca de 27,3 Km de Mariana, 46,6 Km de Ouro Preto e 141 km da capital mineira, cidade de Belo Horizonte (Figura 1.2). Possui uma área de aproximadamente 22,6 km² metros (Figura 1.3) e está contida na folha topográfica SF-23-X-B-I-1 na escala 1:50.000 e carta geológica de Santa Rita do Durão SF.23-X-B-I-1-SO na escala de 1:25.000 (CPRM).

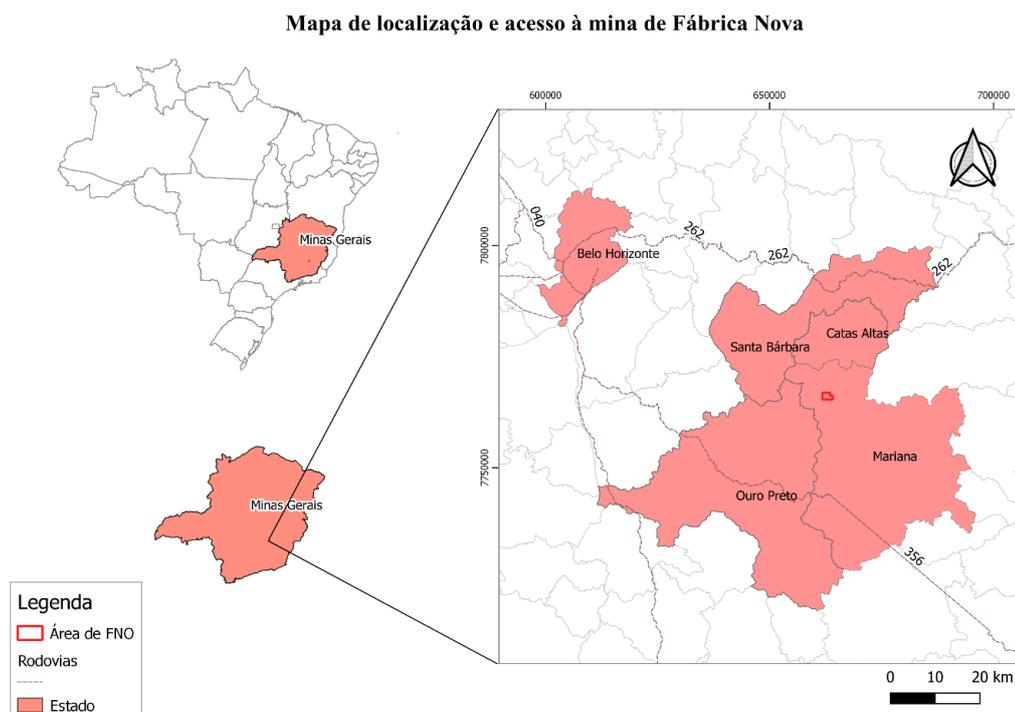


Figura 1.2 - Mapa de localização e vias de acesso a Fábrica Nova. Fonte: Autor.

É circundada pelas cidades de Ouro Preto, Santa Bárbara e Catas Altas, estando inserida no perímetro pertencente a Mariana. O acesso à região partindo da capital mineira se dá através da BR – 381/BR – 262, onde a rota se estende por 77 km, depois o acesso continua pela MG – 436 e pela MG – 129, por aproximadamente 64 km até as proximidades de Santa Rita do Durão.

Localização e delimitação da área de estudo

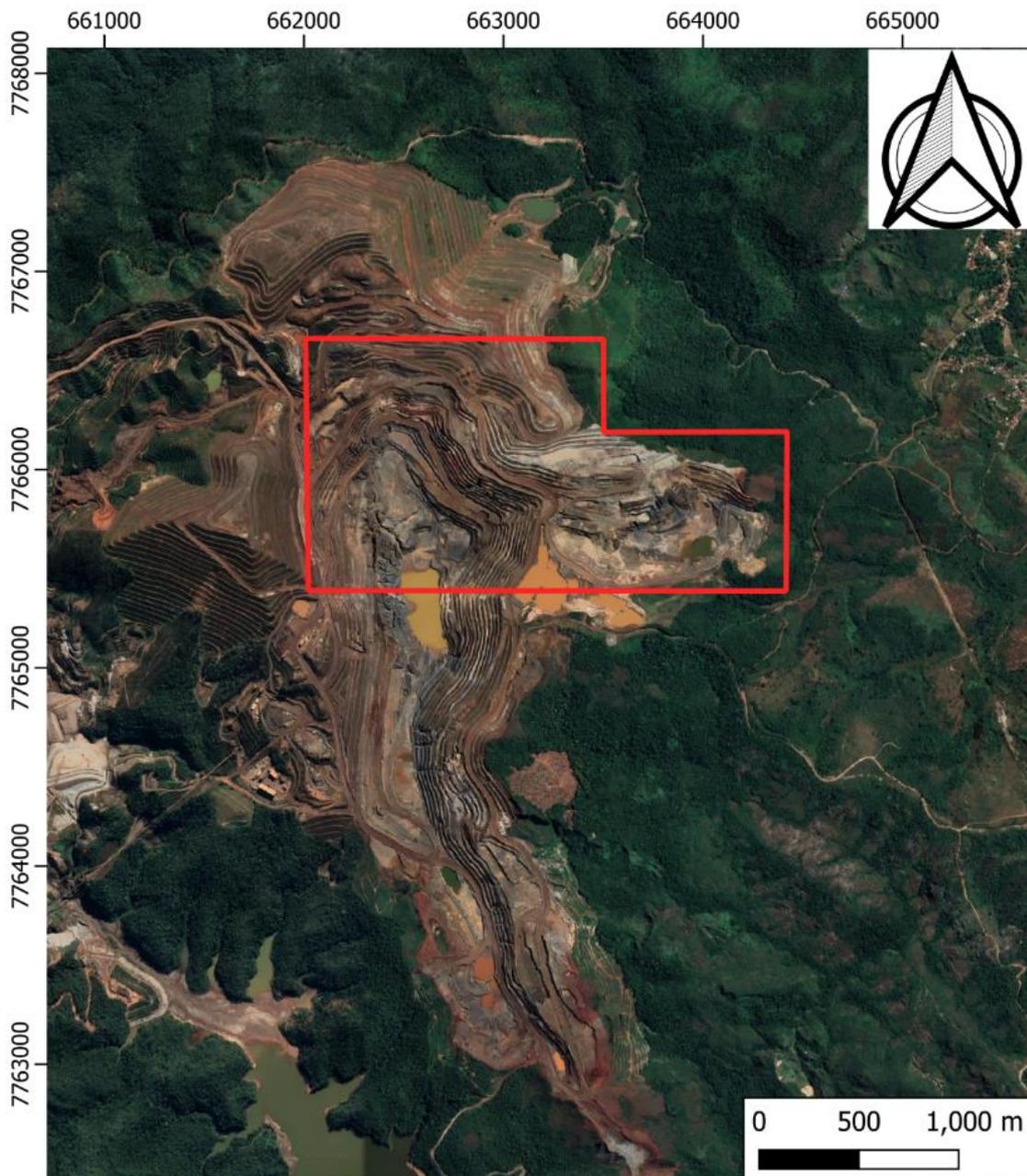


Figura 1.3 - Localização da área referente à Cava Norte e Leste de FNO. Fonte: Google Earth.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é a caracterização geológica-estratigráfica da mina de Fábrica Nova e a o entendimento da distribuição e dos tipos de corpos de minério predominantes. Para isso, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Definir os principais litotipos das porções norte e leste da mina de Fábrica Nova;
- correlacionar os dados estruturais a partir de mapeamentos atuais e anteriores.
- analisar a petrografia dos litotipos descritos, englobando também os dados de sondagem e de química global de amostras;
- compreender a distribuição dos corpos de minério e demais litotipos por meio do modelo geológico 3D;

1.4 JUSTIFICATIVA

A área que engloba hoje a mina de Fábrica Nova foi mapeada pelos autores Maxwell (1960 e 1972) na escala 1:25.000 e Rossi (2014) nas escalas 1:5.000 que trouxeram informações enriquecedoras sobre os litotipos e as estruturas pertencentes ao Sinclinal Santa Rita.

Apesar dos avanços significativos, observa-se que com a expansão das frentes de lavra e a produção mais acelerada, algumas porções ainda geram dúvidas no que se refere à disposição dos corpos de minério e sua estruturação no interior da mina. Isso ocorre porque na cava leste, bem como na região norte e central há possíveis integrações de rochas metamáficas e controles estruturais mais intensificados. Por se tratar de uma mina alocada no domínio oriental de alta deformação do QFe, inserida no flanco inverso do Sinclinal Santa Rita denota-se que estudos em escala de semidetalhe podem responder questionamentos hoje, ainda não solucionados.

Dessa forma, a compreensão quanto aos litotipos expostos com o auxílio da geologia de subsuperfície podem colaborar com um melhor entendimento sobre a disposição dos corpos de minério de ferro e também sobre a gênese e os processos mineralizadores.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho de conclusão de curso foi realizado de acordo com a seguinte metodologia expressa a seguir.

1.5.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica baseou-se na leitura de artigos, teses e livros que incluíam as principais informações sobre a geologia do Quadrilátero Ferrífero, a gênese das formações ferríferas bandadas, bem como a evolução geológica referente à área de estudo, o Sinclinal Santa Rita.

1.5.2 Trabalho de campo – mapeamento geológico de detalhe e descrição das frentes de lavra

A etapa de trabalho de campo envolveu o mapeamento de semidetalhe das áreas selecionadas, bem como a descrição e a captura de imagens das frentes de lavra da mina. O mapeamento geológico foi realizado na escala 1:5.000 nas áreas norte e leste de Fábrica Nova. Como o acesso à cava leste foi mais limitado devido à falta de estabilidade geotécnica, foram descritos fragmentos dos litotipos presentes, bem como o registro fotográfico de onde foi possível adentrar. Informações complementares foram obtidas a partir da fotointerpretação, de dados de sondagem e mapeamentos anteriores realizados pela empresa Vale S.A em conjunto com a empresa *Walm*.

Na etapa de campo foram analisados os aspectos visuais e texturais presentes na rocha e/ou no afloramento. Isso incluiu a descrição detalhada da mineralogia, medidas estruturais, a granulometria bem como a caracterização geral do litotipo.

1.5.3 Descrição de Testemunhos de Sondagem

Neste trabalho, foram utilizados prioritariamente dados de sondagem diamantada, visando estabelecer um maior foco no levantamento de informações litológicas. Dessa forma, separou-se a descrição em intervalos (*from* e *to*) à medida que as diferenças texturais fossem aferidas. Durante esta etapa foram priorizadas as descrições dos principais litotipos preservados e alterados, as prováveis zonas de mineralização e as estruturas associadas.

No processo de descrição litológica, são armazenados no banco de dados do GMDS (banco de dados oficial-Vale) uma sequência de dados distribuídos e organizados para serem o principal *input* nos *softwares* de modelagem geológica (Figura 1.4).

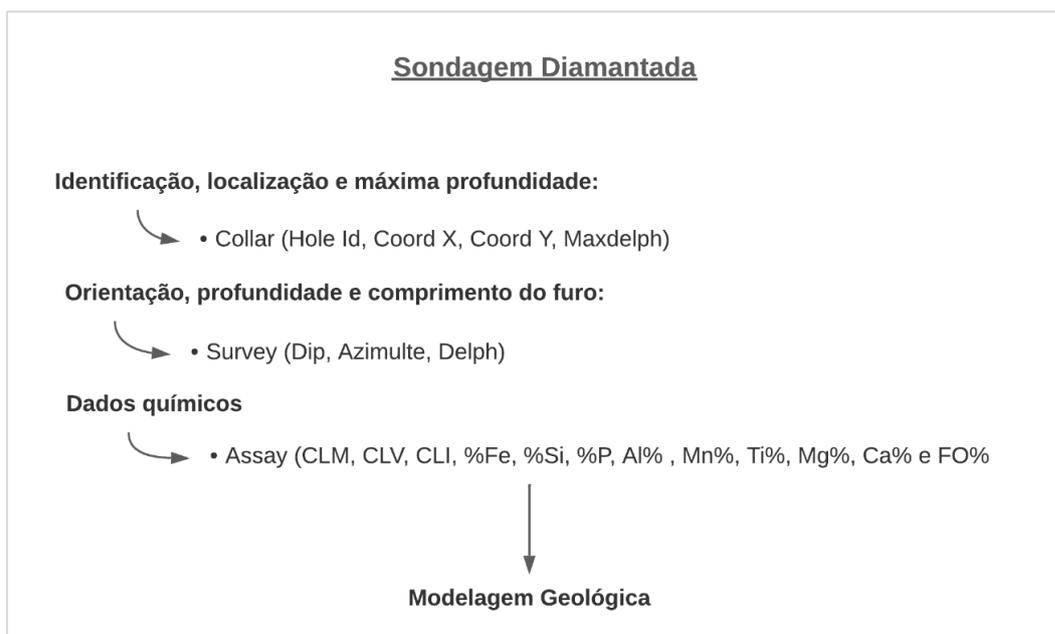


Figura 1.4 - Dados utilizados como base para a modelagem. (Drillholes)

1.5.4 Modelagem geológica 3D

A modelagem geológica implícita (Figura 1.5) é muito utilizada para representar corpos geológicos a partir de representações tridimensionais, e tem como principal objetivo, estimar através de métodos geoestatísticos, o teor médio do minério de interesse, utilizando dados amostrais em um determinado intervalo (Rolo 2017). A modelagem geológica é utilizada na delimitação dos corpos rochosos, principalmente nas áreas ricas em minério. A delimitação dos contatos e o entendimento da proporção desses corpos também auxilia da interpretação geológica, pois facilitam a visualização da relação de rochas encaixantes e de rochas intrusivas (Rolo 2017). O Software *LeapfrogGeo* foi utilizado como ferramenta na formação das superfícies pelo método da modelagem implícita.

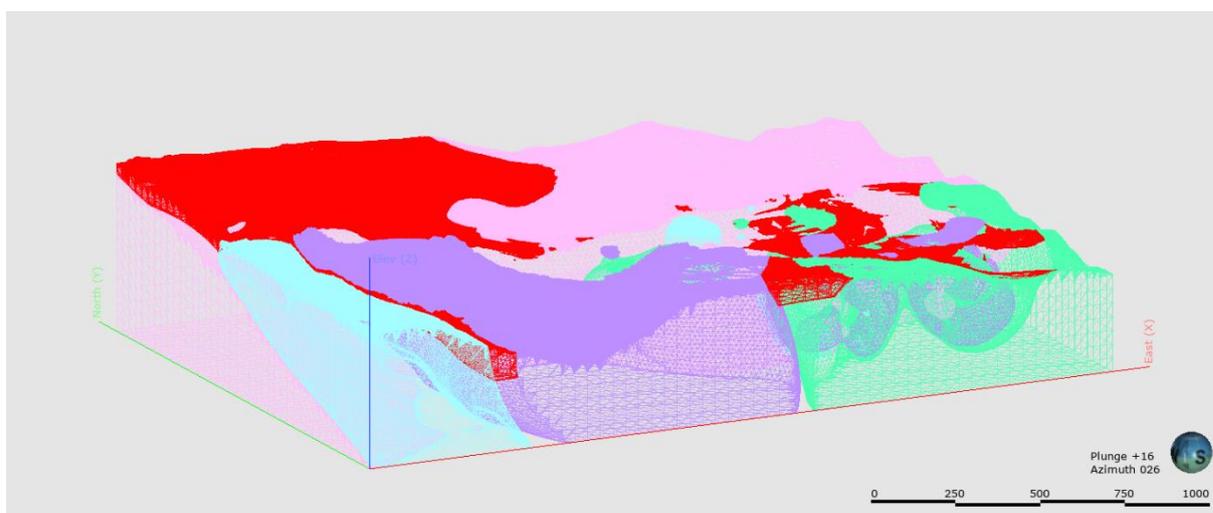


Figura 1.5 - Representação de triangulação de modelo geológico 3D pelo método implícito.

A modelagem implícita baseia-se na representação tridimensional de superfícies geométricas com base nos dados geológicos. Diferentemente do método convencional ou explícito, em que os corpos são delimitados manualmente, o método implícito cria superfícies finitas a partir de detalhes infinitos (Cowan *et al.* 2003). No entanto o método possui limitações, principalmente na modelagem de estruturas em que há diversas famílias de falhas e dobramentos complexos, e neste caso o método explícito pode ser mais representativo (Cowan *et al.* 2003).

1.5.5 Análise da química global de amostras dos furos

Em relação a química global, as amostras geradas a partir dos furos de sondagem foram separadas segundo critérios e intervalos de descrição geológica, e apresentam a porcentagem dos elementos maiores FeO, SiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, CaO, TiO₂, PF (perda ao fogo) e P₂O₅. Dessa forma, foram realizadas Correlações de Pearson e gráficos de *BoxPlot* a partir do software *MiniTab*, com o intuito em entender a química dos litotipos amostrados nos intervalos dos furos, e correlaciona-los com possíveis interpretações sobre processos deposicionais ou deformacionais.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero abrange uma área de aproximadamente 7.000 km² e é conhecido por suas inúmeras serras, escarpadas por processos erosivos (Roeser 2013). É, também, uma província rica em depósitos e jazidas minerais de variadas classes e composições. Está localizado na borda sudeste do Cráton São Francisco, no qual apresenta deformações Brasilianas, Transamazônicas e Arqueanas (Almeida 1977).

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Compreendendo terrenos que datam do Arqueano ao Quaternário, o Quadrilátero Ferrífero foi alvo de diversos estudos e pesquisas, mas foi com o trabalho de Dorr (1969) que estes estudos foram unificados e melhor detalhados. Dessa forma, Dorr (1969) liderou e integrou uma equipe na busca por conhecimentos sobre o comportamento lito-estratigráfico e lito-estrutural da província. Este trabalho pioneiro liderado pelo pesquisador envolveu órgãos brasileiros e americanos, tais como o (USGS) United States Geological Survey e o DNPM (Departamento de Produção Mineral) e faz parte de uma das principais fontes de estudos e referência quando se busca entender a geologia do QFe.

2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

Segundo Alkmim & Marshak (1998) da base para o topo, o QFe se enquadra em três principais conjuntos de terrenos tectono-estratigráficos: O embasamento cristalino, o Supergrupo Rio das Velhas no qual compreende rochas metavulcanossedimentares ou *greenstone belts*, e o Supergrupo Minas que é caracterizado estratigraficamente como uma sequência de rochas metassedimentares de origem clástica e química (Figura 2.1).

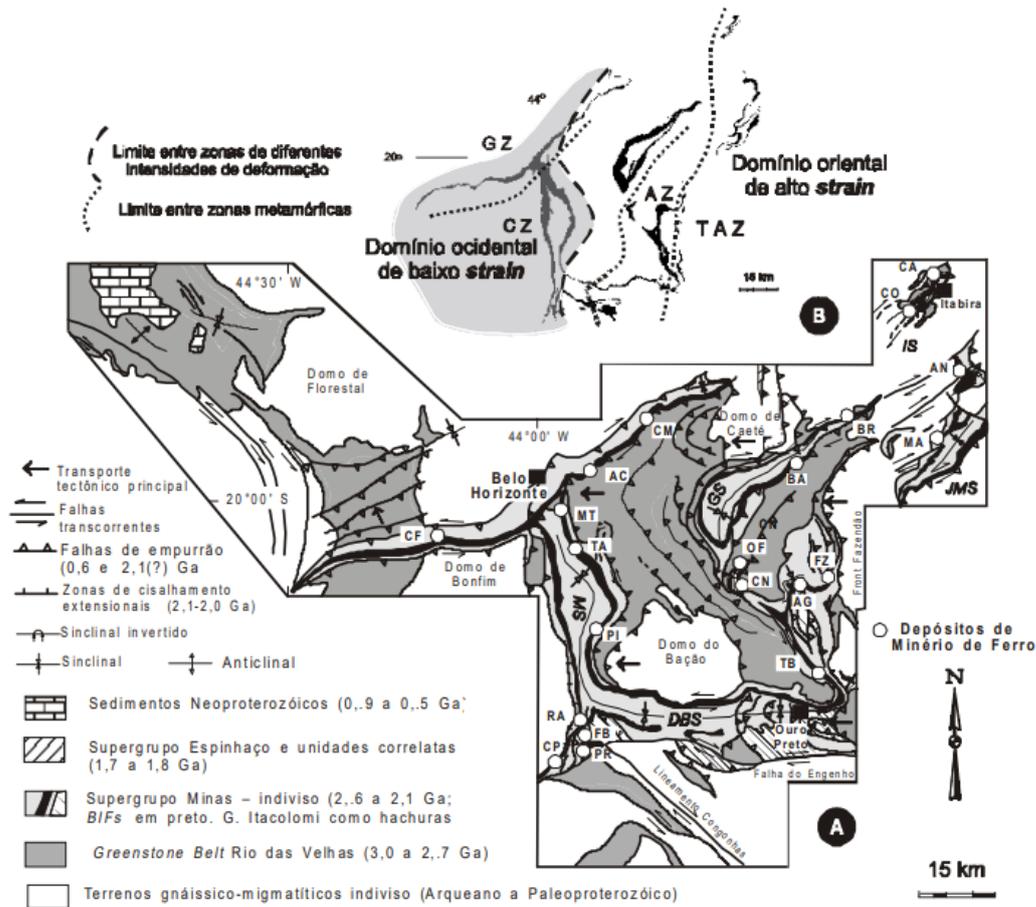


Figura 2.1 - Mapa Geológico - Estrutural do Quadrilátero Ferrífero. Fonte (Rosière & Chemale Jr 2000).

Mais recentemente, uma nova abordagem em relação aos terrenos classificados no QFe (Figura 2.2) foi publicada, a partir da junção de diversos trabalhos (por exemplo, Dorr 1969; Machado et al. 1992 e 1996, Noce 1995, Noce et al. 1998 e 2005, Lana et al. 2013, Farina et al. 2015, Endo et al. 2020). Segundo os autores, sete terrenos principais englobam a região, tais como os Complexos metamórficos, o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, o Supergrupo Estrada Real, o Grupo Barbacena e o Supergrupo Espinhaço, bem como Unidades Cenozoicas (Endo *et al.* 2020).

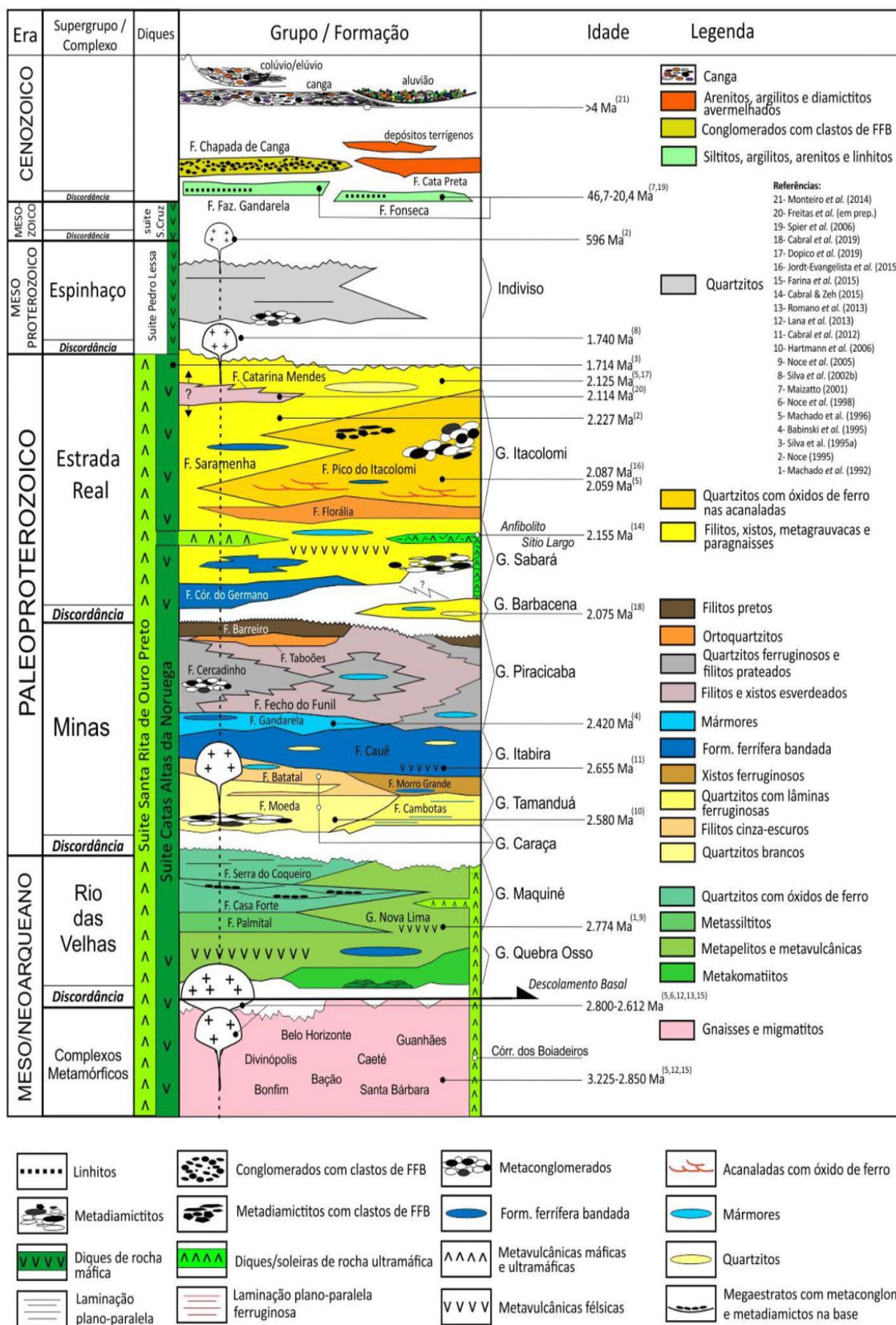


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do QFe (Endo et al. 2020).

2.2.1 Embasamento

De acordo com Alkmim & Marshak (1998), o embasamento arqueano apresenta rochas cristalinas compostas por granitos anorogênicos e gnaisses migmatíticos, sendo os granitos pertencentes a série de rochas plutônicas cálcio-alcálicas datadas em 2.7 G.a. Para Endo *et al.* (2020) os complexos metamórficos foram designados na estratigrafia de base, representado por ortognaisses bandados, migmatitos e granitoides com veios encaixados. Houve 4 eventos (Tabela 2.1) principais na formação destes complexos que foram responsáveis pelo metamorfismo regional nas fácies anfíbolito. Sendo o evento mais recente relacionado as intrusões de corpos com estrutura em plutões e diques máficos (Endo *et al.* 2020).

Tabela 2.1 - Eventos associados a formação dos Complexos metamórficos. Adaptado de (Endo *et al.* 2020).

Evento	Idade	Autor(es)	Descrição
Santa Bárbara	3.2 G.a	Lana <i>et al.</i> 2013	Formação dos gnaisses TTG do Complexo Santa Bárbara;
Rio das Velhas (I e II)	2.8 – 2.76 G.a	(Lana <i>et al.</i> 2013; Romano <i>et al.</i> 2013; Farina <i>et al.</i> 2015)	(I)Formação dos gnaisses TTG dos complexos metamórficos (Bação, Belo Horizonte e Bonfim) e das unidades máficas e ultramáficas, a partir da acreção de arcos insulares. (II)Desenvolvimento de arco continental, formando bacias e possibilitando a deposição do Grupo Nova Lima.
Mamona	2.75 – 2.68 G.a	(Lana <i>et al.</i> 2013; Farina <i>et al.</i> 2015).	Colisão de massas continentais: formação de magmas graníticos sin-colisionais com alto teor de K, deformação e metamorfismo do Grupo Nova Lima.

2.2.2 Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas descreve uma sequência arqueana e engloba os Grupos Quebra Ossos, Nova Lima e Maquiné (por exemplo, Dorr 1969, Schorscher 1978, Ladeira 1980, Baltazar & Silva 1996, Zucchetti & Baltazar 1998; Zucchetti & Baltazar 2007; Endo *et al.* 2020). Caracteriza-se como uma sequência de *greenstone belts*, rochas metavulcanossedimentares, que abrigam importantes depósitos de ouro (Lobato *et al.* 2001). Da base para o topo, o Grupo Quebra Ossos representa uma sequência de rochas máfica – ultramáficas, constituído por metakomatiítos, metabasaltos e metacherts (Schorscher 1979). O Grupo Nova Lima apresenta rochas vulcânicas ultramáficas, bem como rochas metavulcanossedimentares félsicas-clásticas (Ladeira 1980), representadas por xistos, xistos cloríticos e filitos, ocorrendo também lentes de filitos grafitosos, dolomitos, formações ferríferas do tipo Algoma, metagrauvas e quartzitos (Endo *et al.* 2020). Já o Grupo Maquiné apresenta rochas predominantemente quartzíticas, bem como conglomeráticas e pelíticas (Dorr 1969) sendo separado por duas formações da base para o topo, a Palmital e Casa Forte. A Formação Palmital é composta por quartzo-clorita xistos, sericita filito e xistos e a Formação Casa Forte contém rochas quartzíticas, metaconglomerados e metadiamicititos (Dorr 1969).

2.2.3 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas engloba uma sequência de rochas metassedimentares, datadas do Paleoproterozóico, cujos sedimentos classificados como de origem química e terrígena constituem uma sequência importante na província mineral do QFe, as formações ferríferas bandadas - os itabiritos com teor de ferro (Eschwege 1833). Apresenta uma discordância angular com as rochas da sequência *greenstone belts* Rio das Velhas (Alkmim & Marshak 1998) e é caracterizada por Alkmim & Martins-Neto (2012) como uma sequência formada a partir três fases deposicionais. A primeira fase representa o marco na deposição do Grupo Caraça e Itabira (2.5 – 2.4) G.a, seguido pela segunda fase representada pela deposição do Grupo Piracicaba (2.4 – 2.15) G.a, sendo a terceira e última fase representada pelo Grupo Sabará (2.12 – 2.04) G.a (Alkmim & Martins-Neto 2012).

Da base para o topo, o Grupo Tamanduá e o Grupo Caraça apresentam rochas metareníticas e lentes conglomeráticas, intercaladas por metapelitos de origem marinha (por exemplo Simmons & Maxwell 1961; Dorr 1969), tal associação é mencionada como uma fase de transição de ambiente em que se registra uma fase rift evoluindo para margem passiva (Alkmim & Marshak 1998). O Grupo Tamanduá é constituído por quartzitos, xistos filíticos e xistos ferruginosos, e engloba a Formação Cambotas (Simmons & Maxwell 1961) na base, composta por quartzitos, xistos quartzosos e a Formação Morro Grande no topo (Endo *et al.* 2020) composta por xistos filíticos, xistos quartzosos, xistos ferruginosos e formações ferríferas dolomíticas. Já o Grupo Caraça (Dorr 1969) é composto pelas Formações Moeda (base) e Batatal (topo), e constitui-se de rochas quartzíticas, geralmente sericíticas

Pereira, A. L. 2022. Distribuição e modelamento dos corpos de minério de ferro da mina de Fábrica...

na base, e no topo filitos sericíticos, e em menor proporção metacherts, formações ferríferas bandadas e mármores dolomíticos pertencentes à Formação Batatal.

O Grupo Itabira apresenta a sequência das FFB (Formações Ferríferas Bandadas) do tipo Lago Superior, no qual incluem os itabiritos, itabiritos dolomíticos e itabiritos anfíbolíticos, caracterizando a Formação Cauê na base, e rochas dolomíticas como itabiritos dolomíticos, dolomitos e mármores que descrevem a Formação Gandarela mais ao topo (Alkmim & Marshak 1998). Neste grupo, associados ao processo de evolução geológica, os autores mencionam um registro de bacia de margem passiva (Alkmim & Marshak 1998) no qual sofreu processos de sedimentação por transgressão marinha (Dorr 1969). O Grupo Piracicaba, separado nas Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro, engloba, de forma geral, rochas quartzíticas, filitos ferruginosos, filitos dolomíticos e filitos grafitosos (Dorr 1969). O ambiente desta formação é descrito como predominantemente deltaico a marinho raso, se sobrepondo ao Grupo Itabira por uma discordância erosiva (Alkmim & Noce 2006).

A Formação Cercadinho engloba os quartzitos ferruginoso e filitos prateados, xistos sericíticos e dolomitos de forma subordinada (Dorr 1969) apresentando-se intercalados. A Formação Fecho do Funil é caracterizada pela presença de filitos dolomíticos e lentes dolomíticas. A Formação Taboões é constituída por ortoquartzitos finos, e a Formação Barreiro é marcada pela ocorrência de filitos grafitosos (Noce 1995).

2.2.4 Supergrupo Estrada Real

O Supergrupo Estrada Real demonstra um novo formato na caracterização dos Grupos Sabará (Almeida *et al.* 2005) e Itacolomi (Machado *et al.* 1996). O período de deposição desta unidade foi baseado nas idades de zircões detríticos a partir de trabalhos de Machado *et al.* (1996), que obtiveram cerca de 2.1 G.a para o Grupo Sabará e 2.05G.a para o Grupo Itacolomi. Sendo um conjunto formado a partir de rochas metassedimentares marinhas e continentais, encontrando-se de forma interdigitada nas rochas do pico do Itacolomi (Barbosa 2018). O Grupo Sabará é descrito como uma sequência do tipo *flysch* que apresenta inversão tectônica relacionada ao evento do Transamazônico, datado em 2.12 a 2.04 G.a. (Dorr 1969; Alkmim & Marshak 1998; Noce 1995; Reis *et al.* 2002).

O Grupo Sabará apresenta as Formações Saramenha (Almeida *et al.* 2005), Córrego do Germano (Endo *et al.* 2020) e Catarina Mendes (Freitas 2019; Freitas *et al.* 2019) tendo aproximadamente 1750 metros de espessura.

A Formação Saramenha compõe-se majoritariamente de xistos, quartzitos, formações ferríferas bandadas, metapelitos, clorita xistos, quartzitos ferruginosos e dolomito (Almeida *et al.* 2005). A

Formação Córrego do Germano é uma unidade mais de base do Grupo Sabará, sendo composta por formações ferríferas bandadas do tipo granular e quartzitos ferruginosos (Endo *et al.* 2020).

A Formação Catarina Mendes é representada por biotita-quartzo xistos, quartzitos e filitos, sendo uma unidade aflorante na região central do Anticlinal de Mariana, com idades em torno de 2.1 G.a (Freitas *et al.* 2019). O Grupo Itacolomi, separado pelas Formações Florária (Endo *et al.* 2020) e Pico do Itacolomi (Dorr 1969) é caracterizado por metarenitos e metaconglomerados com seixos ferruginosos (Dorr 1969). A Formação Florária apresenta rochas predominantemente ortoquartzíticas enquanto a Formação Pico do Itacolomi apresenta quartzitos com estratificações cruzadas acanaladas, metaconglomerados, itabiritos, filitos e granitos (Endo *et al.* 2020).

2.2.5 Intrusões Máficas

No QFe ocorrem corpos máficos e ultramáficos intrusivos principalmente em suas porções meridionais (Suito *et al.* 2007b, 2013; Endo *et al.* 2020). Ao leste do QFe ocorrem diques metaltramaficos com direção NW-SE, seccionando rochas de diversas sequências e grupos, incluindo as rochas do Supergrupo Minas (Endo *et al.* 2020). São rochas metamorizadas nas fácies xisto-verde, tais como esteatito e serpentinito (Jordt-Evangelista & Silva 2005) com espessuras decamétricas com deformação cisalhante sinistral superimposta (Gonçalves *et al.* 2011). Além disso, algumas relações de intrusão foram confirmadas na mina de Fábrica Nova (Endo *et al.* 2020), o que corrobora com a presença de rochas intrusivas nas áreas de cava da mina.

2.2.6 Unidades Cenozoicas

As unidades cenozoicas (Figura 2.3) são representadas pelas Formações Fonseca (Gorceix 1884; Dorr 1969; Maxwell 1972), Fazenda do Gandarela (Gorceix 1884), Chapada de Canga (Dorr, 1969), Formação Cata Preta (Castro & Ferreira 1997, Castro *et al.* 1998) e Formação Gongo Soco (Saadi *et al.* 1992; Maizatto, 1993). Apresentam rochas que da base para o topo descrevem argilitos, arenitos, linhitos na Formação Fonseca assim como na Formação Gandarela (Gorceix 1884); Ortoconglomerados oligomíticos, com seixos de Itabiritos na Formação Chapada de Canga (Dorr 1969). Na Formação Cata Preta ocorrem arenitos maciços, diamictitos e quartzitos ferruginosos (Castro & Ferreira 1997, Castro *et al.* 1998). Já a Formação Gongo Soco apresenta diamictitos, brechas e arenitos (Maizatto 1993).

2.2.7 Cangas

Cangas (Figura 2.3; Tabela 2.2) são carapaças de ferro concentradas, formadas a partir do intemperismo e da pedogênese durante os ciclos climáticos datados do Quaternário, tais como os climas: seco, transicional, e úmido estável, e se formam na parte superficial das formações ferríferas bandadas (Schaefer *et al.* 2008). O processo de formação destas carapaças, estão intimamente ligados à dissolução

dos componentes formadores das FFB, substituições minerais tal qual hematita para goethita, e latossolização (Schaefer *et al.* 2008). A intercalação entre os climas acaba por gerar processos cíclicos responsáveis pela cimentação e recimentação da canga (Figura 2.3).

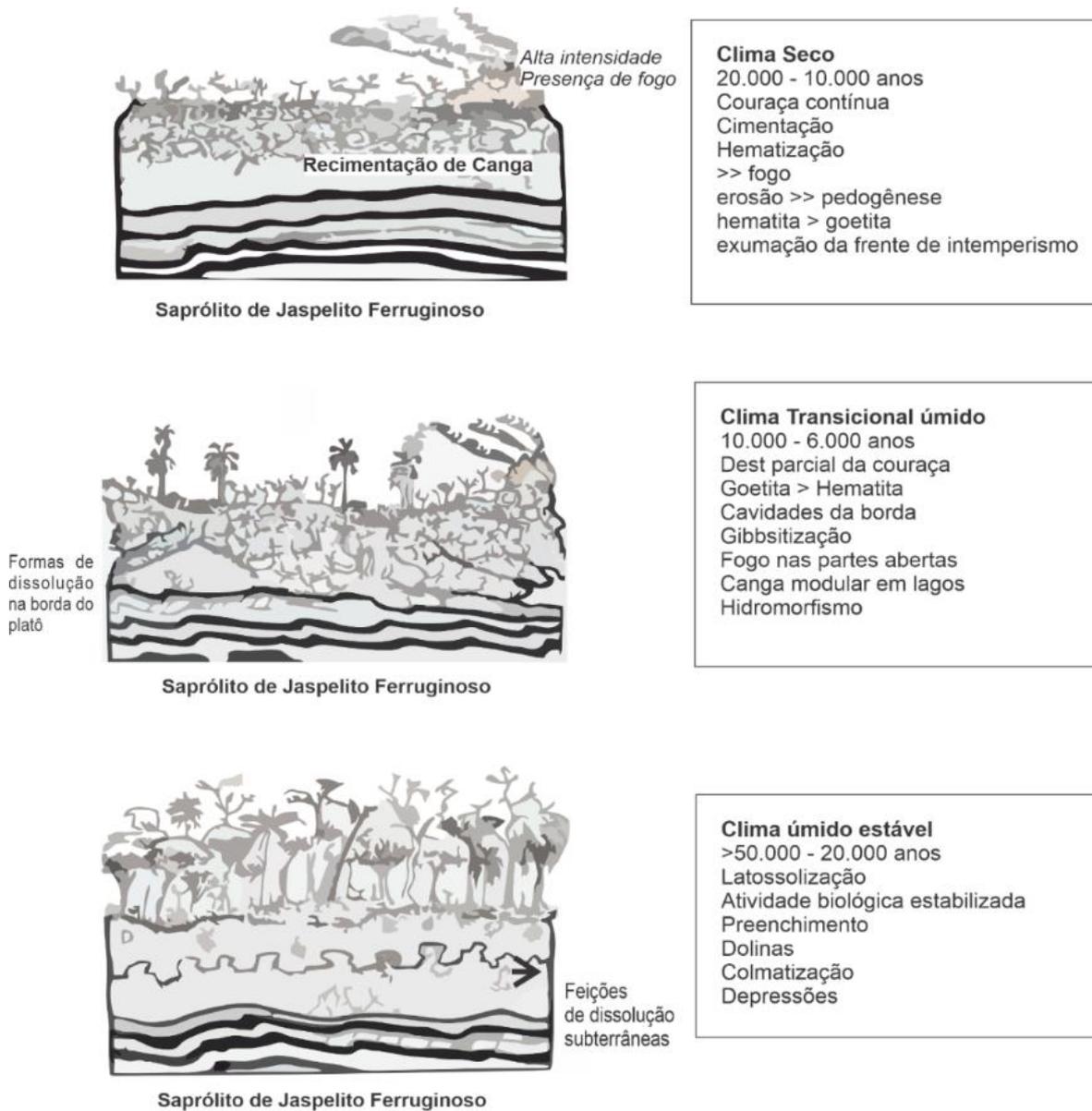


Figura 2.3 - Períodos climáticos associados à formação de canga. Fonte: Modificado de (Schaefer 2015).

Segundo Schaefer *et al.* (2008) as camadas de cangas no Quadrilátero Ferrífero são espessas e compostas por material saprolítico apresentando alto teor de ferro, sendo, portanto, minério rico de alto teor. A mineralogia destes corpos inclui a classe dos óxidos e hidróxidos de ferro (hematita, goethita), além de caulinita, gibbsita e quartzo eventualmente (Schaefer *et al.* 2008).

As cangas podem ser separadas em 4 tipos principais:

Tabela 2.2 - Tipos de cangas e suas respectivas descrições. Adaptado de (Endo *et al.* 2020).

Tipo de Canga	Descrição
Canga Detrítica	Contém de 20 a 80% de fragmentos detríticos de formação ferrífera, ocorrendo como cobertura da Formação Cauê. Sendo o teor de ferro 50% a 60% (Dorr 1969).
Canga Estruturada	Corpo formado <i>insitu</i> constituído por blocos de formação ferrífera bandada apresentando cimentação por limonita (Endo <i>et al.</i> 2020).
Canga Química	Baixa quantidade de detritos e alta quantidade de limonita, apresentando teores > 50% - 55% de ferro (Endo <i>et al.</i> 2020).
Canga Rica	É composta por fragmentos de hematitito cimentados por limonita. O teor de ferro é alto, atingindo cerca de 64% a 66%, tendo fragmentos de granulometria que varia de seixo a bloco (Dorr 1969).

Dorr (1969) enfatiza que os detritos presentes na canga são originários da Formação Cauê, e que processos de dissolução, redeposição e oxidação (de ferro solúvel para ferro insolúvel) ocorrem durante o processo de aglutinação e concentração das cangas, enfatizando, portanto, como a ação intempérica é parte fundamental para formação desse pacote superficial (Endo *et al.* 2020).

2.3 METAMORFISMO

As rochas pertencentes ao QFe foram fortemente metamorfizadas em escala regional com movimentos de origem sin-cinemática e fácies metamórficas variando de xisto verde a anfibolito superior (Dorr 1969).

A geometria do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.1) descreve um formato de domos e quilhas (Alkmim & Marshak 1998). Segundo Amorim & Alkmim (2011) esse formato é visualizado e observado nos Sinclinais Moeda e Dom Bosco, bem como no Sinclinal da Serra do Curral. Além destas, constatações em relação a fases deformacionais anteriores a deposição do Supergrupo Minas foram aferidas nas rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Outras estruturas marcantes presentes ao longo do QFe tais como xistosidade, lineação de estiramento e foliação miloníticas são comuns, estando associadas a dobras, cujos mergulhos apresentam medidas preferenciais de S80E/30 (Amorim & Alkmim 2011).

2.4 CONTEXTO ESTRUTURAL E TECTÔNICO

Quanto ao contexto tectônico do QFe, existem diversos modelos de evolução tectono-estrutural para a região, alguns dos quais se destacam (por exemplo, Chemale Jr *et al.* 1994; Alkimin & Marshak 1998; Endo *et al.* 2020). Recentemente, estudos envolvendo o embasamento arqueano e as rochas do Supergrupo Rio das Velhas também foram melhor detalhadas, os terrenos granito-gnáissicos pertencentes aos Complexos metamórficos. A formação dos terrenos granito-gnáissicos ou os TTG, bem como a deposição e a deformação das rochas do Supergrupo Rio das Velhas foram melhor caracterizados por Lana *et al.* (2013), Romano *et al.* (2013) e Farina *et al.* (2015). Esses terrenos, formados a partir de 4 grandes eventos tectono-magmáticos são datados do Arqueano (Tabela 2.1)

Chemale Jr *et al.* (1994) destaca a complexidade do tange a evolução dos terrenos pertencentes ao QFe. Para o autor, são dois eventos principais atuantes após a deposição da bacia minas que ocorrem ao longo de toda extensão da província, sendo um de natureza extensional e o outro compressional, ambos relacionados os Proterozóico. O primeiro evento formou estruturas denominadas megassinclinais, nos quais incluem o Sinclinal Santa Rita, inserido na área deste estudo, bem como Complexos, como o Bonfim e o Bação. Neste evento extensional (Transamazônico), corpos granito-gnáissicos foram soerguidos formando zonas de cisalhamento, evidenciadas nas rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Minas. Durante este momento é possível que uma abertura continental associada a uma zona convergente de placas possa ter ocorrido, durante o Paleoproterozóico (Chemale Jr *et al.* 1994). O segundo evento (Brasiliano), foi de caráter compressional e de direção preferencial E-W com vergência para W, sendo responsável pela formação de cadeias de montanhas ou *fold-and-thrust belt* durante o Neoproterozóico. Uma das evidências para este evento está relacionada ao metamorfismo e a deformação que ocorre de forma mais intensa a leste do QFe (Chemale Jr *et al.* 1994).

Para Alkimin & Marshak (1998) a evolução do Quadrilátero Ferrífero, se deu início a partir da formação das rochas cristalinas do embasamento, datadas do Arqueano. Os autores mencionam que estes terrenos granito-*greenstone* possuem formatos de domos e quilhas, sendo os domos representados por granitos, e as quilhas pelos *greenstone*.

A evolução da Bacia Minas ocorreu em um ambiente de margem passiva (Figura 2.4A) em um possível evento extensional. Este evento pode ter evidências a partir de associações de fácies do Grupo Tamanduá e Caraça. Posteriormente no QFe, ocorreu um evento dobramentos e a formação de cadeias de montanhas a nordeste de uma bacia *foreland*, os *fold-thrust* transamazônico (Figura 2.4B,C), formando dobras decamétricas de escala regional e zonas de cisalhamento. A orogenia transamazônica (Figura 2.4D,E), ou o colapso orogênico, foi responsável por formar novos terrenos em formato de domos e quilhas, gerando reativações e falhas nos antigos terrenos dômicos arqueanos. O evento posterior que gerou as dobras mais recentes do QFe, antes descritas pelos autores como um evento de encurtamento N-S, foi reinterpretado como pertencente ao evento Brasiliano, que formou dobras a partir de falhas de empurrão com vergência para W e foi responsável pela reativação de estruturas mais antigas (Alkimin & Marshak 1998).

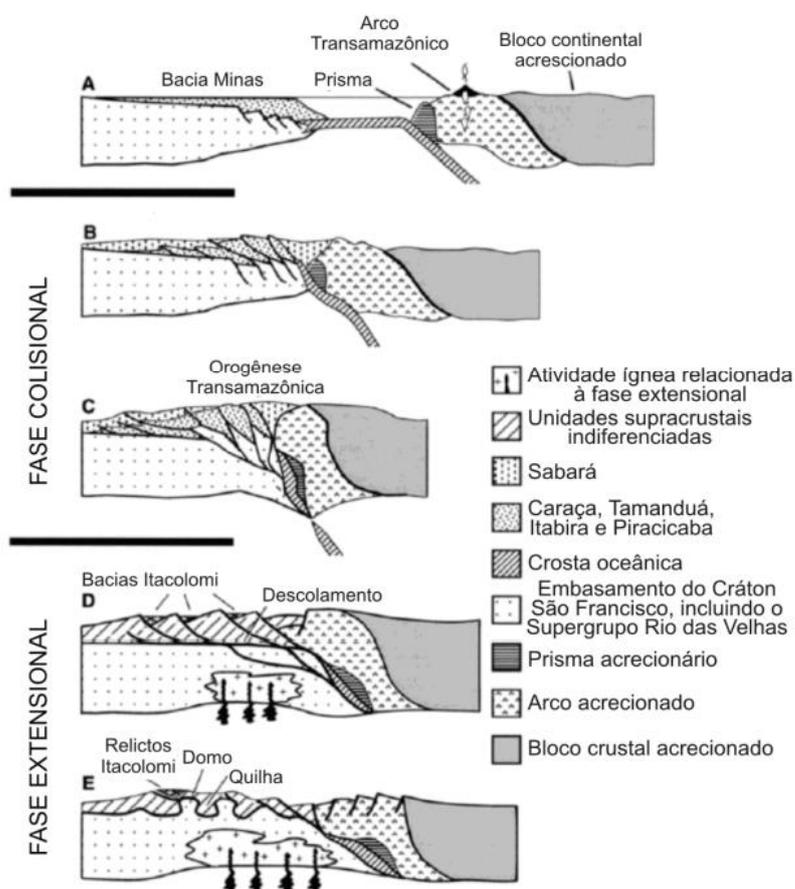


Figura 2.4 - Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkimin & Marshak (1998).

Estudos de (Endo *et al.* 1997; Almeida *et al.* 2005; Endo *et al.* 2020) sugerem que a evolução do QFe se deu a partir de dobras em grande escala de diferentes gerações e em fases de evolução geológica distintas. Dessa forma, para os autores, tais dobras designam-se como:

- *Nappe* Curral com vergência para N-NE;
- Sistemas de *Nappes* Ouro Preto com vergência para S-SW;
- Dobras de terceira geração a partir de amplificação ou redobramento.

A *Nappe* Curral representa uma megadobra com vergência para norte, estando localizada na área ocidental do Quadrilátero Ferrífero (Endo *et al.* 2005). Essa dobra contém no seu núcleo as unidades do Supergrupo Rio das Velhas, enquanto as unidades do Supergrupo Minas são encontradas no flanco inverso, por isso, as rochas dessa unidade apresentam-se com uma estratigrafia invertida (Figura 2.5).

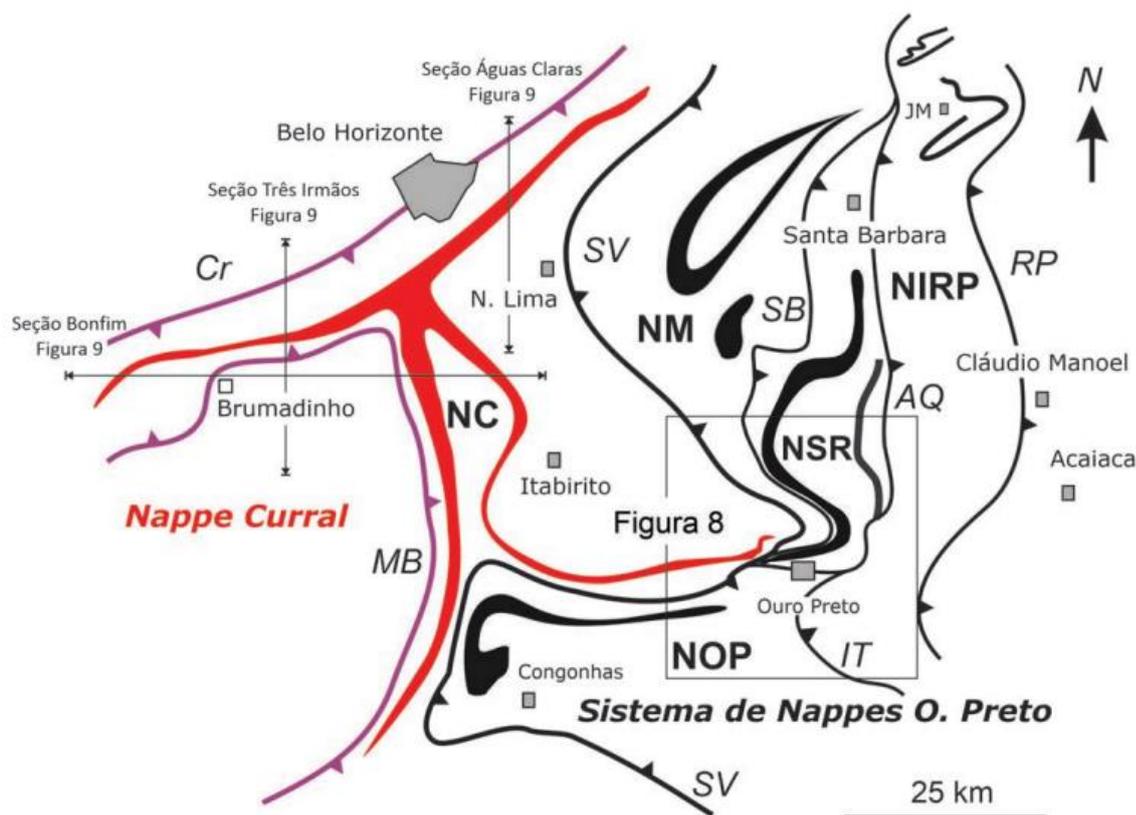


Figura 2.5 - Sistemas de Nappes do Quadrilátero Ferrífero - Nappes: NC- Nappe Curral, NM- Nappe Maquiné, NSR- Nappe Santa Rita, NIRP- Nappe Itabira-Rio Piracicaba, NOP- Nappe Ouro Preto. Falhas: SB- São Bento, AQ- Água Quente, RP- Rio Piracicaba, IT- Itacolomi, Cr- Curral. Zonas de cisalhamento: MB- Moeda Bonfim. Fonte: (Endo *et al.* 2020).

A região de estudo deste trabalho está inserida na *Nappe* de Ouro Preto (Endo *et al.* 2020) caracterizado como um segmento crustal sobre a *Nappe* Curral com vergência para SSW. São quatro *Nappes* descritas nesse sistema, tais como: a *Nappe* Maquiné inferior, a *Nappe* Santa Rita, a *Nappe* Ouro Preto e a *Nappe* Itabira-Rio Piracicaba superior. A dobra do Sinclinal Santa Rita está inserida na *Nappe* Santa Rita (Figura 2.5).

Estes sistemas de *Nappes* é caracterizado por conter uma geometria de tectônica epidérmica (*thin-skin*) que envolve as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, Minas e Estrada real, superior ao descolamento basal São Vicente. Este tectonismo, posteriormente, também atingiu as rochas dos complexos metamórficos Santa Bárbara e Guanhães (Endo *et al.* 2020). Ainda de acordo com os autores, a região sofreu deformações em duas direções distintas, uma de E para W, e outra de S para N. Sendo a deformação E-W correspondente ao tectonismo do Orógeno Araçuaí. Uma das estruturas resultante deste processo é a formação do Sinclinal Santa Rita pelo mecanismo de *flanking fold* (Rossi 2014; Endo *et al.* 2020)

Um segundo evento ocorreu ao longo da província, uma deformação de direção S para N durante a orogênese Brasileira, ocorrendo uma interferência da faixa Ribeira. A deformação colaborou com mineralizações de ferro e o enriquecimento das formações ferríferas bandadas por fluidos hidrotermais, através da geração de diques de espessura milimétricas a decamétricas de hematitito de direção preferencial para E-W. Este processo pode ter ocorrido a partir da formação de uma cunha orogênica sobre a Placa Sanfranciscana, no Brasileiro (Endo *et al.* 2020).

A síntese dos processos deformacionais, bem como os principais produtos deste tectonismo estão presentes na tabela 2.3.

Era	Eventos Tectônicos	Regime Tectônico	Fase de deformação	Processos e Produtos Tectônicos
				Domínio da <i>Nappe</i> Curral
				Domínio do Sistema de <i>Nappe</i> de Ouro Preto
Cenozóico	Sul-Atlântico	Compressão	F5	Formação de depósitos terrígenos, aluviões, elúvios e colúvios
		Extensão		Fase de fraturamentos, falhamentos e reativações de descontinuidades crustais herdadas.
Mesozoico		Extensão		Deposição dos sedimentos que compõem as formações Fonseca, e Fazenda do Gandarela e Gongo Soco e posteriormente das formações Cata Preta e Chapada de Canga.
Neoproterozóico	Brasiliano	Compressão N-S	F4	Magmatismo máfico: Suíte Santa Cruz
		Compressão E-W	F3	Nucleação dos sinformes Dom Bosco, Nova Lima-Brumal e Itabira e antiformes Furquim e João Monlevade de direções axiais EW por processo de indentação do bloco Barbacena com movimento de sul para norte. Redobramento do sinforme Dom Bosco: Dobra em “L” de Almas-Segredo (<i>miter folding</i>). Formação de clivagens de crenulação E-W e dobras de escala mesoscópica vergentes para N. Intrusão de corpos de granitos e pegmatitos no domínio do sinforme Dom Bosco. Reativação das falhas Marinho da Serra, Cata Branca, Congonhas e correlatas (cinemática dextral). Rotação horária, de aproximadamente 45°, dos diques das suítes Santa Rita de Ouro Preto e Catas Altas da Noruega no domínio de influência do bloco Barbacena. Amplificação e rotação dos sinclínorios de Itabira e João Monlevade-Rio Piracicaba por mecanismo de <i>flanking folds</i> .
		Extensão		Formação de clivagens de crenulação N-S e dobras de escala mesoscópica vergentes para W e, localmente, para E. Inversão do flanco E do Sinclinal Moeda. Nucleação do Sinclinal Cláudio Manoel e Anticlinal Acaiaca. Reativação de descontinuidades pretéritas com geração de foliação nas rochas máficas e ultramáficas. Geração dos sinclinais Alegria e Fábrica Nova por mecanismo de <i>flanking folds</i> sem geração de clivagem plano-axial associada. Geração de estruturas Andersonianas (fraturas conjugadas, de alívio e de tração) e posteriormente basculadas para E. Fraturas de alívio NS preenchidas por veios de quartzo e de tração preenchidas por corpos de hematitito. Falhas Marinho da Serra, Cata Branca, Congonhas e correlatas (cinemática sinistral).
				Magmatismo máfico: Suíte Pedro Lessa

Era	Eventos Tec-tônicos	Regime Tectônico	Fase de de- formação	Processos e Produtos Tectônicos
Mesoproterozóico	Espinhaço	Extensão		Formação da bacia Espinhaço
Paleoproterozóico	Pós-minas	Extensão		Magmatismo máfico/ultramáfico e alcalino: diques de direção E-W e N-S: Suíte Santa Rita de Ouro Preto/Suíte Catas Altas da Noruega e Suíte Borrachudos.
	Minas	Compressão	F2	Fase F2: Localmente presente no domínio da estrutura pop-up delimitado pelas falhas Casa Branca e Serra das Gaivotas. Dobras de propagação da falha Cata Branca: Morro do Chapéu e Pau Branco. Xistosidade plano-axial S2 associada na dobra de Morro do Chapéu.
			F1	Fase F1: Nucleação da Nappe Curral com vergência para NNE. Polaridade metamórfica crescente para SSW de fácies xisto-verde para anfibolito. Xistosidade plano-axial S1 associada. Intrusão de corpos graníticos no domínio de antepaís (Sinclinal Mangabeiras e Serra do Curral): Ex. Morro do Papagaio
				Inversão da bacia Minas
Arqueano	Mamona, Rio das Velhas (I e II) e Santa Bárbara.			Eventos tectono-metamórficos pré-Minas

Tabela 2.3 - Síntese de evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero de acordo com Endo *et al.* (2020).

2.4.1 O SINCLINAL SANTA RITA

O Sinclinal Santa Rita (Dor 1969; Maxwell 1972; Rossi 2014), inserido na *Nappe* Santa Rita (Figura 2.6) e Ouro Preto (Endo *et al.* 2020) descreve uma estrutura sinforme deformada pelo evento Brasileiro (Chemale Jr *et al.* 1994). É caracterizada como uma estrutura assimétrica cujo eixo tem rumo N-S e N-NNE e caimento sub-horizontal (Maxwell 1972). As camadas do Supergrupo Minas neste sistema de dobras apresentam-se com estratigrafia invertida, de estruturas boudinadas e segmentadas (Endo *et al.* 2020).

A *Nappe* de Ouro Preto representa o flanco inverso do Sinclinal Santa Rita, uma superfície de descolamento basal que sofreu transporte para SSW, seccionada pela falha de Água Quente e delimitada pela Falha do Itacolomi (Endo *et al.* 2020). Nesse sistema, as unidades do Supergrupo Minas, bem como da Estrada Real apresentam-se redobradas com escamas de falhas com duas características distintas: uma estrutura sinformal de eixo E-W e uma inflexão de direção SSW, mais ao ocidente. A região sul é representada por escamas de cavalgamento do flanco inverso do Sinclinal e apresentam megadobras de direção E-W (Endo *et al.* 2020).

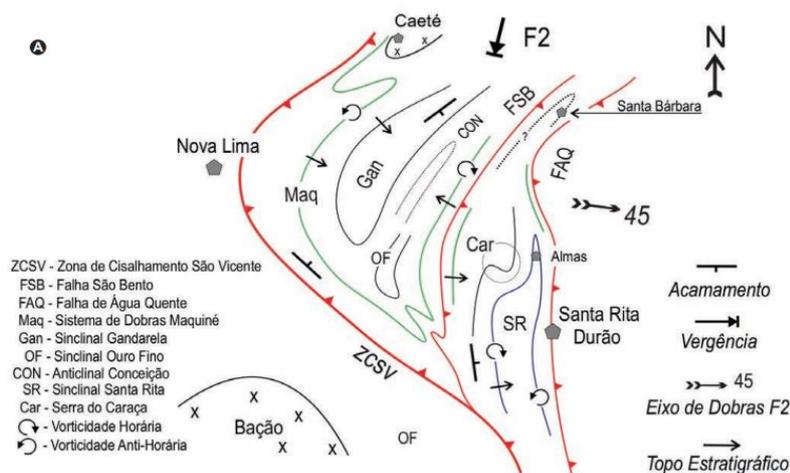


Figura 2.6 - Articulação das *Nappes* Maquiné e Santa Rita. Fonte: (Endo *et al.* 2020)

A mina de Fábrica Nova encontra-se inserida neste sinclinal, mais precisamente no flanco inverso seccionado pela Falha de Água Quente (Rossi 2014). Segundo Rossi (2014) a estrutura sinformal apresenta eixo de 100/20, fortemente influenciada por quatro eventos deformacionais (Tabela 2.4), com feições presentes no acamamento do flanco leste e oeste, tais como dobras decorrentes de fases de encurtamento de direção N-S no leste; e camadas de comportamento homoclinal no flanco oeste.

Tabela 2.4 - Eventos deformacionais e processos tectônicos associados ao Sinclinal Santa Rita. Fonte: (Rossi 2014).

Eventos	Natureza	Processos tectônicos
E_4	Extensional	Grabens com eixo segundo as direções ENE-WSW e E-W. Deposição dos sedimentos da Formação Cata Preta.
F_4	Compressional	Dobras assimétricas abertas a fechadas com charneiras de direção aproximada N-S e vergência para W - tipo <i>Kink</i> . Geração do sinforme e antiforme de Fábrica Nova pelo mecanismo de <i>flanking folds</i> .
E_3		Clivagens de crenulação de direção E-W e mergulhos subverticais. Dobras suaves a abertas com eixo de caimento moderado para ENE e dobras em estilo <i>kink</i> com plano axial mergulhando para sul. Falha transcorrente dextral e fraturas associadas
F_3		
E_2	Extensional	Geração de descontinuidades crustais e intrusão de diques máficos e ultramáficos.
		Reativação da Falha da Água Quente. Cinemática Sinistral.
E_1	Compressional	Formação do Sinclinal Santa Rita a partir do redobramento da <i>nappe</i> Ouro Preto: Repetição das camadas Minas na borda leste do QFe e justaposição dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara em movimento dirigido de norte a sul - Falha da Água Quente. Geração do anticlinal Bento Rodrigues.
F_2		
F_1		Dobramento regional do tipo <i>nappe</i> com vergência para SW

2.4.2 A FALHA DE ÁGUA QUENTE

Dorr (1969) descreve a falha de Água Quente como uma extensão de aproximadamente 60 km, de direção N-S, apresentando falhas menores e ramificadas.

Descrito por Ferreira Filho & Fonseca (2001) os sistemas de falhas “Água Quente” são caracterizados por conter famílias de falhas reversas de direções N-S e de vergência para W. Neste sistema, inclui-se a falha de Água Quente, descrita por Maxwell (1972) como uma estrutura que secciona rochas pertencentes ao Complexo Santa Barbara e às rochas supracrustais. Ferreira Filho (1999) sintetiza que a falha possui estrutura de rampa oblíqua sinistral e rampa frontal, na parte norte.

Segundo Rossi (2014), a Falha de Água Quente possui cinemática direcional dextral fortemente influenciada por cinemática sinistral. A falha apresenta indícios de movimentos de direção N-S causados por cavalgamento, no qual gerou rompimento responsável por transportar rochas tanto do embasamento como do Supergrupo Minas.

2.5 METALOGÊNESE DO FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

No ponto de vista metalogenético, ambientes marinhos rasos e/ou profundos associados ou não a ambientes vulcânicos e tectonicamente ativos podem formar depósitos de ferro (Figura 2.7). Estes depósitos podem ser classificados em: Algoma, Lago Superior e Rapitan (Gross 1983). Existem ainda depósitos do tipo CID (*Chanel Ore Deposits*) constituído por rochas arqueanas e proterozóicas retrabalhadas (Endo *et al.* 2020).

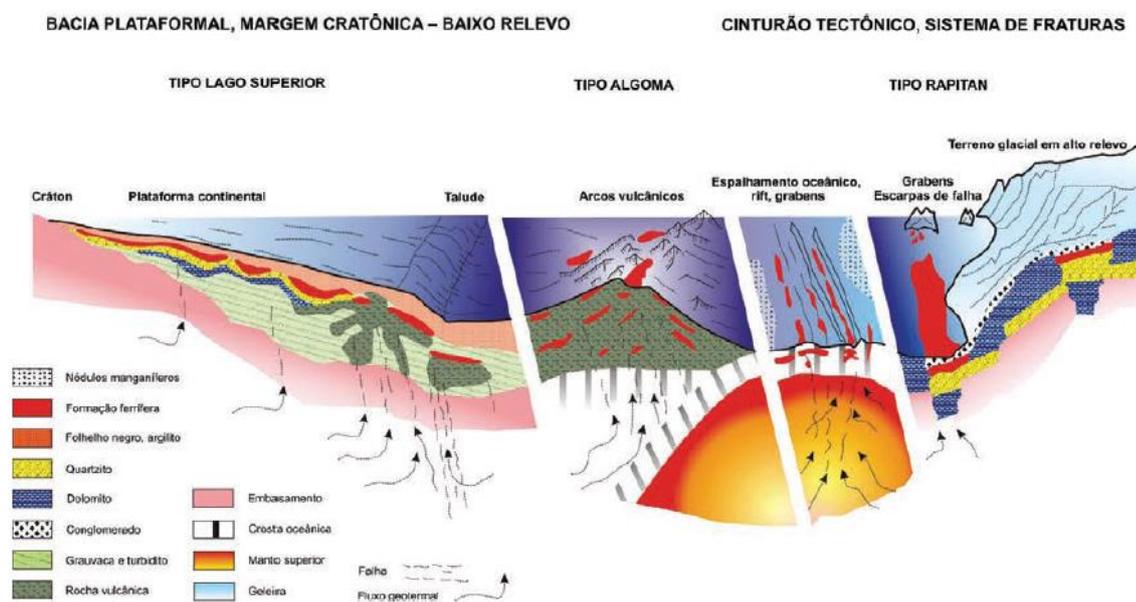


Figura 2.7 - Tipos de depósitos de Ferro - Lago Superior, Algoma e Rapitan. Fonte: (Endo *et al.* 2020).

Resumidamente, as bacias do tipo Algoma estão relacionadas a um ambiente hidrotermal submarino e aos *greenstone belts* (rochas vulcanossedimentares) datadas do Arqueano, podendo estar associada à depósitos vulcano-exalativos (VMS) (Gross 1983).

As bacias do tipo Rapitan descrevem depósitos formados em ambientes profundos e retrabalhados após processos sedimentação distintos, podendo ser relacionados à eventos de origem glacial (Gross 1983). Um exemplo deste depósito na área de estudo, é a Formação Cata Preta, onde observam-se corpos rolados e retrabalhados, ricos em ferro, constituídos a partir de blocos e fragmentos de itabiritos, hematitas e cangas (Endo *et al.* 2020).

Segundo Gross (1983) as sequências do tipo Lago Superior são formadas em ambiente de margem passiva datados do Proterozóico. Dessa forma, o processo de evolução e sedimentação das FFB surge a partir da alta concentração de ferro nos oceanos através de condutos vulcânicos submarinos, que somados ao aumento de oxigênio disponível na atmosfera pelo evento “*The Great Oxigenation Event (GOE – O Grande Evento de Oxigenação)*”, corroborou com a alta precipitação e, portanto, concentração de ferro na água do mar (Rosière & Rolim 2016).

O Ferro no Quadrilátero Ferrífero está alojado nas formações ferríferas bandadas (FFB) do tipo Lago Superior, em depósitos supergênicos datados do Neogeno e em minérios formados por enriquecimento hidrotermal (Dorr 1964; Rosière *et al.* 2008) no Riachão (Rosière *et al.* 2013). Sendo assim, dois processos distintos possibilitaram a alta concentração do mineral de ferro nas FFB do Quadrilátero Ferrífero um de natureza supergênica e um de natureza hidrotermal.

Os minérios de alto teor > 64% podem ser classificados em: Hipogênicos ou Hidrotermais e Supergênicos (Rosière & Rolim 2016). Tais minérios são formados a partir dos processos mineralizadores que incluem oxidação, remoção e lixiviação dos minerais de ganga (Rosière & Rolim 2016). Os processos Hipogênicos/Hidrotermais envolvem a injeção de fluídos metamórficos, baciais, magmáticos ou meteóricos em alta temperatura, causando a remoção da ganga em eventos tectônicos; já os processos supergênicos ocorrem a partir da ação do clima, através de processos intempéricos. (Hagemann *et al.* 1999; Taylor *et al.* 2001; Rosière & Rios, 2004; Rosière & Rolim 2016).

Como ressalta Dardenne (2001) os fluidos hidrotermais somado aos processos de rifteamento e abertura oceânica pertencentes ao Ciclo Minas, podem ter influenciado diretamente na formação deste tipo de depósito, o Lago Superior. O processo ocorreria através da lixiviação de minerais pela percolação de fluidos hidrotermais, causados por ciclos de convecção em rochas máficas e ultramáficas, sejam elas do SGRV ou do manto superior. Dessa forma os fluídos percolados nessas rochas possibilitaram a concentração de ferro em um ambiente marinho.

Quanto aos sistemas mineralizadores no QFe, dois domínios estruturais são descritos por Rosière *et al.* (2001), o domínio a oeste relacionado a Orogênese Riachiana/Paleoproterozóica (Occidental) e o domínio leste relacionado à Orogênese Brasileira do Neoproterozóico (Oriental), onde ocorreram a superposição de estruturas tectônicas, bem como imbricamento das unidades, como observado na (Figura 2.8).

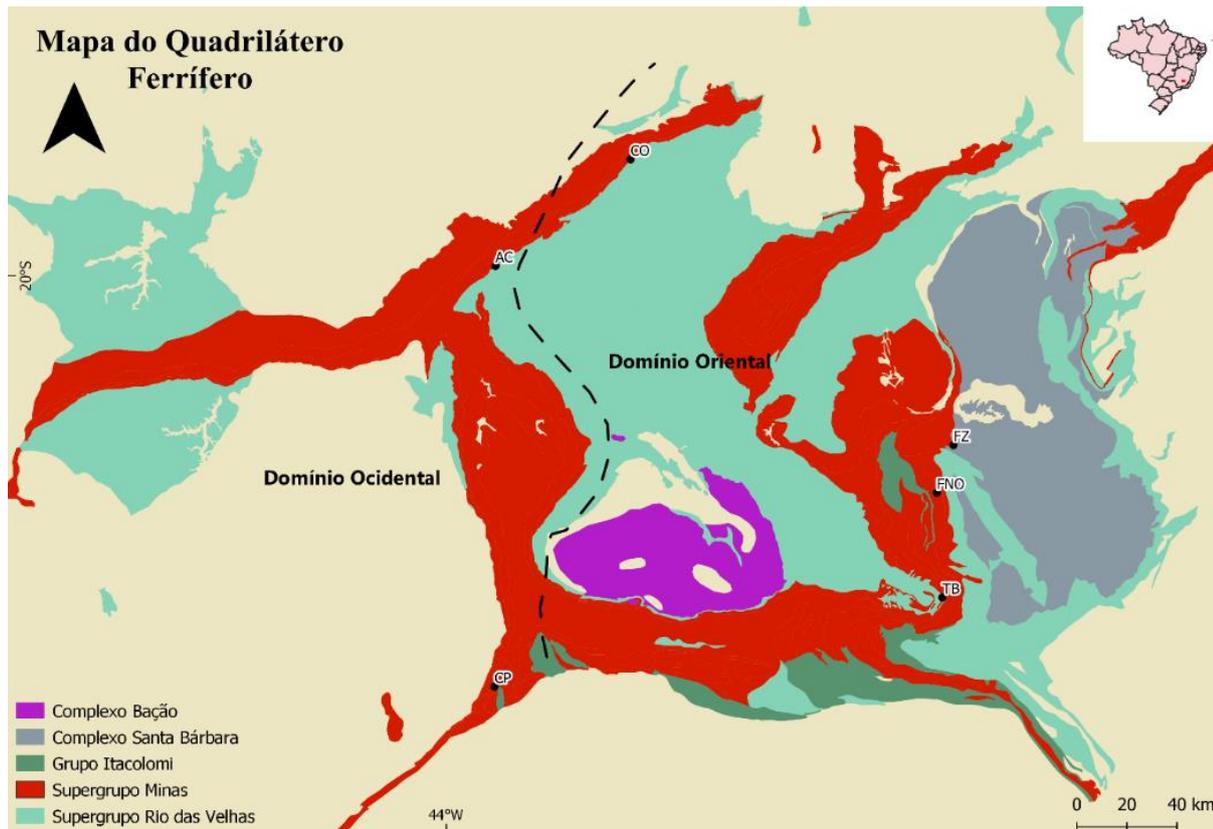


Figura 2.8 - Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Em destaque de minas ao sudeste do QFe - FZ (Fazendão), FNO (Fábrica Nova), TB (Timbopeba). Fonte: Modificado de Rosière & Rolim (2016).

Os depósitos da área de estudo deste trabalho estão localizados no domínio oriental, com a simbologia FNO (Figura 2.8). Os processos deformacionais da parte oriental do QFe causaram xistosidade penetrativa e formação da hematita especular (Rosière & Rolim 2016).

Segundo Rosière *et al.* (2008), os depósitos localizados no alto *strain* do QFe são caracterizados por conter estruturas deformacionais causadas por falhas de empurrão bem como zonas de cisalhamento. De fácies xisto-verde, as formações ferríferas bandadas apresentam granulação média a grossa, composição mineralógica predominante de hematita, magnetita e especularita em menor proporção. Em zonas de cisalhamento, itabiritos silicosos passam a conter Fe enriquecido, formando corpos de formato tubular e com teor mais elevado (Rosière *et al.* 2008). Ao longo de todo o domínio leste, as fácies metamórficas variam de xisto verde a anfíbolito inferior, e em algumas regiões o grau de metamorfismo é mais elevado.

A falha de Água Quente desempenha um papel fundamental na concentração destes corpos de itabiritos, pois é uma estrutura de grande extensão presente no domínio oriental e possui diversos depósitos alojados no seu interior.

CAPÍTULO 3

A FORMAÇÃO CAUÊ E AS MINERALIZAÇÕES DE FERRO

3.1 O SUPERGRUPO MINAS

Para compreender a gênese e origem dos itabiritos é importante entender onde estão localizados seus principais depósitos, bem como aferir sobre sua correlação na coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, por isso, inicialmente ressalta-se a importância em falar sobre o Supergrupo Minas e a formação onde estão alojados os corpos de minério, a Formação Cauê.

O Supergrupo Minas compreende duas sequências no que se refere à evolução deposicional da bacia. Sendo uma sequência fluvial deltaica e a outra marinha plataformal, no qual inclui o Grupo Itabira (Rosière & Chemale Jr 2000). O Grupo Itabira abrange duas formações principais, sendo elas a Formação Cauê e a Formação Gandarela. Do ponto de vista estratigráfico, subentende-se que a evolução do sistema de sedimentação da base para o topo representa uma sequência predominantemente marinho raso e profundo evoluindo para uma sedimentação química (Noce 1995; Machado *et al.* 1996) em um ambiente de margem passiva (Alkmim & Marshak 1998).

Ocorre de forma predominante da base para o topo filitos carbonosos, sericita-filitos, e filitos que progradam para hematita – filitos, itabiritos e dolomitos (Rosière & Chemale Jr 2000). Nota-se que ambas as formações do Grupo Itabira variam lateralmente e verticalmente apresentando contatos bruscos, o que torna a separação exata entre as sequências de difícil visualização (Pires 1995).

As Formações que compõem o Grupo Itabira já abarcaram diversos outros projetos de exploração além do ferro, a exemplo do ouro que já foi explorado nas formações ferríferas bandadas, do manganês e da bauxita na Formação Gandarela. Além disso, a Formação Cauê perfaz um importante aquífero, e abriga um extenso depósito de água subterrânea (Dorr 1969).

3.1.1 A FORMAÇÃO CAUÊ

A Formação Cauê representa grande interesse para as áreas de produção de minério de ferro. Isso deve-se principalmente aos corpos alojados neste pacote, no qual incluem espessas camadas, entre 200 e 300 metros, de itabiritos e lentes hematíticas (Babinski *et al.*,1995), e são, dessa forma, considerados minério rico de alto teor. Os minerais presentes nos corpos de itabirito englobam o óxido de ferro sob a forma de minerais de hematita de granulação fina a grossa, de textura que varia de granoblástica a especular (Rosière 2000).

3.2 TIPOS E GÊNESES DE ITABIRITOS

Rosiére & Chemale Jr (2000) definiram itabiritos como rochas metamórficas que apresentam bandamento composicional marcante, bem como estruturas e texturas carimbadas por fases deformacionais. A mineralogia desses corpos compreende nas bandas mais escuras óxidos de ferro e nas bandas claras sílica ou minerais de quartzo.

Já as formações ferríferas bandadas de classificação sedimentar, também foram definidas como “*Rocha sedimentar química, tipicamente com camadas finas ou laminadas, cuja principal característica é teor alto de ferro, mas não necessariamente contendo camadas de chert*” (James 1954).

Os tipos de itabiritos segundo Rosiére & Chemale Jr (2000) são classificados como itabirito comum, itabirito dolomítico e itabirito anfíbolítico. O filito piritoso perfaz um tipo de rocha comumente presente de forma abundante na associação com os itabiritos. (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Tipos de Itabirito e mineralogia Fonte: (Rosiére & Chemale Jr 2000).

Tipos de itabiritos e formações associadas	Mineralogia
<i>Itabirito comum</i>	Hematita, martita, kenomagnetita, quartzo
<i>Itabirito dolomítico</i>	Martita, hematita, kenomagnetita, dolomita ferroana
<i>Itabirito anfíbolítico</i>	Martita, hematita, kenomagnetita, maghemita, grunerita–cumingtonita, tremolita, actinolita, quartzo.
<i>Hematita - filito</i>	Hematita, sericita
<i>Filito piritoso</i>	Pirita, matéria carbonosa

A mineralogia predominante dos Itabiritos no QFe engloba óxidos de ferro, tais como: martita, hematita granoblástica e especularita, apresentando também magnetita (kenomagnetita) (Rosiére & Chemale Jr 2000). O quartzo, bem como anfíbolios e carnobatos (dolomita) são definidos como ganga pois não possuem interesse econômico.

Para os autores Amorim & Alkmim (2011), os itabiritos são classificados em itabirito silicoso, itabirito dolomítico, itabirito anfíbolítico e itabirito magnético. Sendo o itabirito silicoso o mais

abundante ao longo de toda extensão do QFe, ao passo que nas regiões leste e oeste os itabiritos dolomíticos e os anfibolíticos predominam, respectivamente.

A espessura dos corpos de itabirito da Formação Cauê pode ser estimada em até 350 metros, alterando-se lateralmente ao longo do QFe (Dorr 1964). Processos deformacionais ocorridos ao longo da formação tiveram um comportamento plástico, e por isso a espessura pode ser maior ou menor a depender da localidade (Dorr 1964). Em relação à idade da Formação Cauê, a correlação geocronológica carece de estudos mais profundos, isso deve-se a escassa ocorrência de minerais ideais para datação. No entanto, estudos realizados na base da Formação Gandarela obtiveram idades em torno de 2.5 G.a (Amorim & Alkmim 2011).

3.2.1 TIPOS DE CORPOS DE MINÉRIO

Segundo Rosière & Chemale Jr (2000), corpos de minério de ferro contém Fe > 64% e podem ser classificados em três diferentes classes e gerações. Como:

- (1) Não Tectônicos: Hipogênicos e/ou Supergênicos;
- (2) Sin-Tectônicos: Hipogênicos;
- (3) Pós-Tectônicos: Supergênicos;

Os minérios não tectônicos (1) são descritos como corpos de hematita compactos (Figura 3.1), com bandamento composicional de óxidos de ferro e sílica com orientação incipiente de hematita. São encontrados na base da Formação Cauê por vezes intercalados com itabirito silicoso e/ou no interior de corpos de minério friável. Segundo os autores, o processo de enriquecimento acontece através de fluidos que adentram em microfraturas no sentido vertical, nas condições dúcteis-rúpteis e apresentam anisotropia planar (Rosière & Chemale Jr 2000).

Quanto a estrutura, são descritos dobramentos do tipo flexural com núcleos e/ou estruturas em brecha, apresentando também trama granoblástica causados por interstícios vazios (Rosière & Chemale Jr 2000);



Figura 3.1 – Fragmento de hematita compacta especular com veio de quartzo.

Os corpos de minério sin-tectônicos ou hipogênicos (2) são relacionadas as zonas de cisalhamento nas regiões da extremidade leste e nordeste do QFe (Rosiére & Chemale Jr 2000) evidenciando uma zona de maior deformação. Para essa designação, ocorrem em conjunto com eventos tectônicos, processos de lixiviação de minerais de ganga por dissolução a partir da pressão e mobilização de Fe^{2+} da kenomagnetita para precipitação em forma de especularita (Lagoeiro 1998). Em relação a origem dos eventos hidrotermais, ainda há controvérsias, pois segundo Rosiére & Chemale Jr (2000) eles podem ser tanto de origem Brasileira quanto Transamazônica.

Por fim, os corpos de minério pós-tectônicos (3) compreendem essencialmente os processos Supergênicos, que envolve principalmente o intemperismo em superfície, responsável pela oxidação e hidratação da magnetita e da hematita, formando assim, os corpos de canga (Figura 3.2) (Rosiére & Chemale Jr 2000).



Figura 3.2 – Canga na parte superior em contato com itabirito friável. Fonte: Vale S.A.

Tais processos incluem principalmente a lixiviação de quartzo e a precipitação de óxidos de ferro. Chemale Jr. *et al.* (1987) trazem modelos que descrevem esse processo contínuo de alteração, em que os corpos de itabirito alteram-se para canga supergênica (Figura 3.2; Figura 3.3), como segue:

Itabirito compacto > Itabirito friável > Itabirito brando > Hematita friável > Canga.

Outro corpo mencionado por (Rosière & Chemale Jr 2000) é descrito como “rolado”, formado a partir da erosão da hematita compacta, preenchendo áreas que sofreram acentuados processos erosivos, como ravinas e vales, apresentando-se cimentados por óxidos de ferro.



Figura 3.3 - Corpos descritos como "Rolados". Fonte: Vale S.A.

Processos como enriquecimento residual de ferro são responsáveis pela formação dos corpos de alto teor, ocorrendo por vezes lixiviação de carbonatos. Dessa forma, minérios supergênicos, são caracterizados como friáveis, hematíticos, podendo ocorrer também contaminantes provenientes de itabiritos magnetíticos em domínios de baixa deformação. Já em domínios de alta deformação ocorrem comumente itabiritos friáveis (Figura 3.4) xistosos com especularita (Rosière & Chemale Jr 2000).



Figura 3.4 - Itabirito Friável. Fonte: Vale S.A.

Em relação ao produto do minério de ferro, podem ser classificados, segundo (Rosière & Rolim 2016) em:

- Lump ore (31.5 a 6.3 mm);
- Sínter feed (6.3 e 0.15 mm);
- Pellet feed fines (PFF <0.15 mm);

Essa classificação leva em consideração principalmente a granulometria do produto final, gerada a partir de tratamentos pós extração do minério, visando a concentração para sua comercialização.

No entanto a classificação descritiva leva em consideração demais variáveis, tais como: o bandamento, a textura, a mineralogia, e demais aspectos visuais.

3.3 ESTUDOS PRÉVIOS DA MINA DE FÁBRICA NOVA

Maxwell (1960 e 1972) apresentou os primeiros trabalhos na área que abrange a mina de Fábrica Nova, o Sinclinal Santa Rita. Assim como Dorr (1969), que trouxera informações sobre a evolução estrutural da área. Contribuições mais recentes realizadas por Rossi (2014) também foram descritas, trata-se do trabalho mais recente a respeito do arcabouço lito-estrutural da região.

A mina de Fábrica Nova está alocada no Sinclinal Santa Rita (Maxwell 1960), é descrito por Dorr (1969) como uma estrutura de direção norte-sul delimitada pela Formação Cambotas a norte e à sul pela Serra do Caraça, apresentando falhas normais e reversas. A estratigrafia do Sinclinal Santa Rita apresenta rochas do Complexo metamórfico Santa Bárbara, rochas do Supergrupo Rio das Velhas, do Supergrupo Minas e Unidades Cenozoicas (Tabela 3.2; Maxwell 1960, 1972).

Diferentemente do que propõe Maxwell (1960, 1972) e Dorr (1969), Rossi (2014) reinterpreta a área ao entorno deste sinclinal e propõe que a Formação Estrada Real – Grupo Sabará seja representativa para as rochas metassedimentares aflorantes na região de Bento Rodrigues e Santa Rita do Durão (Almeida 2004). Dessa forma, unidades antes mapeadas como rochas do Grupo Maquiné nesta região, são hoje, definidas como pertencentes ao Grupo Sabará (Figura 3.5).

Tabela 3.2 - Coluna Estratigráfica do Sinclinal Santa Rita, proposta por Maxwell (1972), modificado de Rossi (2014).

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia
Cenozoico			Cata Preta	Sedimentos argilosos mal selecionados de coloração avermelhada com seixos de quartzo, quartzito, filito e formação ferrífera.
	Estrada Real	Sabará	Saramenha	Xistos e filitos de variadas cores e formação ferrífera
Paleoproterozóico			Barreiro	Filitos grafitosos
		Piracicaba	Cercadinho	Quartzitos ferruginosos e filitos prateados
		Minas	Itabira	Itabiritos e filitos manganésíferos
			Cauê	Itabiritos e Hematititos
		Caraça	Batatal	Filitos sericíticos
			Moeda	Quartzitos intercalados com pelitos
	Arqueano	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso
Complexo Santa Barbara			Indiviso	Gnaisses alterados

Da base para o topo, a estratigrafia da região, segundo Rossi (2014) compreende:

O Complexo Santa Barbara, que abrange gnaisses alterados, biotita-xistos e pegmatóides está concentrado na área leste da Falha de Água Quente. Esta unidade também pode ser representada por solos alterados, de coloração rosa-esbranquiçado.

O Grupo Maquiné, representado pelo Supergrupo Rio das Velhas, é composto por quartzo-clorita-xistos, clorita-xistos, metaconglomerados e quartzito sericíticos ferruginosos. De direção preferencial para NW-SE, predominam nas regiões a leste da mina de Fábrica Nova.

O Grupo Caraça corresponde a quartzitos e filitos, e é representado pelas Formações Moeda e Batatal. A Formação Moeda engloba quartzitos finos, de granulação fina a média. A Formação Batatal abrange filitos sericíticos, podendo ocorrer de forma pontual alterações que geram um aspecto mais arroxeadado e amarelo aos filitos.

O Grupo Itabira é representado pelos itabiritos e corpos de hematita pertencentes à Formação Cauê, e ocorrem de forma intercalada com os itabiritos manganésíferos da Formação Gandarela. A Formação Cauê, apresenta inflexões para E, e uma geometria no formato de *boomerang* com estilo de dobra em Z (Rossi 2014).

O Grupo Piracicaba representa uma sequência de quartzitos ferruginosos e filitos grafitosos, sendo marcado por uma discordância erosiva com a Formação Gandarela. A Formação Cercadinho é composta por quartzitos ferruginosos, com mineralogia predominante de quartzo, hematita, magnetita e sericita. A Formação Barreiro contém filitos carbonosos e material alterado de coloração escura, e perfaz um contato contínuo com a Formação Cercadinho ao longo da mina.

O Grupo Sabará contém clorita-xistos de diversas naturezas e caracterizações, apresentam-se alterados e compreendem a maior proporção do Sinclinal Santa Rita, com uma inflexão para leste. As rochas que fazem parte deste grupo apresentam colorações arroxeadas, cinza e tons claros (palha).

Representando o Grupo Itacolomi, rochas metaconglomeráticas e quartzíticas também são descritas, além de quartzitos grossos e ferruginosos.

Unidades Cenozoicas e rochas intrusivas de natureza máficas/ultramáficas também foram descritas por Rossi (2014). Como parte das Unidades Cenozoicas, foram descritos diamictitos com clastos de itabiritos e quartzo, de matriz avermelhada e localizados na porção a leste da mina. As rochas metamáfica e ultramáficas encontradas, foram caracterizadas em clorita-talco xistos e rochas de coloração amarronzadas, de direções preferencias para E-W. (Rossi 2014).

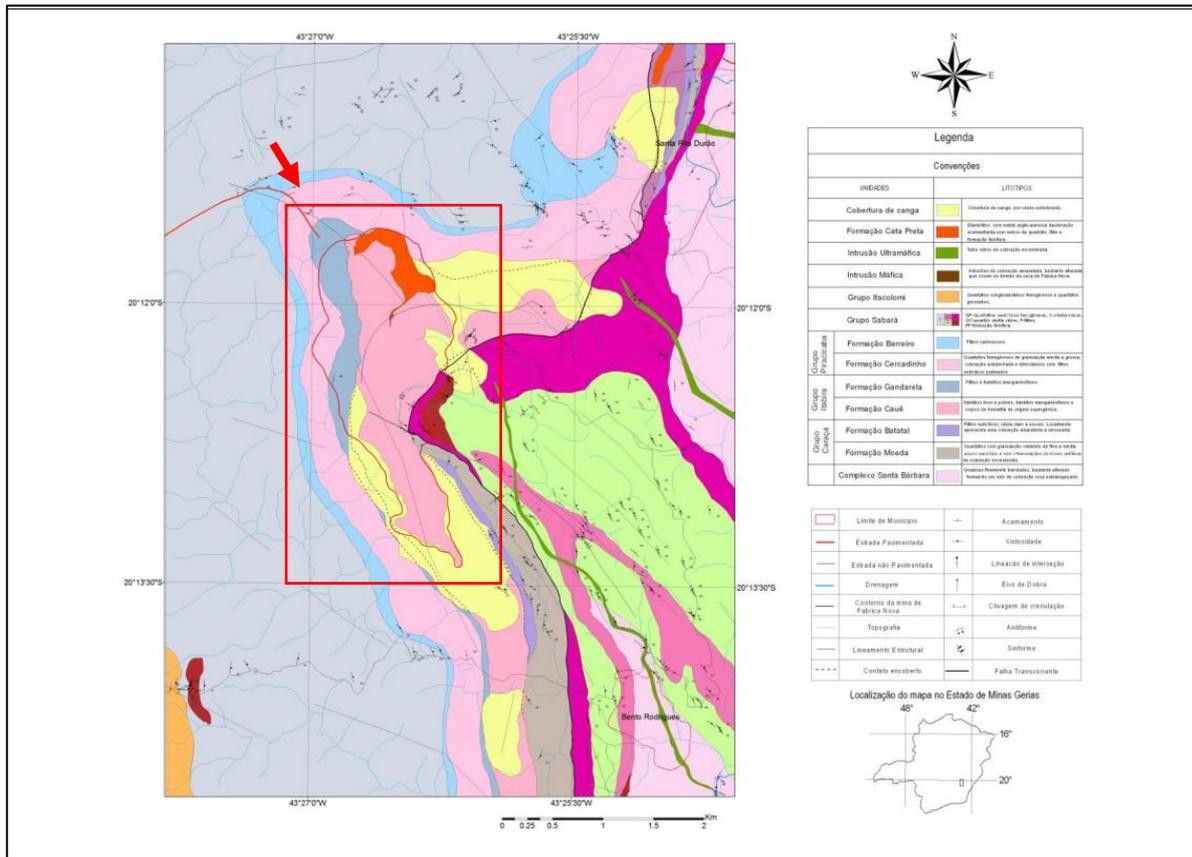


Figura 3.5 - Mapa Geológico realizado por Rossi (2014) da área do Sinclinal Santa Rita.

Em relação ao arcabouço estrutural, 2 domínios principais são descritos para a região, sendo eles o oriental e o ocidental (Rossi 2014).

O domínio oriental descreve dobramentos responsáveis pela formação de um anticlinal, com eixo de caimento E-SE; esse domínio engloba principalmente o Grupo Sabará e o Complexo Santa Barbara.

Já o domínio ocidental descreve uma estrutura em bumerangue, um padrão de dobra no formato em Z, com vorticidade no sentido horário. Essa feição compreende principalmente as rochas do Supergrupo Minas. Em relação à evolução geológica do Sinclinal Santa Rita, Rossi (2014) propõe 4 eventos principais, de períodos que se estendem do Paleoproterozóico ao Cenozoico, como apresentado pela tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Eventos tectônicos associados à evolução da mina de Fábrica Nova. Modificado de Rossi (2014).

Era	Eventos	Natureza	Processos tectônicos e produtos	Eventos tectônicos
Cenozóico	E_4	Extensional	Grabens com eixo segundo as direções ENE-WSW e E-W. Deposição dos sedimentos da Formação Cata Preta.	Sul-Atlântico
Neoproterozóico	F_4	Compressional	Dobras assimétricas abertas a fechadas com charneiras de direção aproximada N-S e vergência para W - tipo <i>Kink</i> . Geração do sinforme e antiforme de Fábrica Nova pelo mecanismo de <i>flanking folds</i> .	Brasiliano II
	E_3		Clivagens de crenulação de direção E-W e mergulhos subverticais. Dobras suaves a abertas com eixo de caimento moderado para ENE e dobras em estilo <i>kink</i> com plano axial mergulhando para sul. Falha transcorrente dextral e fraturas associadas	Brasiliano I
	F_3			
Paleoproterozóico	E_2	Extensional	Geração de descontinuidades crustais e intrusão de diques máficos e ultramáficos.	Espinhaço
			Reativação da Falha da Água Quente. Cinemática Sinistral.	Colapso Orogênico
	F_2	Compressional	Formação do Sinclinal Santa Rita a partir do redobramento da <i>nappe</i> Ouro Preto: Repetição das camadas Minas na borda leste do QFe e justaposição dos gnaisses do Complexo Santa Bárbara em movimento dirigido de norte a sul - Falha da Água Quente. Geração do anticlinal Bento Rodrigues.	Transamazônico
	E_1		F_1	

Pereira, A. L. 2022. Distribuição e modelamento dos corpos de minério de ferro da mina de Fábrica...

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os dados referentes aos campos realizados na área interna da mina, que abrangeram principalmente a cava norte e leste de Fábrica Nova.

Para isso, foram utilizadas informações de mapeamento, furos de sondagem e dados químicos. Adicionalmente, a seleção de furos dos últimos 3 anos (2019-2022) alocados na área de estudo possibilitaram a geração de um modelo geológico 3D simplificado.

4.1 GEOLOGIA DO DEPÓSITO

As rochas mapeadas neste trabalho compreenderam em maiores proporções unidades pertencentes aos Grupos Itabira e Piracicaba, do Supergrupo Minas. Adicionalmente, foram descritos corpos lateríticos e saprolíticos alocados em áreas mais superficiais, estes corpos foram descritos no mapa como “Cobertura”.

Na Cava Norte e Leste (Figura 4.1), é possível observar a presença de rochas pertencentes às Formações Cauê e Gandarela do Grupo Itabira e a Formação Cercadinho do Grupo Piracicaba, além da cobertura, que engloba um material argiloso avermelhado/amarronzado de natureza bastante friável e de caracterização saprolítica. São, também, encontradas em maior abundância na cava leste rochas alteradas de coloração amarronzada, classificadas como intrusiva.

Em relação às estruturas, observa-se que os corpos na cava norte apresentam bandamento e acamamentos cujos mergulhos tem direção preferencial para E, como já mencionado por (Rossi 2014) embora apresentem mergulhos para S e SE. Estruturas de deformação também foram observadas, tais como dobras centimétricas a decamétricas, além de fraturas conjugadas preenchidas por veios de quartzo e hematita. Contatos proeminentes entre as rochas ricas em ferro de coloração acinzentadas e a unidade superficial de cobertura são bastante comuns na cava norte (Figura 4.1). A natureza destes contatos é em grande parte erosiva.

O Grupo Sabará e o Grupo Maquiné também foram mapeados por alguns autores (Maxwell 1672; Rossi 2014), estas unidades foram caracterizadas na área leste do Sinclinal. Trata-se de clorita xistos, rochas alteradas e quartzito sericíticos. No entanto, este mapeamento confere uma área de menor abrangência e por isso, não foram identificadas as unidades mencionadas.

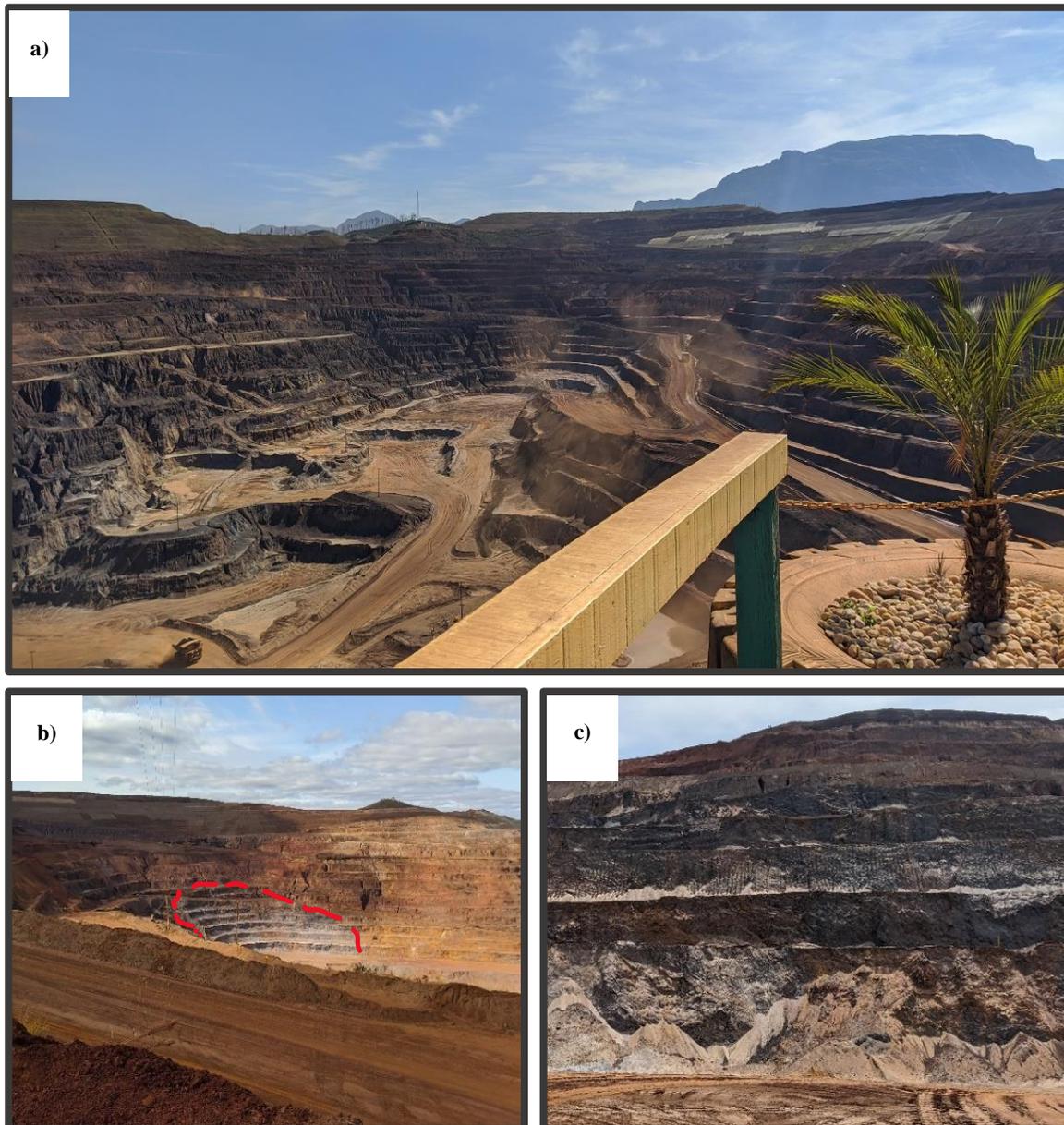


Figura 4.1 - Em (a) observa-se a cava norte da mina, área do mapeamento deste trabalho e o contato proeminente entre a formação ferrífera bandada e a zona de cobertura. Em (b), imagem lateral com vista para leste da cava norte. Em (c) imagens de um dos bancos com 10m apresentando itabiritos friáveis e manganésíferos na cava norte com vista para oeste da mina.

Visando facilitar a visualização da geologia de subsuperfície, foram descritos dois furos de sondagem (Anexo), um na cava norte (FNO-FD00423) e um na cava leste (FNO-FD00468) bem como a representação esquemática dos mesmos (Figura 4.2 e 4.3).

A direita do desenho esquemático, foram representadas as formações presentes no mapa geológico bem como no modelo 3D.

O furo FNO-FD00423 – cava norte - (Figura 4.2) apresenta litotipos das unidades de cobertura, da Formação Cercadinho, e por fim da Formação Cauê, onde predominam itabiritos goethíticos. Itabiritos manganésíferos ocorrem de forma restrita e em menor proporção.

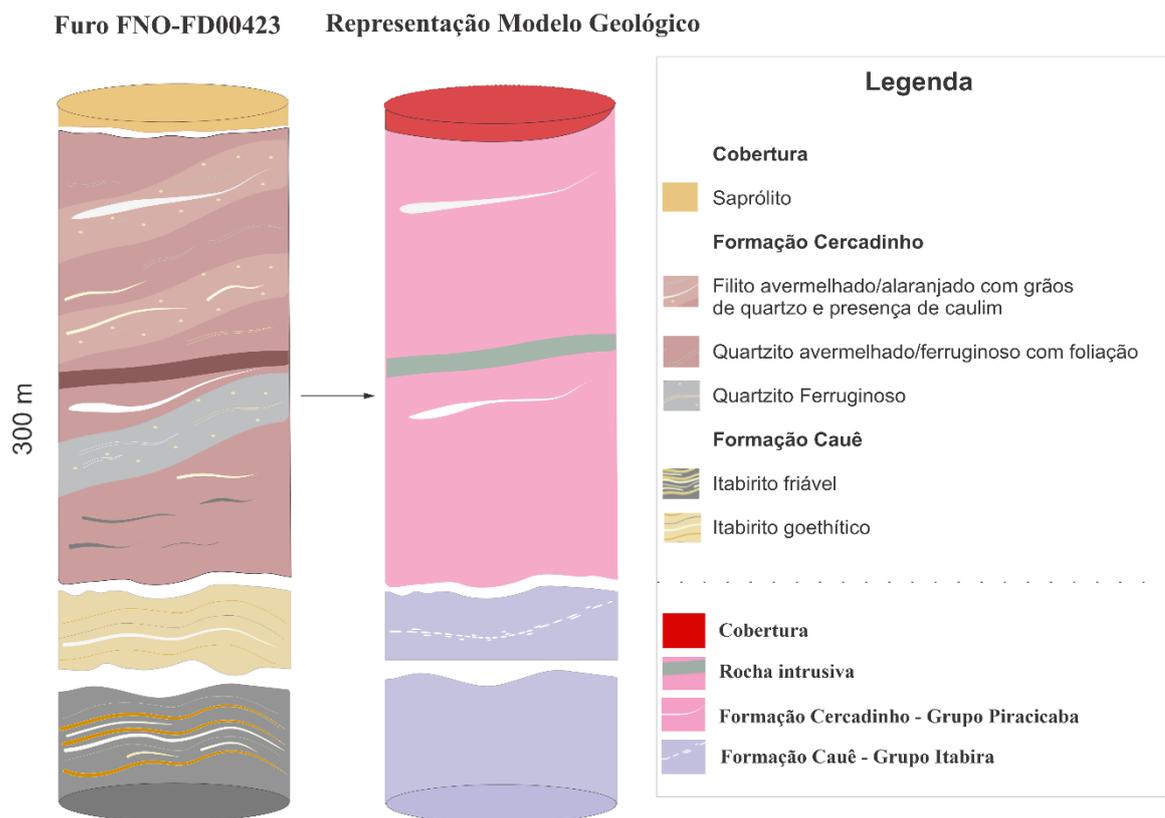


Figura 4.2 - Representação esquemática do furo FNO-FD00423.

No furo FNO-FD00468 – cava leste - (Figura 4.3) foram observadas de forma predominante rochas metamáficas e metaultramáficas, e a Formação Cauê nos intervalos finais. Os corpos de minério também foram evidenciados através das fotografias dos furos de sondagem de ambas localidades (cava norte e cava leste), que neste furo apresentou itabiritos mais silicosos, e menos goethíticos.

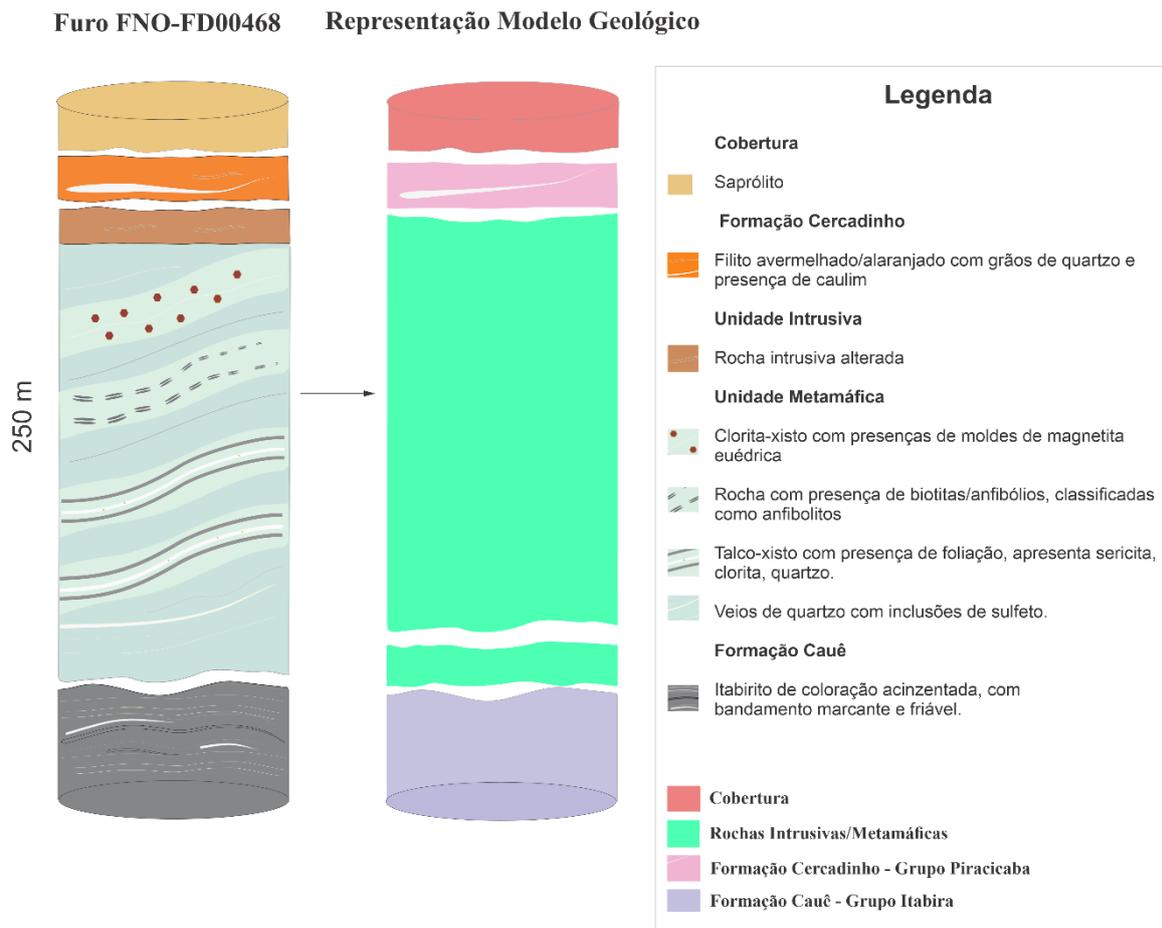


Figura 4.3 - Representação esquemática do furo FNO-FD00468.

Como observa-se no mapa geológico abaixo (Figura 4.4), os furos estão alocados na unidade correspondente à Cobertura, entretanto em subsuperfície há um predomínio de rochas quartzíticas no furo da cava norte (FNO-FD00423) e um predomínio de rochas metamáficas no furo da cava leste (FNO-FD00423). Estas unidades serão mais bem detalhadas nos capítulos seguintes.

Mapa Geológico - Mina de Fábrica Nova (Norte/Leste)

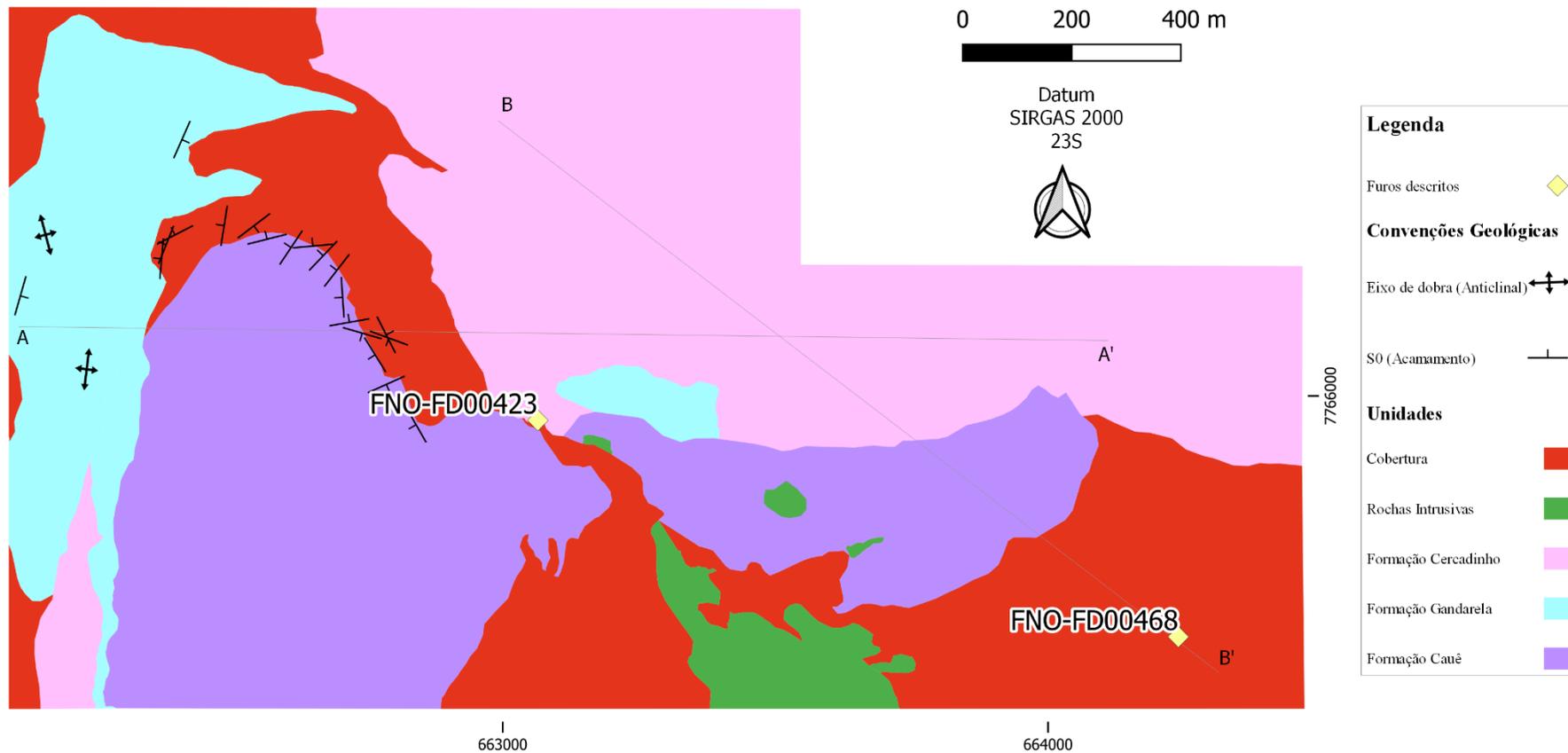


Figura 4.4 – Mapa Geológico da área de estudo da mina, abrangendo as áreas N e E. e localização dos furos de sondagem descritos. Cobertura, Rochas Intrusivas, Formação Cercadinho, Formação Gandarela e Formação Cauê.

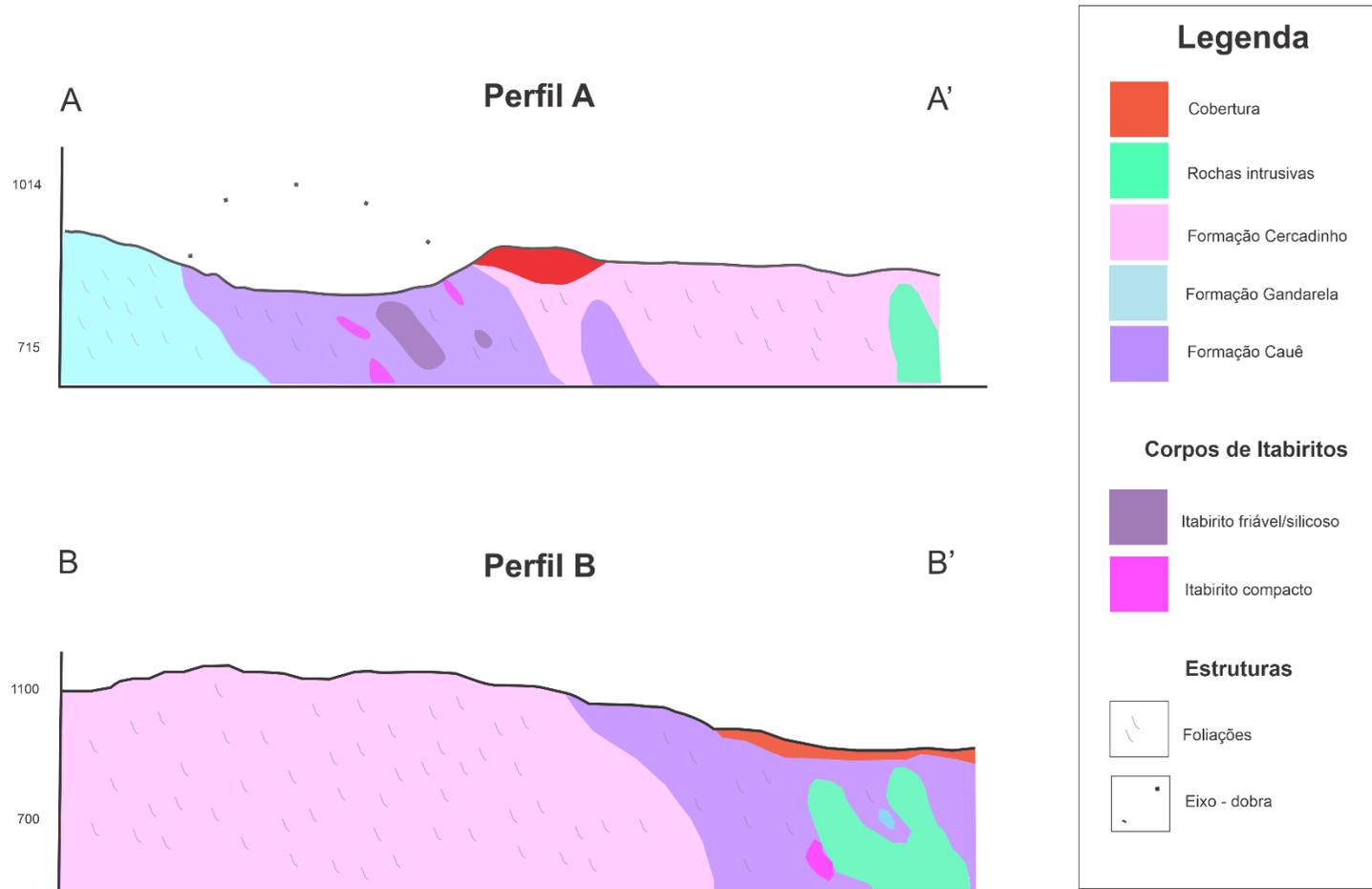


Figura 4.5 - Perfis referentes ao mapeamento da cava norte e leste de Fábrica Nova. Perfil A e B, confeccionados com base no mapa litológico.

4.2 ASPECTOS DE CAMPO DOS PRINCIPAIS LITOTIPOS DA REGIÃO

4.2.1 FORMAÇÃO CAUÊ – GRUPO ITABIRA

As rochas pertencentes à Formação Cauê (Figura 4.6 e 4.7) foram classificadas em diferentes tipos de corpos de itabiritos, sendo alguns predominantes, a exemplo do itabirito friável/silicoso. A granulação destas rochas varia de fina a média, hora com aspecto friável, hora com aspecto compacto. Itabiritos compactos não foram observados em escala de afloramento, somente em profundidade. Tem como mineralogia predominante a hematita, o quartzo, e a magnetita em algumas porções, ocorrendo por vezes especularita e limonita/goethita de cores alaranjadas e avermelhadas na face do bandamento. A presença de limonita e/ou goethita pode indicar processos de oxidação e/ou passagem de água/fluido na rocha, pois são minerais hidratados.

Em relação aos furos de sondagem, itabiritos de diferentes características foram descritos.

No furo FNO-FD00423 (Figura 4.7) – cava norte- os itabiritos foram observados após o intervalo de 202 metros (aproximadamente). Os tipos de itabiritos descritos neste furo foram predominantemente os silicosos (Figura 4.7 a,b) de bandamento marcante com hematita e quartzo, os itabiritos goethíticos de coloração alaranjada com minerais de goethita/limonita (Figura 4.7 c,d) e os itabiritos compactos (Figura 4.7e,f), que continham bandas mais oxidadas, e veios de quartzo subconcordantes ao bandamento.

No furo FNO-FD00468 – cava leste-, os itabiritos apresentavam-se menos alterados, mais friáveis, e com porcentagens de sílica mais significativa, a média de teor de ferro chegou a 29% neste furo. Também se observou veios de quartzo associados a especularita (Figura 4.6f).

Dessa forma, itabiritos de diferentes texturas foram identificados a partir de testemunhos de sondagem. Na cava norte há presença dos itabiritos goethíticos com porcentagens maiores de hidróxidos de ferro e pontualmente, itabiritos aluminosos de coloração acinzentada/friável. Em contrapartida, os itabiritos da cava leste apresentam granulação fina/média, com bandamento marcante, aspecto mais friável e com menores assinaturas de hidróxidos.

Diferentemente da cava sul, na cava norte, a conformação dos litotipos apresentam um aspecto mais deformacional, a conformação dos itabiritos na cava norte está associada a megadobras (Figura 4.6b) cujo eixo varia lateralmente e verticalmente. Ocorrem também microdobras associadas a fraturas e veios de quartzo. to mais deformacional, a conformação dos itabiritos

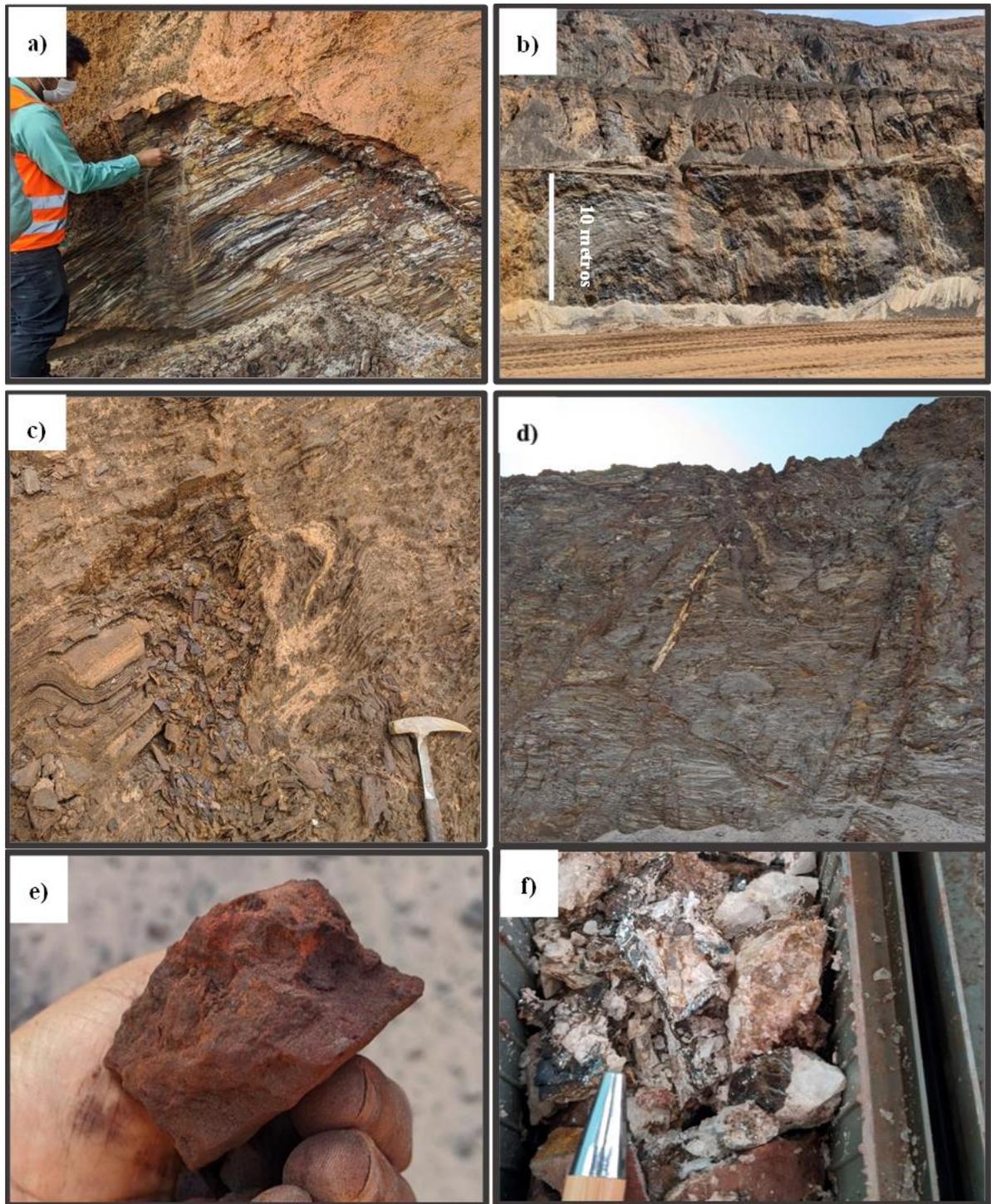


Figura 4.6 Aspectos de campo da Formação Cauê na Mina de Fábrica Nova. (a) foto de itabirito silicoso. (b) itabirito friável apresentando mega dobras com eixos de direção aproximadamente para N-S. (c) itabiritos friáveis dobrados em formato de "s". (d) itabiritos silicosos com fraturas preenchidas por quartzo e hematita. (e) corpo de hematita retirado da zona de fratura, na área ao norte de Fábrica Nova. (f) especularita associada a veios de quartzo nas FFB.

A proporção representada pelo modelo geológico, mostra que os itabiritos friáveis compreendem em termos de quantidade, um maior volume de rocha na área deste estudo, além dos itabiritos compactos, goethíticos (Figura 4.7 c,d) e friáveis ricos.

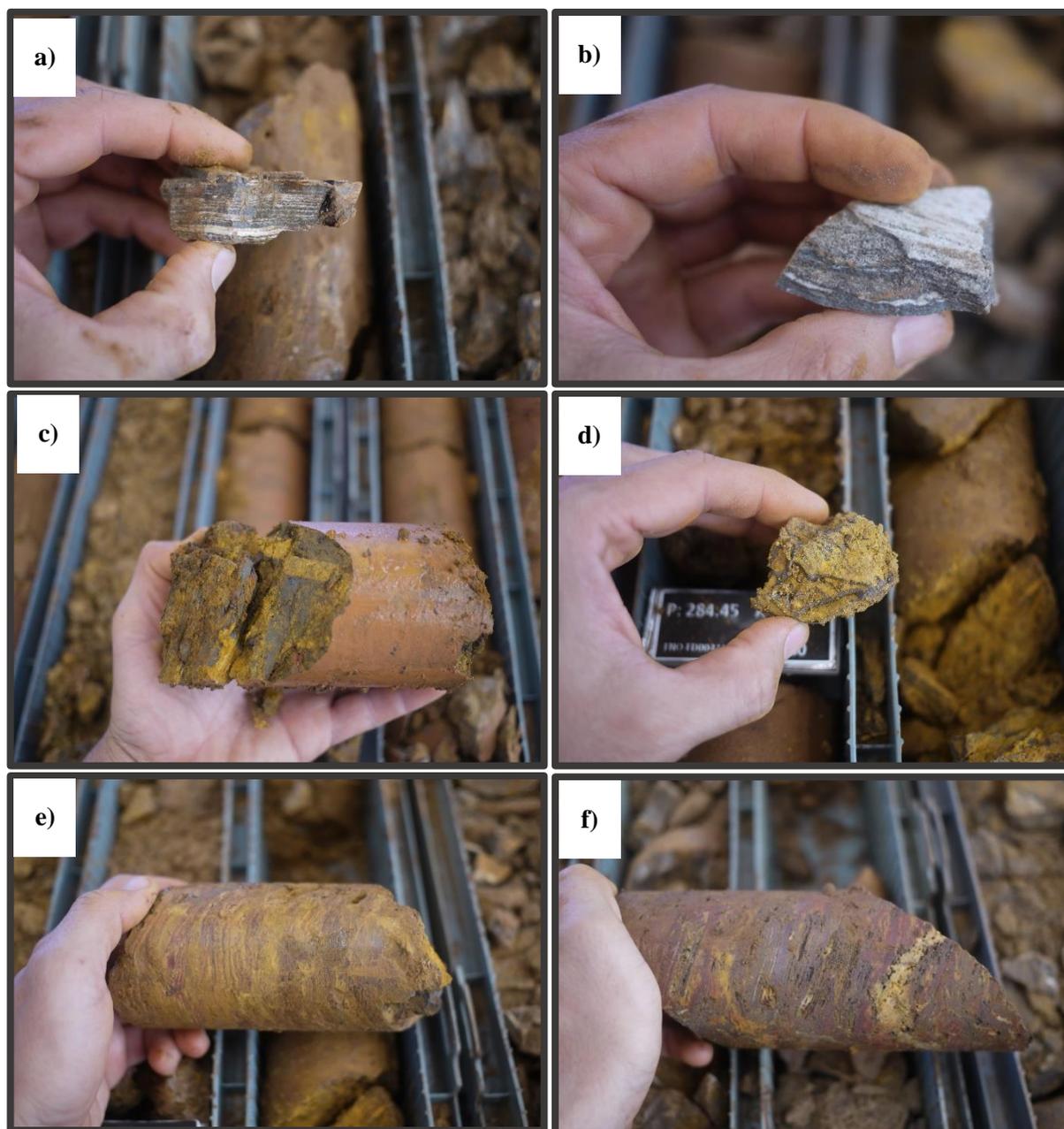


Figura 4.7 – Amostra de testemunho do furo FNO- FD00423. (a) e (b) amostras de itabirito friável, com bandamento marcante de sílica e hematita. (c) Itabirito goethítico friável (d) amostra de itabirito goethítico/ aluminoso de aspecto friável, sem bandamento marcante. (e) e (f) amostra de itabirito compacto, com bandas mais espessas de coloração avermelhada/ dourado.

4.2.2 FORMAÇÃO GANDARELA - GRUPO ITABIRA

A Formação Gandarela é caracterizada na Mina de Fábrica Nova por itabiritos escuros e manganésíferos. Trata-se de rochas com presença de óxidos de manganês, somado à hematita e o quartzo como composição mineralógica. É possível observar que a presença de itabiritos manganésíferos variam verticalmente com a Formação Cauê, sendo muitas vezes difícil separar ambas as unidades. Entretanto, os itabiritos manganésíferos podem ser identificados pelo aspecto untuoso ao tato e pelo “pó” de coloração escura. No furo FNO-FD00423, foi descrito um intervalo correspondente a esta unidade, trata-se de itabiritos manganésíferos de coloração cinza escuro, sem bandamento, com uma média de 49% de FeO e 4 a 5% de MnO. (Figura 4.8).

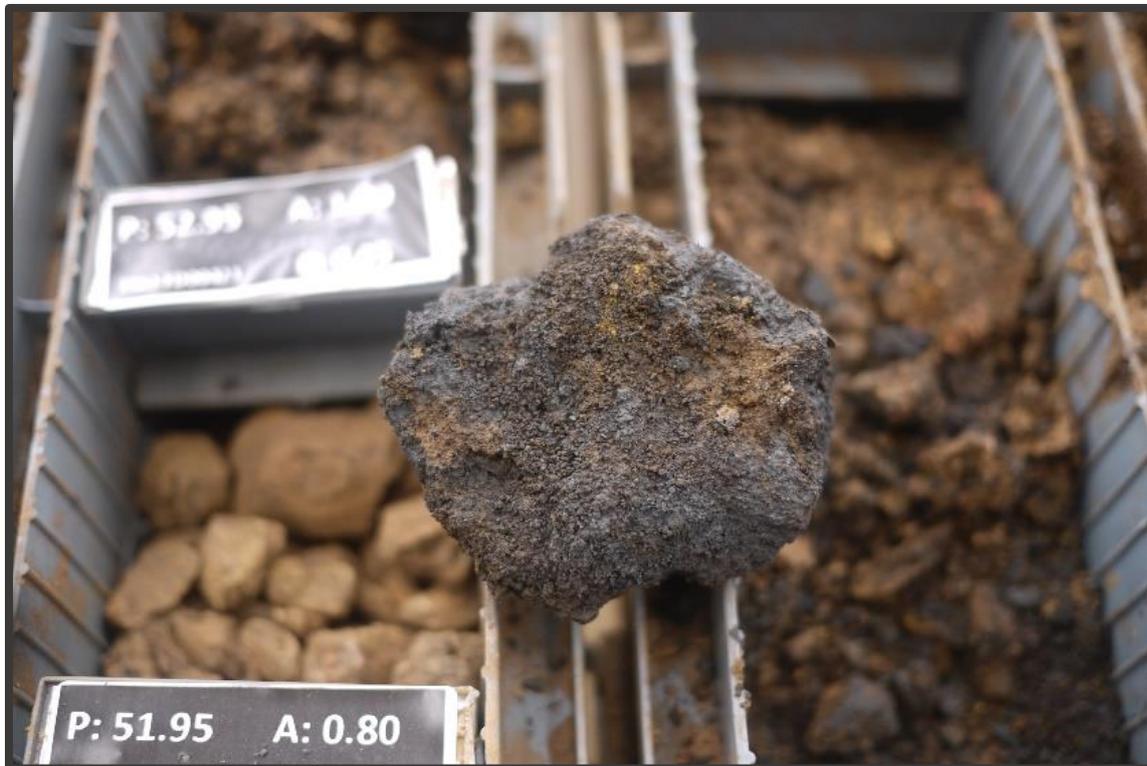


Figura 4.8- Amostra de itabirito manganésífero. A coloração escura provém de minerais de óxido de manganês.

4.2.3 FORMAÇÃO CERCADINHO – GRUPO PIRACICABA

A Formação Cercadinho é representada por intercalações de filitos e quartzitos. Em geral, há uma predominância de filitos na cava norte e quartzitos na cava leste, embora a presença de ambas rochas seja comum em ambos locais (Figura 4.9).

De forma geral, os quartzitos possuem granulação fina a média, coloração acinzentada, por vezes alaranjada/ocre (Figura 4.9a), indicando a presença de óxidos de ferro. Apresentam uma porcentagem média de 20% de FeO em alguns intervalos (Figura 4.9b). O quartzo compõe a mineralogia de forma predominante, seguindo de argilominerais como caulim e hematita fina.

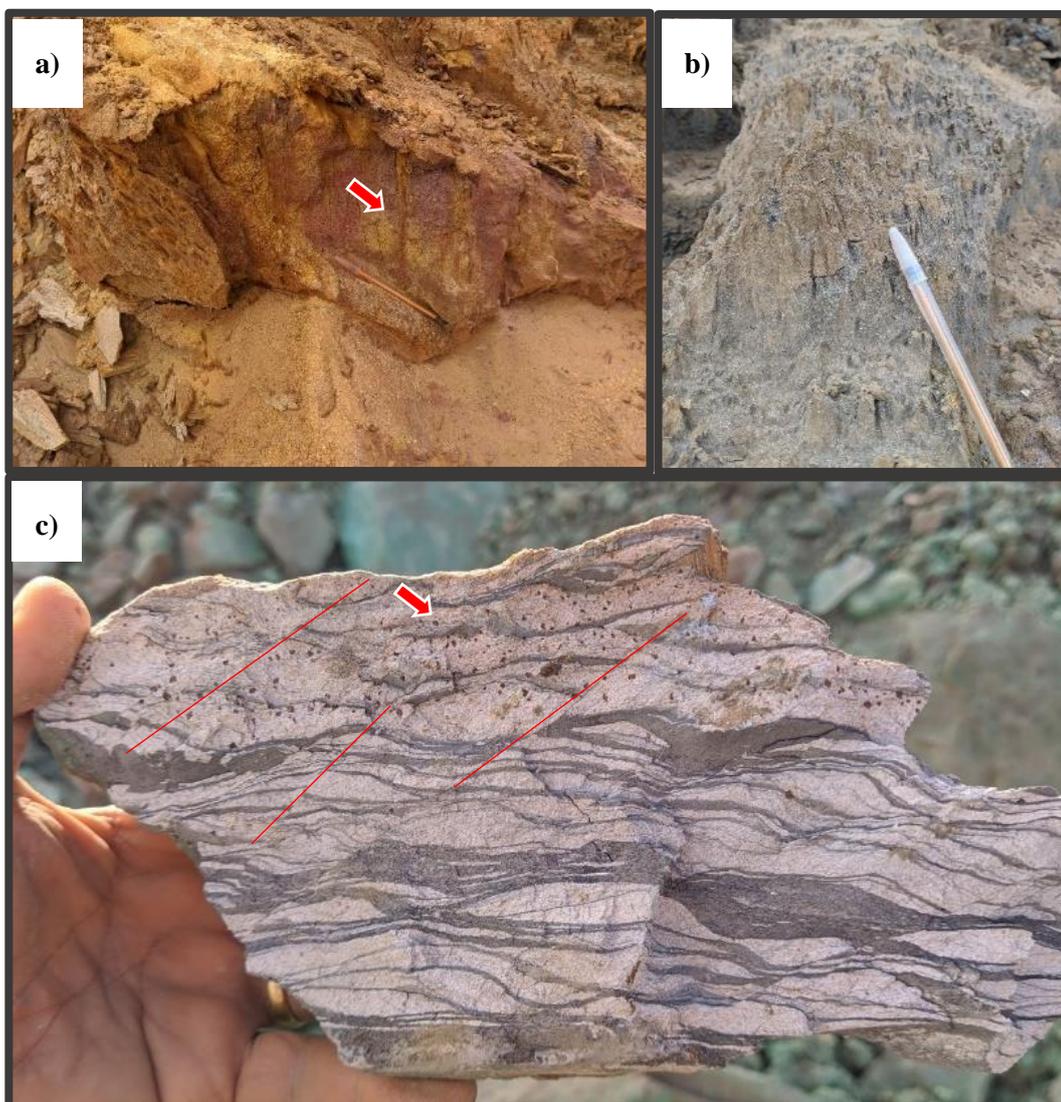


Figura 4.9 Amostras de rochas pertencentes a Formação Cercadinho. (a) Quartzito ferruginoso com óxidos de Fe. (b) Quartzito ferruginoso composto por quartzo e hematita, principalmente. (c) Quartzito ferruginoso com bandamento bem marcado, com falhas de rejeito direcional da cava leste.

Na cava leste, foram observados quartzitos ferruginosos com bandamento marcante, moldes de magnetita idiomórfica (Figura 4.9c) e fraturas de rejeito direcional, que obliteram as microdobras, visíveis pelos deslocamentos na face do bandamento (Figura 4.9c).

Algumas rochas foram descritas a partir do testemunho de sondagem FNO-FD00423, que apresentou uma sequência de quartzitos e filitos, com diferentes aspectos texturais e mineralógicos (Figura 4.10). De forma geral, os filitos apresentam coloração amarelada, lentes arenosas de granulação fina, aspecto friável, presença de argila (Figura 4.10a, b) e crenulações em alguns intervalos. Também foram descritos quartzitos mais esbranquiçados de granulação fina (Figura 4.10c) representando menor proporção em relação aos quartzitos ferruginosos (Figura 4.10 d, e). Fraturas de menor extensão preenchidas por grãos finos de hematita também foram observadas.

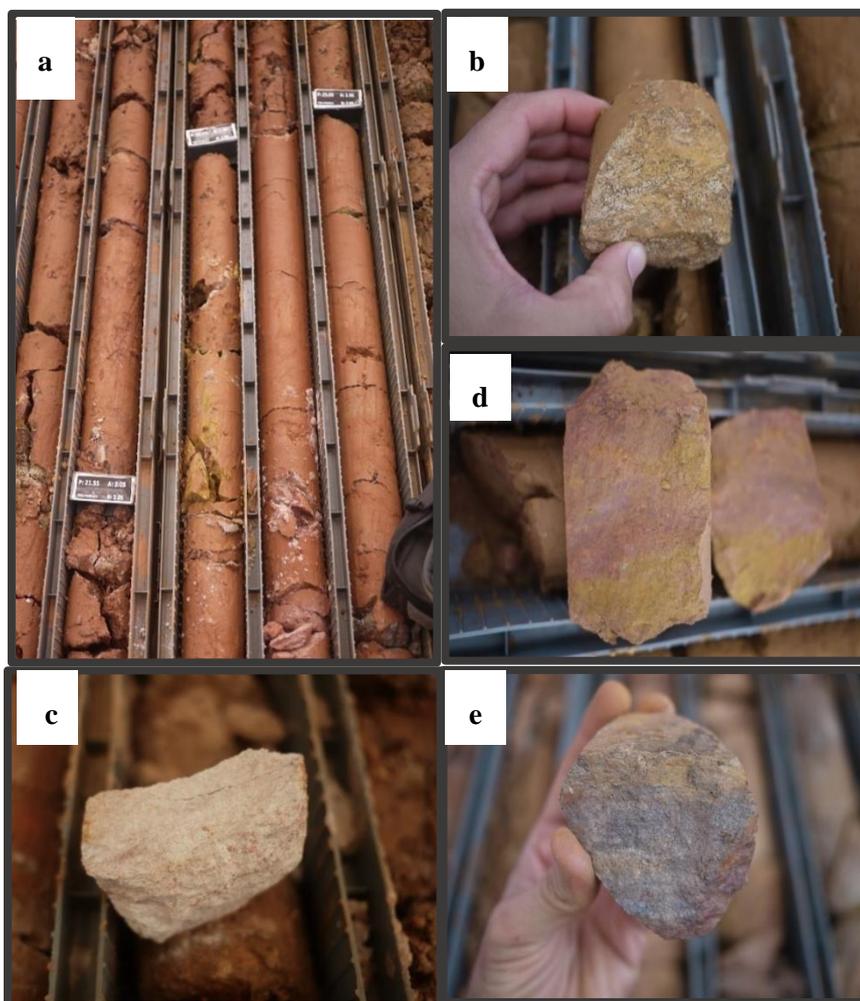


Figura 4.10 Amostras de testemunho de sondagem do furo FNO-FD00423. (a) furo de sondagem FNO-FD00423 na bancada de descrição. (b) filito de coloração amarelada, com intercalações de caulim. (c) quartzitos maduros (d) quartzito ferruginoso de coloração avermelhada, indicando a presença de ferro. (e) quartzito ferruginoso, com % maior de Fe.

4.2.4 UNIDADES INTRUSIVAS

As unidades intrusivas metamáfica (Figura 4.11) foram predominantemente observadas na área da cava leste, em especial no furo FNO-FD00468. Em escala de afloramento, foram descritas rochas de coloração amarronzada/ocre, de granulação fina, encaixadas de forma quase subvertical em relação à superfície da mina. É possível que a composição mineralógica seja provinda da alteração de clorita e biotita primárias.



Figura 4.11 - Rocha intrusiva aflorante na cava leste de Fábrica Nova.

4.2.4.1 UNIDADES METAMÁFICAS E METAULTRAMÁFICAS

Em maior profundidade e a leste de Fábrica Nova, o furo FNO-FD00468 apresentou uma sequência de rochas metamorfizadas (Figura 4.12a) e deformadas (Figura 4.12 b,c). Trata-se de uma sequência que engloba clorita-talco xistos – clorita-mica – quartzo- xistos (Figura 4.12a), anfibolitos, e zonas ricas em veios de quartzo (Figura 4.13 a,b), com intervalos que apresentam pirita de forma disseminada e magnetita idiomórfica. Este intervalo possui microdobras e veios de quartzo centimétricos (Figura 4.13c, d) além de minerais rotacionados, possivelmente quartzo. Esta feição pode ser um forte indicador de zona de cisalhamento.

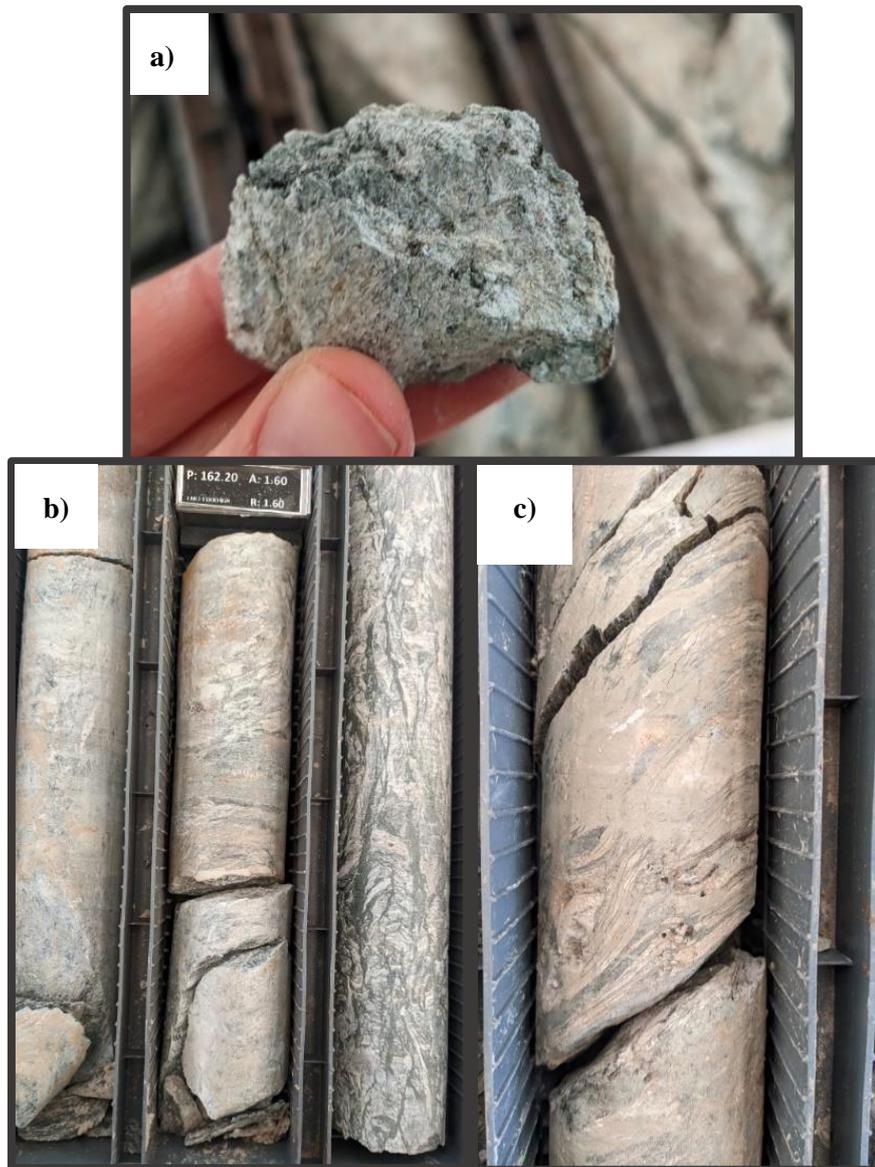


Figura 4.12 - Fotos de amostras de testemunhos do furo FNO-FD00468. Em (a), (b) e (c) apresenta rochas xistosas, contendo como mineralogia predominante clorita, sericita, e quartzo, podendo conter também talco.

De forma geral, os clorita-talco-xistos contém granulação fina, planos foliados e coloração esbranquiçada a esverdeada. A mineralogia é composta por clorita, sericita, quartzo e talco. Também foram observadas magnetitas idiomórficas em alguns intervalos. Os anfíbolitos apresentam composição bastante homogênea, com minerais placóides e fibrosos.



Figura 4.13 - Fotos de amostras de testemunhos do furo FNO-FD00468. Em (a) observa-se talco-clorita-xisto com microdobras, observadas principalmente pelas bandas mais claras. Em (b) imagem das caixas de testemunho e de intervalo de talco-clorita-qtz-xisto. Em (c) veio de quartzo mais espesso. Em (d) amostra de veio de quartzo com microdobras.

4.2.5 COBERTURA

As unidades descritas como cobertura possuem caracterização saprolítica, hora assemelhando a horizontes de solo de coloração amarelada/avermelhada, hora apresentando fragmentos de rochas adjacentes, tais como filitos, quartzitos e xistos (Figura 4.14). É possível que se trate de um horizonte bastante alterado, principalmente pela percolação/ infiltração de água. Apresentam predominantemente argilominerais e grãos de quartzo de granulação fina a média.

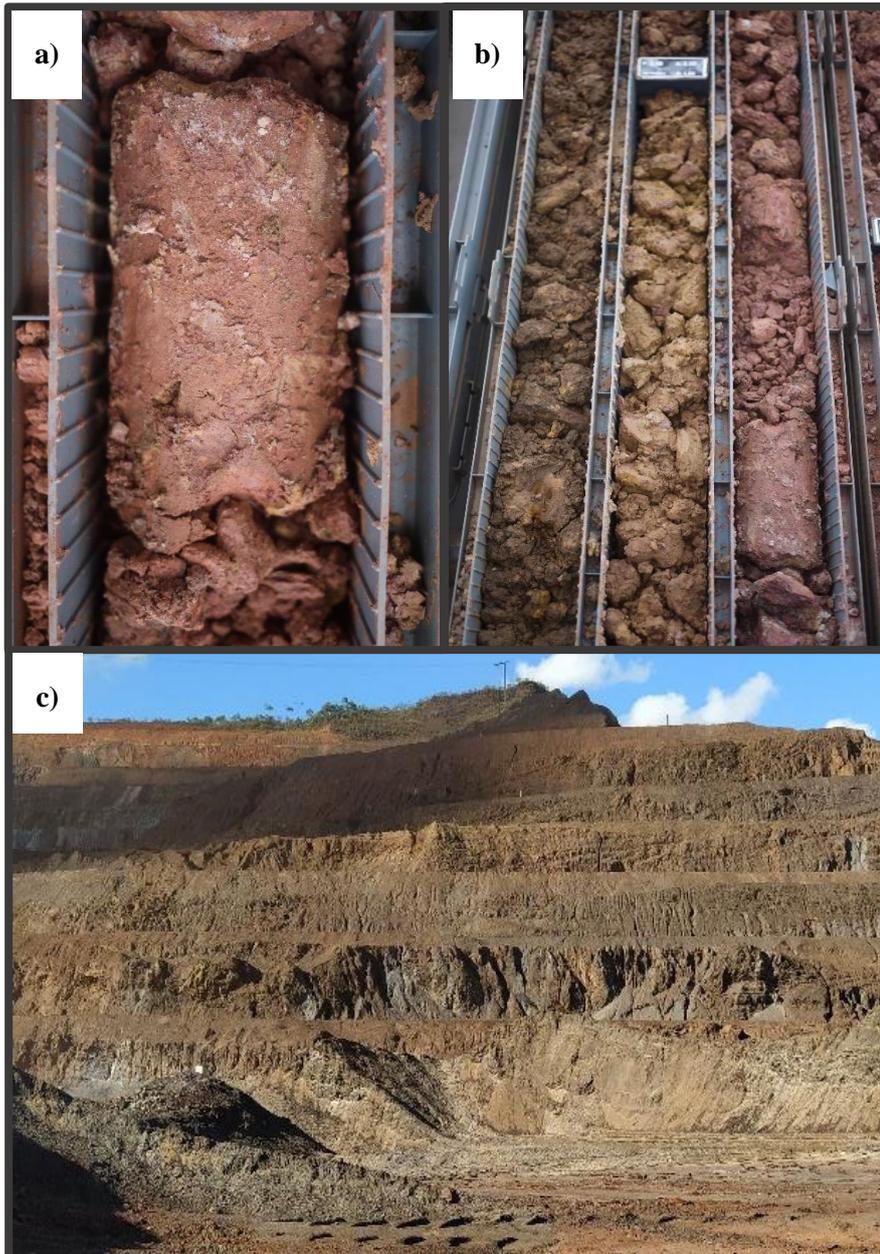


Figura 4.14 – (a) Intervalo de testemunho de sondagem referente a unidade de cobertura de coloração avermelhada e de composição argilosa/quartzíticas. (c) Imagens de frente de lavra da unidade de cobertura, com bancos de aproximadamente 10 metros.

4.2.6 GEOLOGIA ESTRUTURAL

A mina de Fábrica Nova, alocada no interior do Sinclinal Santa Rita faz parte de uma estrutura sinformal de direção NW-SE, com megadobras apresentando mergulho para E-SE (Rossi 2014). São registradas dobras centimétricas a decamétricas (Figura 4.6b) nos corpos de itabiritos, com fraturas conjugadas preenchidas por veios de quartzo e hematititos.

A complexidade observada na mina é explicada não somente pela variação litológica, mas pelo número elevado de estruturas, que obliteram e seccionam as rochas do Supergrupo Minas, principalmente.

Foram identificadas dobras e diversas famílias de fraturas (Figura 4.16) ao longo da cava norte e leste. Essas estruturas podem estar associadas à eventos rúpteis-dúcteis e possivelmente à fase de deformação F_3 (Rossi 2014; Tabela 3.2) onde são registradas dobras de grande escala na área oeste da cava da mina (Figura 4.6).

As estruturas mapeadas (Tabela 4.1) referente ao acamamento S_0 , às xistosidades (S_n), aos eixos de dobras E_B e às direções dos veios são apresentadas pelos estereogramas (Figura 4.15). O acamamento S_0 foi observado na face do bandamento das formações ferríferas bandadas da cava norte, é marcado pela intercalação dos minerais de hematita/magnetita e quartzo, e possui preferência de mergulho para leste.

A xistosidade S_n apresenta medidas preferenciais para E-SE (131/44) embora apresente dados também para E-NE (75/44). Em alguns locais, a xistosidade é penetrativa, associada à fase de deformação F_2 (Rossi 2014). As medidas dos eixos das dobras E_B apresentam direções preferenciais para SE, embora também apresentem registros N-S na região norte da cava. Em relação a direção dos veios, dados de direção NW-SE são encontrados com medidas médias em torno de 280/60.

Também é possível observar crenulações mais discretas, principalmente em rochas da Formação Cercadinho. A crenulação ocorre em porções mais ricas em filossilicatos e são marcadas por grãos muito finos de sericita e muscovita.

Tabela 4.1 - Médias referente as estruturas mapeadas em Fábrica Nova.

Estrutura	Média das medidas	Número de medidas
S_0	150/41	23
S_n	131/44	229
E_b	165/40	15
Veios	280/60	10

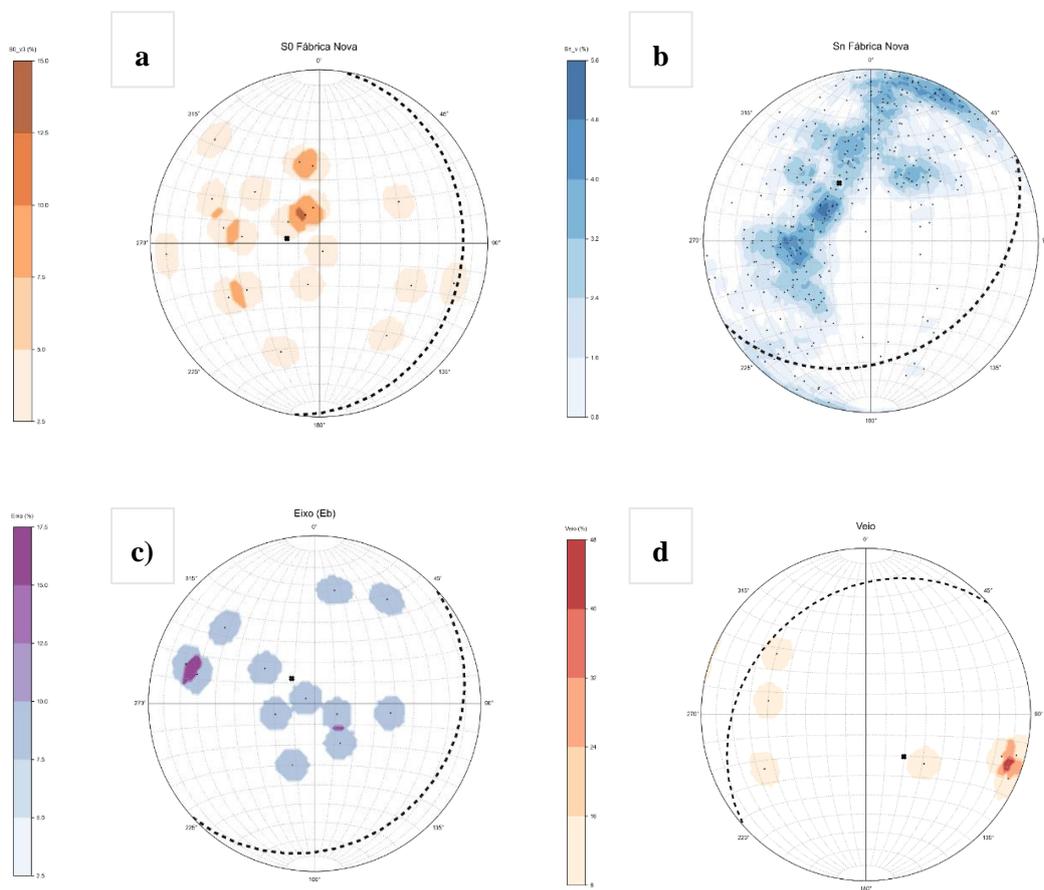


Figura 4.15 -Medidas estruturais da mina de FNO (a) - So acamamento. (b) - Sn - Bandamento. (c) Eixos de dobras. (d) Veios de quartzo.

Na cava leste, foram observadas variadas descontinuidades/fraturas subverticais, com mergulhos de 80° (Figura 4.16). Essas descontinuidades estão presentes principalmente na parte mais ao norte da cava leste, com duas direções principais, ortogonais entre si. Estes dados estão em concordância com o trabalho apresentado por Rossi (2014). O autor menciona que são fraturas classificadas como *Riedel* e *anti-Riedel* se considerar o mecanismo de falha transcorrente advinda do embasamento.

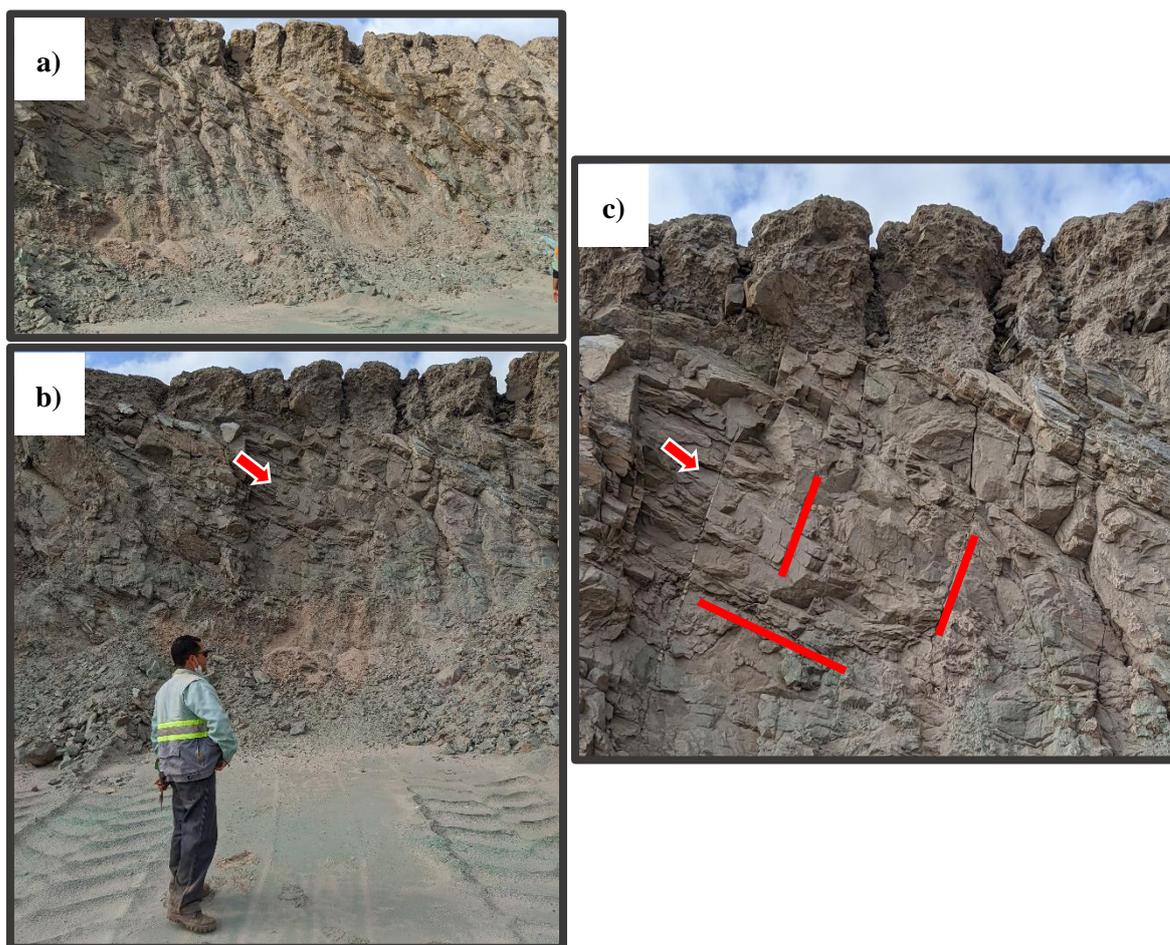


Figura 4.16 - Descontinuidades presentes na cava leste da mina, ortogonais entre si, e preenchidas com veios de quartzo.

4.3 CORPOS DE MINÉRIO DE FERRO

Os corpos de minério de Fábrica Nova são todos àqueles com porcentagens acima de 20% de ferro, e podem ser individualizadas em corpos de canga supergênica, corpos rolados e itabiritos. Os corpos de canga estão expressivamente concentrados na cava sul da mina, e os corpos rolados estão distribuídos em maior proporção ao centro. Estes diferentes tipos de depósitos são de suma importância no entendimento quanto à metagênese do ferro na área.

4.3.1 CORPOS DE CANGA

Os corpos de canga (Figura 4.17) possuem formatos predominantemente horizontalizados e ocorrem sobre os itabiritos da Formação Cauê. A coloração é avermelhada, e podem conter como composição mineralógica hidróxidos e óxidos de ferro, limonita e goethita. Estes corpos são caracterizados principalmente por conter uma mínima quantidade de quartzo e argilominerais, pois geralmente ocorre a lixiviação de sílica através de processos supergênicos.



Figura 4.17 - Corpos de canga ao sul da mina de FNO. Fonte: Vale.

4.3.2 CORPOS ROLADOS

Os corpos rolados (Figura 4.18), apresentam fragmentos de diferentes litotipos, tais como itabiritos e corpos de canga, além de minerais de quartzo e argilas. São visivelmente retrabalhados por diferentes processos erosivos, perceptível pela disposição irregular dos fragmentos litológicos, semelhante a um depósito de tálus.

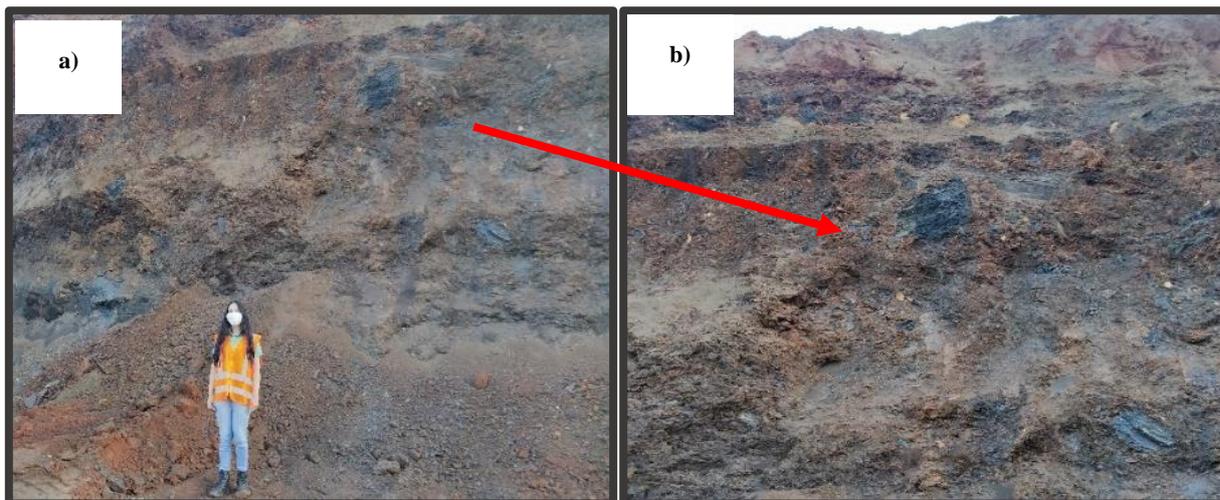


Figura 4.18 - Corpos rolados presentes ao longo da mina. Em (b) imagem aproximada do depósito, onde é possível observar os corpos dispostos de forma irregular ao longo de uma frente de lavra.

4.3.3 VEIOS DE QUARTZO E HEMATITA

Na cava norte há uma presença maior de veios preenchendo fraturas (Figura 4.19), estas fraturas ocorrem de forma subvertical e muitas vezes cortam o bandamento de forma ortogonal. Apresentam composição rica em quartzo leitoso e hematítico e ocorrem mais frequentemente na Formação Cauê.

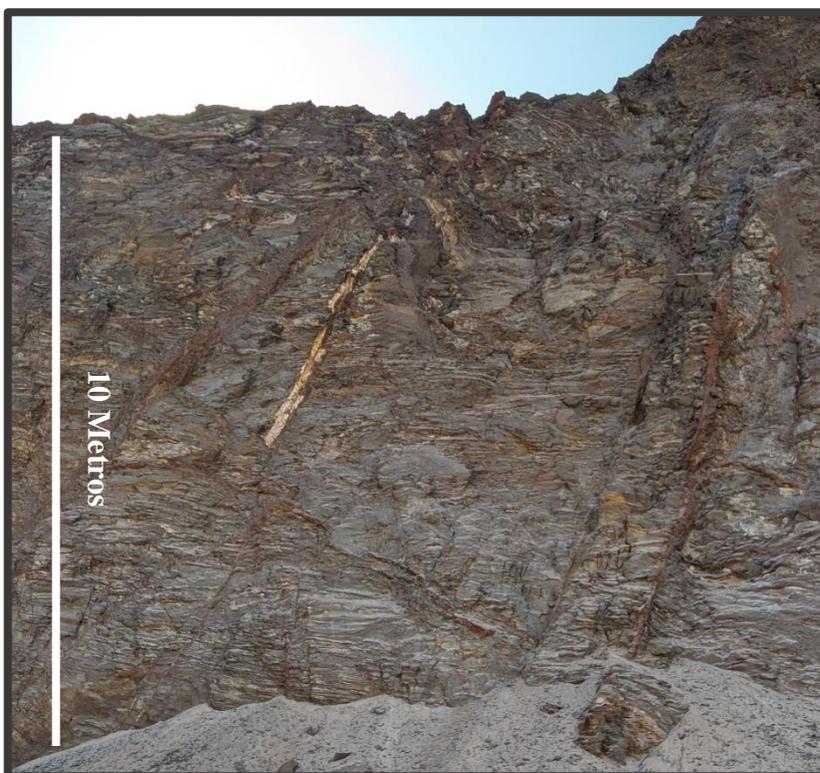


Figura 4.19 – Fraturas na cava norte preenchidas por veios de quartzo e de hematita em uma frente de lavra na cava norte.

4.3.4 CORPOS DE HEMATITA COMPACTA

Fragmentos de hematita compacta (Figura 4.20) também foram observados de forma predominante na cava leste da mina. Apresentam hematita e especularita como composição mineralógica, ocorrendo associados à veios de quartzo.



Figura 4.20 - Fragmentos de hematita compacta da cava leste de Fábrica Nova.

Os demais corpos de minério dos quais incluem os itabiritos da Formação Cauê, são apresentados no capítulo de modelagem geológica.

4.3.5 DISTRIBUIÇÃO DE CORPOS DE MINÉRIO NA MODELAGEM GEOLÓGICA 3D

A modelagem geológica representa uma ferramenta capaz de gerar corpos em 3D a partir de um espaço amostral, obtendo como suporte seções, amostras de sondagem, amostras de trincheira e é utilizada principalmente na estimativa de recursos e reservas (Ferreira 2006).

Neste estudo, a representação da mina de Fábrica Nova em 3D (Figura 4.21) teve o intuito em demonstrar a conformação dos litotipos a partir dos dados de frente de lavra e de sondagem, visando entender a distribuição dos corpos de minério, sua característica e seu teor médio. No modelo, realizou-se primeiramente a junção de todos os tipos de itabiritos presentes no banco de dados da Vale, modelando uma superfície somente, a Formação Cauê. Posteriormente, foram refinados os tipos de minério mais predominantes, ou pelo menos àqueles com maior expressividade entre os furos dos anos de (2019 a 2022). Idealmente, o modelo é estimado para que os teores sejam reportados, mas este trabalho visa somente apresentar a superfície dos corpos de minério em profundidade. Para isso foram utilizados diferentes tipos de furos, aos quais incluíram FD (Furos diamantados profundos), FR (Furos rasos), FJ (Furos de Geotecnia de Projeto) e FG (Furos geotécnicos).

Na modelagem, busca-se melhores meios para obedecer a estratigrafia vigente. Dessa forma, foram criadas superfícies litológicas no *software Leapfrog Geo (Seequent)* pelo método *intrusion > from base litology* para as Formações Cauê, Cercadinho, Gandarela e para as rochas intrusivas. Para a cobertura, foram adotados os métodos de *new deposit > from base litology*. No parâmetro *Surface Chronology* foram modeladas as formações na seguinte sequência: *Cobertura > Intrusivas > Formação Cauê > Formação Gandarela > Formação cercadinho*, devido à inversão da estratigrafia presente na área do Sinclinal Santa Rita (Dorr 1969).

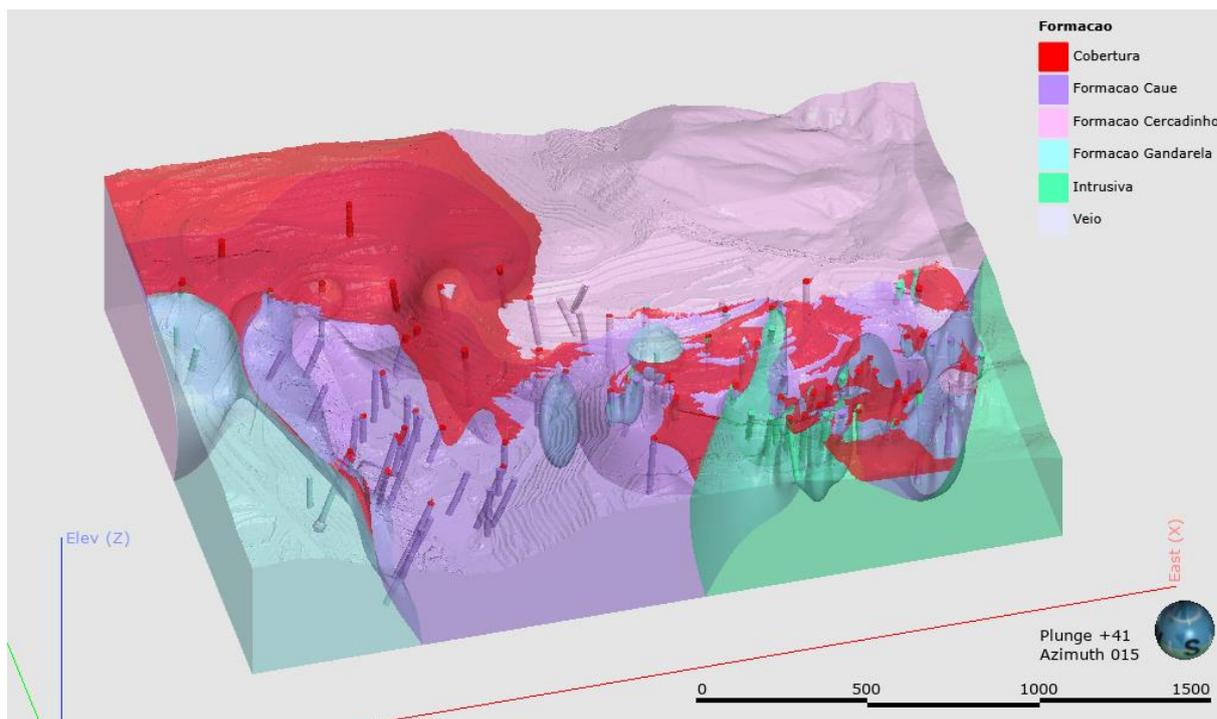


Figura 4.21 - Modelagem geológica simplificada da mina de Fábrica Nova apresentando as Formações presentes ao longo da área estudada, tais como a Cobertura, em vermelho, a Formação Cauê em lilás e ao centro da área, a Formação Gandarela mais a oeste, a Formação Cercadinho na parte mais ao norte e nordeste e as rochas metamáfica e intrusivas da cava leste.

O modelo (Figura 4.21; Figura 4.22) representou de forma bastante satisfatória a conformação dos principais litotipos pois demonstrou também uma superfície semelhante ao mapa geológico. Os corpos de minério, ou àqueles com porcentagens acima de 20% de ferro (Figura 4.23) concentram-se na parte central da mina e em menor proporção na cava leste. A cobertura, exposta pela cor vermelha, representa as rochas saprolíticas, de coloração amarronzada/alaranjada e bastante alterada, como mencionado no capítulo anterior.

A superfície modelada de coloração verde, descreve rochas metamáfica/metaultramáficas da cava leste, representando tanto as rochas intrusivas de superfície como os clorita-talco xistos descritos em profundidade.

Também foi possível individualizar os diferentes itabiritos da Formação Cauê (Figura 4.23 e 4.24) principalmente itabiritos compactos (Figura 4.24a), itabiritos friáveis (Figura 4.24b), itabiritos goethíticos (Figura 4.24c) e itabiritos friáveis ricos.

Os furos FNO-FD00423 (cava norte) e FNO-FD00468 (cava leste) apresentaram corpos de minério em intervalos mais profundos. Observa-se um maior predomínio de itabiritos goethíticos e itabiritos compactos no furo FNO-FD00423 e itabiritos friáveis silicosos no furo FNO-FD00468 (Figura 4.24b).

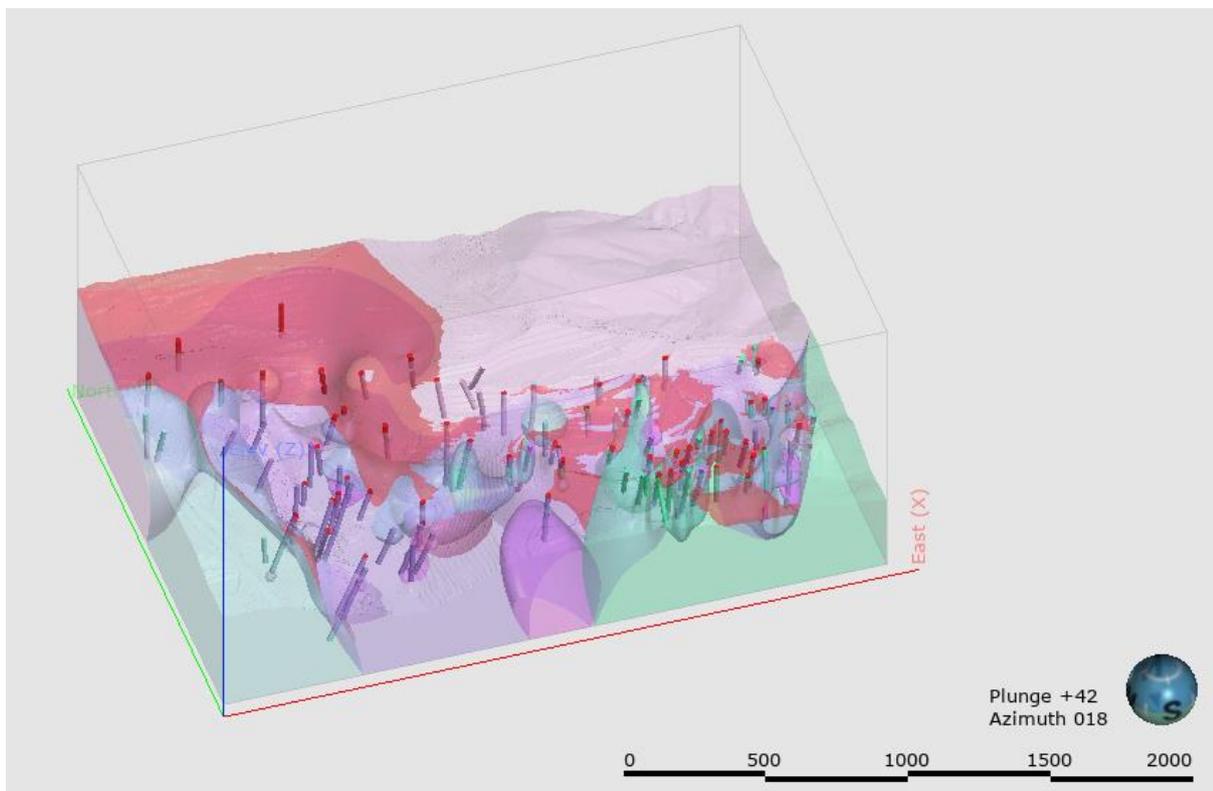


Figura 4.22 - Modelagem 3D e os furos de sondagem utilizados. Formação Ferrífera bandada com litotipos refinados.

De forma geral, os itabiritos friáveis apresentam uma média de 36% de Fe, ao passo que os itabiritos compactos apresentam uma média de 37% de Fe. Já os itabiritos goethíticos apresentam 40% do elemento e os IFR (itabiritos friáveis ricos) apresentam uma média de 54% de Ferro.

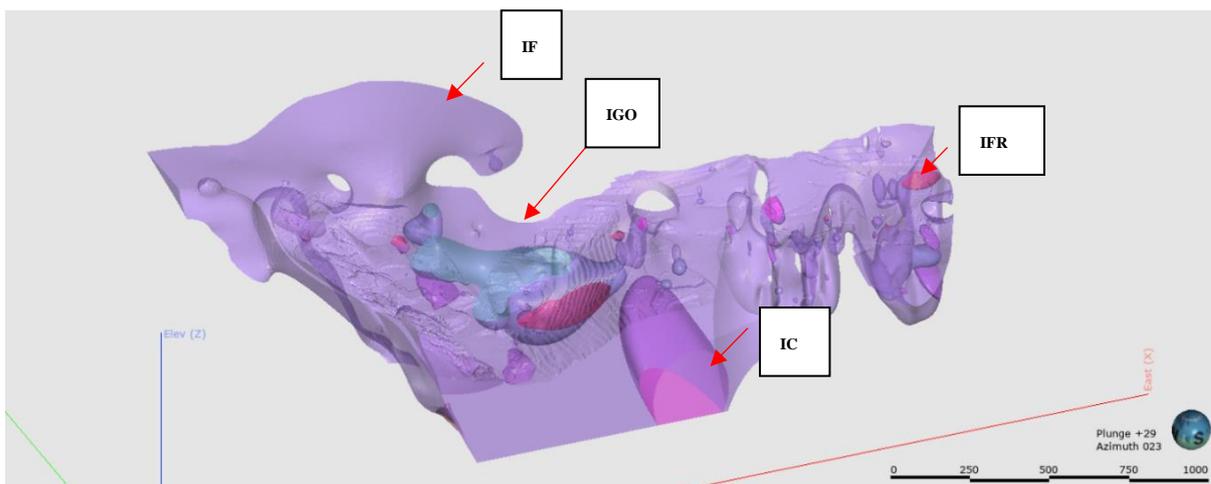


Figura 4.23 - Modelagem dos diferentes tipos de corpos de minério de ferro correspondentes às formações ferríferas bandadas. IF - Itabirito Friável. IFR - Itabirito Friável Rico. IGO - Itabirito Goethítico. IC- Itabirito Compacto.

Os corpos de minério descritos como IF, são de natureza friável, apresentam bandamento marcado pela presença de quartzo e hematita, são mais silicosos e menos ricos em Fe. Os itabiritos goethíticos, apresentam coloração amarelada/ocre, com pouco bandamento visível, e com aspecto mais alterado. Já os itabiritos compactos apresentam uma homogeneidade maior, bandas avermelhada/acinzentadas, marcando a presença de hematita/magnetita e quartzo. Já os itabiritos friáveis ricos possuem maior porcentagem de ferro, embora o aspecto textural sejam semelhantes ao IF.

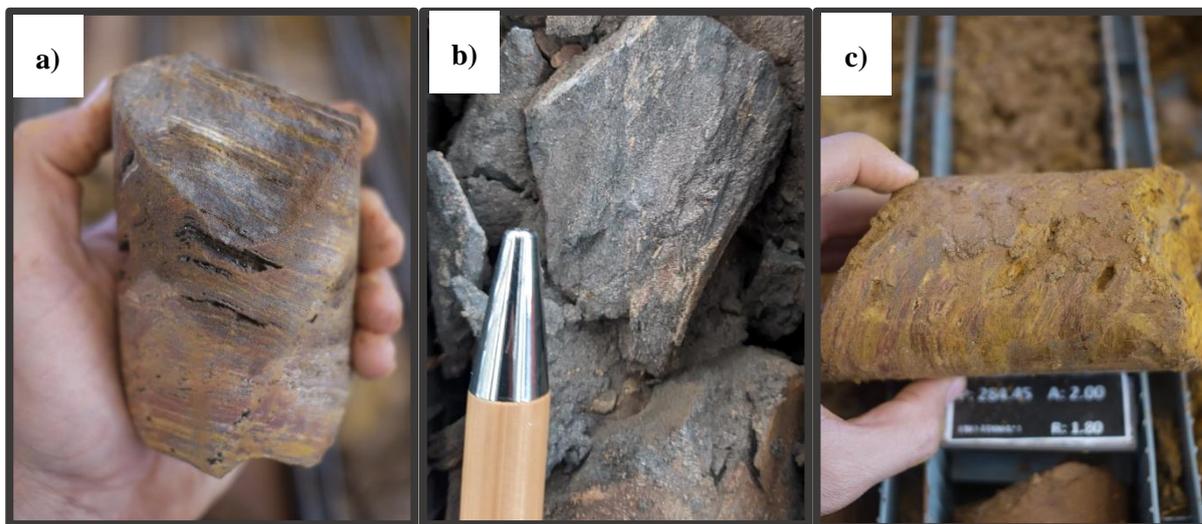


Figura 4.24 - Amostras de testemunhos dos corpos de minério. (a) Itabirito compacto com bandamento marcante. (b) Itabirito friável silicoso. (c) Itabirito goethítico e possivelmente aluminoso.

Os itabiritos goethíticos concentram maior proporção na cava central de Fábrica Nova, ao passo que os itabiritos compactos ocorrem em profundidade. Já itabiritos friáveis ricos são observados na cava leste e também em regiões restritas da cava norte, e os itabiritos friáveis ocorrem por toda extensão da mina. Itabiritos manganésíferos foram classificados como pertencentes à Formação Gandarela, a superfície de coloração verde água representada no modelo geológico. Itabiritos aluminosos foram menos expressivos, ficando com margens muito pequenas dentro do modelo geológico, e, portanto, não foram representados no modelo geológico e nos desenhos esquemáticos dos furos.

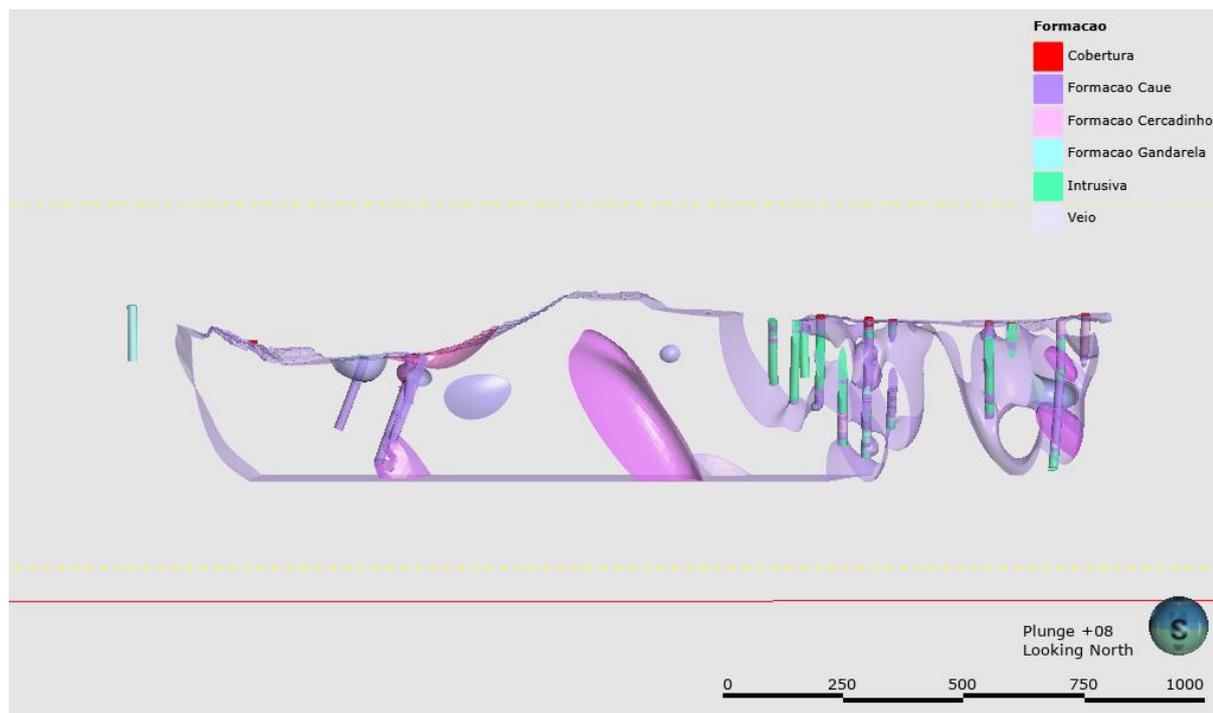


Figura 4.25 - Imagem em seção da cava leste e sua relação com os furos de sondagem.

No modelo também foi adicionado uma *trend estrutural* (Figura 4.25) no sentido E-SE com base nos dados médios de acamamento das formações. Este dado é de suma importância na definição de mergulho e de orientações da camada.

4.3.6 ASSINATURA GEOQUÍMICA DOS LITOTIPOS DE FÁBRICA NOVA

A partir da análise química em laboratório das amostras dos furos FNO-FD00423 (Tabela 4.2; Tabela 4.3) e FNO-FD00468 (Tabela 4.4 e 4.5) foi possível avaliar o comportamento geoquímico e variáveis estatísticas dos litotipos descritos, expressa em elementos maiores. No furo FNO-FD00423, a química de 6 litotipos principais foram apresentadas (Figura 4.26 e Figura 4.27), sendo eles: filito, itabirito aluminoso, itabirito goethítico, itabirito manganésífero, quartzito e rocha metamáfica. A metodologia baseou-se na utilização do gráfico do tipo *Boxplot*. Adicionalmente, correlações químicas também foram plotadas, onde o FeO representou o eixo y, e os demais elementos o eixo x.

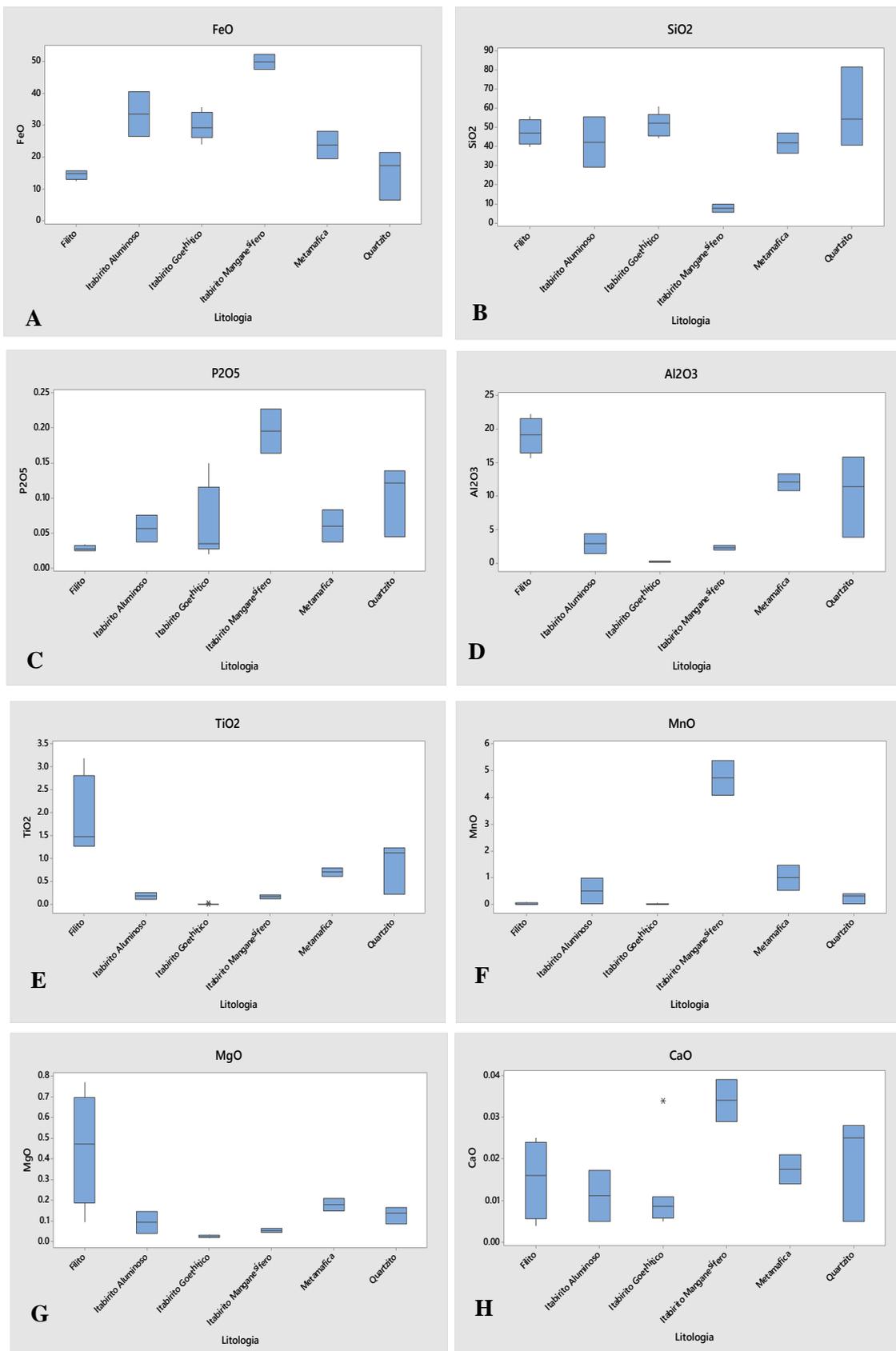


Figura 4.26 - Gráficos de *Boxplot* dos elementos maiores do furo FNO-FD00423. (a) FeO, (b) SiO₂, (c) P₂O₅, (d) Al₂O₃ (e) MnO, (f) TiO₂, (g) MgO, (h) CaO.

O intuito em avaliar os dados dos elementos maiores, consiste em visualizar o comportamento químico de determinados litotipos. A depender das porcentagens e a depender do elemento, pode-se inferir que alguns minerais podem ser predominantes, pode ocorrer também interpretações sobre processos deposicionais, bem como sobre possíveis alterações químicas da rocha.

É perceptível que no intervalo do furo localizado na cava norte da mina, as rochas apresentam variabilidades químicas condizentes com sua respectiva caracterização mineralógica. O ferro apresenta alta variabilidade e compõe porcentagens significantes em todos os intervalos, em especial nos três tipos de itabiritos (aluminoso, goethítico e manganésífero) onde as porcentagens variam de 26% a 52%. Nos demais litotipos, o FeO apresenta concentrações menores que 30%. É interessante notar que as rochas metamáficas e quartzíticas apresentam também expressivas quantidades do elemento. A Sílica (SiO_2) possui porcentagens significantes em todos litotipos amostrados, apresentando menor proporção no intervalo de itabirito manganésífero, algo um pouco incomum para corpos de itabirito, portanto, este corpo pode atestar um intervalo de hematita manganésífera rica. O fósforo (P_2O_5) apresentou baixas porcentagens em todos litotipos, com maiores picos no itabirito manganésífero (0.15% a 0.23%). Já o alumínio (Al_2O_3), apresentou porcentagens altas nas rochas filíticas (15 e 22%), nas metamáficas (12%), e nos itabiritos as porcentagens são menores que 5% em todos intervalos e nos quartzitos a porcentagem varia de (5 a 14%). É possível que filossilicatos e/ou argilominerais estejam presentes em maiores proporções no filito, e também de forma mais restrita nos quartzitos. O elemento titânio possui maiores porcentagens em rochas filíticas (com um máximo de 2.6%) e em menor proporção nos demais litotipos. O MnO possui maiores porcentagens no itabirito manganésífero, chegando a 5%. MgO e CaO apresentam porcentagens menores que 1% em todos litotipos descritos, com destaque para os filitos com as maiores porcentagens de MgO (0.69%) e os itabiritos manganésíferos com porcentagens de CaO em torno de (0.04%).

Adicionalmente, gráficos de correlação foram confeccionados com o intuito de apresentar a relação entre o elemento Fe e os demais elementos maiores. Dessa forma, o FeO está plotado no eixo y, e os demais elementos no eixo x.

Como observa-se (Figura 4.27), algumas correlações apresentaram uma tendência positiva, a exemplo dos gráficos de FeO vs CaO, FeO vs MnO e Fe vs P_2O_5 . Estes dados podem ser importantes quando se avalia os diferentes tipos de itabiritos, que podem estar relacionados ao aumento de Fe, ou algum outro elemento. Algumas correlações, que embora apresentem-se negativas, podem apresentar altas porcentagens em determinados corpos de itabiritos, a exemplo do Al_2O_3

Nos demais gráficos, observa-se a curva declinada negativamente, apesar dos dados estarem mais espaçados e com uma distribuição menos linear.

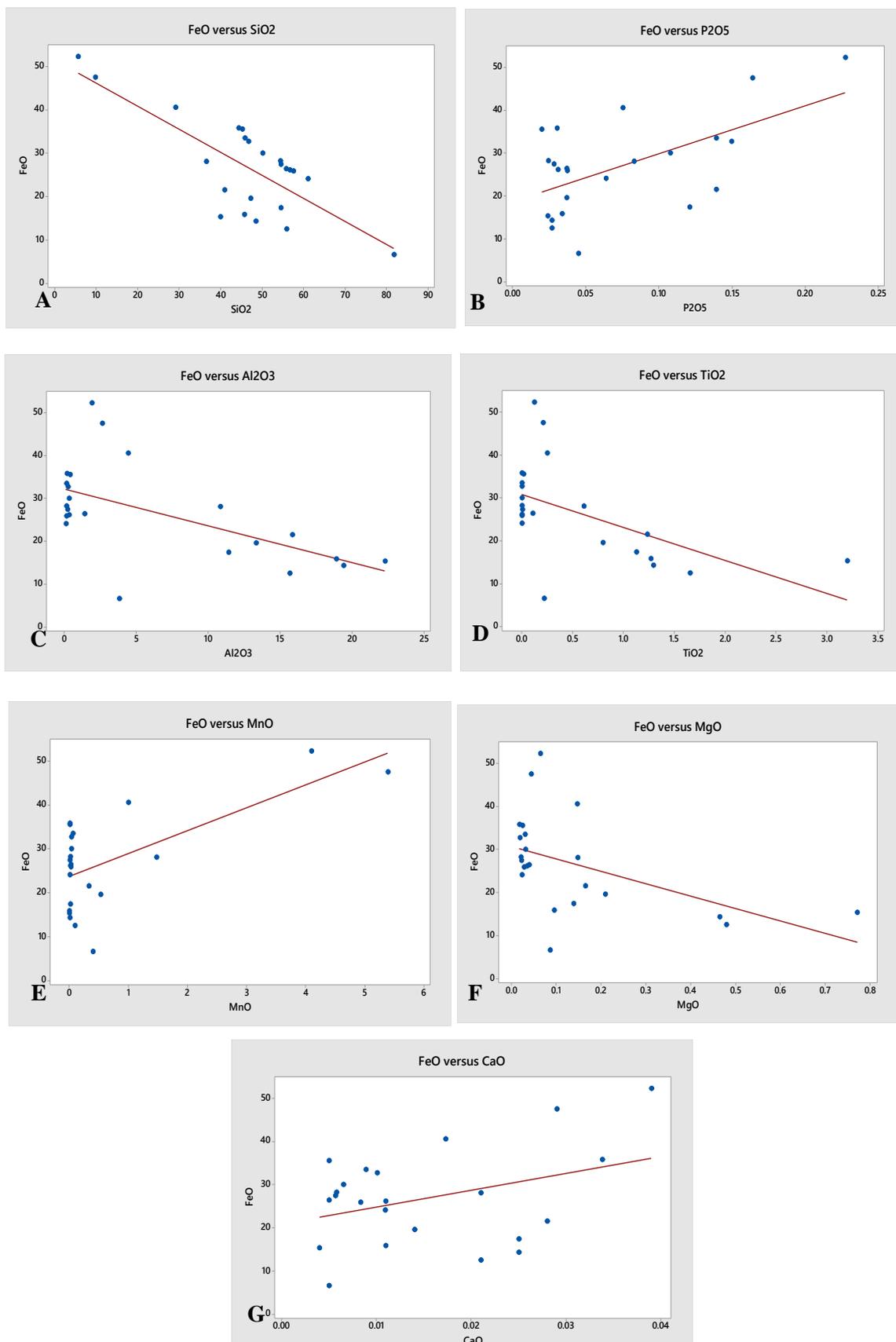


Figura 4.27 - Gráfico de correlação de pearson. (a) Fe vs SiO₂, (b) Fe vs P₂O₅, (c) Fe vs Al₂O₃, (d) Fe vs TiO₂, (e) Fe vs MnO, (f) Fe vs MgO, (g) Fe vs CaO.

Também foram plotados gráficos *Boxplot* e de correlação de *pearson* para o furo FNO-FD00468 (Figura 4.28 e 4.29).

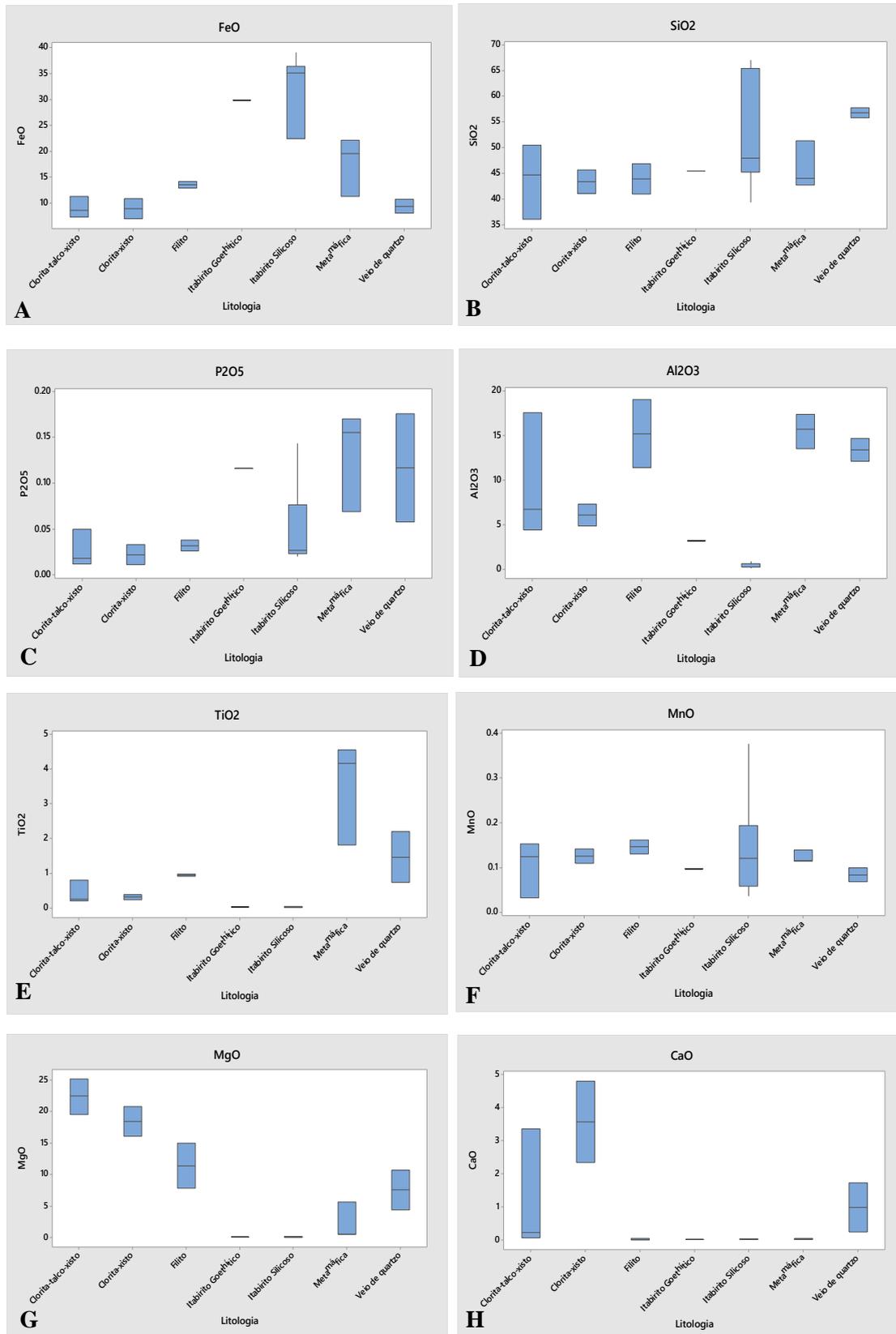


Figura 4.28 - Gráficos de Boxplot dos elementos maiores do furo FNO-FD00468. (a) FeO, (b) SiO₂, (c) P₂O₅, (d) Al₂O₃ (e) MnO, (f) TiO₂, (g) MgO, (h) CaO.

O intuito é entender a relação dos elementos maiores com os litotipos da cava leste, principalmente das rochas metamáficas, além de averiguar as porcentagens de Fe em todos intervalos.

Os gráficos plotados a partir de dados do furo da cava leste (Figura 4.28) atestam um comportamento um pouco diferente dos dados da cava norte. Isso porque, os litotipos analisados englobam rochas metamáficas e ultramáficas, sem os corpos de quartzitos observados de forma tão proeminente na cava norte. Dessa forma, é possível observar os dados para as rochas descritas como Clorita-talco-xisto, clorita-xisto, filito, itabirito goethítico, itabirito silicoso, metamáfica e em intervalos de veio de quartzo.

O elemento FeO apresenta porcentagens maiores no itabirito silicoso (23 a 38%) e nas rochas metamáficas (12 a 20%). Nos demais intervalos, o elemento possui porcentagens menores que 15%.

Em relação à SiO₂, contém maior proporção nos itabiritos silicosos (45% a 63%) e nos clorita-talco-xistos (34% a 50%). É importante mencionar que, tal averiguação de proporção de sílica, pode inferir que esse litotipo contenha mais silicatos e, portanto, não são rochas metaultramáficas.

De forma geral, todos intervalos apresentam altas concentrações de SiO₂. Em relação ao fósforo (P₂O₅), o intervalo descrito como veio de quartzo apresentou maiores porcentagens do elemento (0.05 a 0.18%), e na rocha metamáfica. Os demais intervalos apresentam concentração menor que 0.10%. Já para o elemento Al₂O₃, as porcentagens apresentaram-se altas, principalmente nos clorita-talco xistos (4 a 17%) e nos filitos (12 a 18%). Também ocorre em maior proporção nas rochas metamáficas e nos clorita-xistos, possivelmente nas duas rochas máficas da cava leste, há porcentagens significativas de serícita. Para o elemento TiO₂, foram observadas maiores concentrações nas rochas metamáfica (2 a 4.5%). O elemento MnO apresentou dados abaixo de 0.4% em todos os intervalos amostrados.

Já os elementos MgO e CaO apresentaram porcentagens altas nos litotipos (clorita-talco-xistos e clorita-xistos), nos clorita-talco-xistos, a porcentagem de MgO variou de (20 a 25%), nos clorita-xistos de (15% a 20%), adicionalmente, há porcentagens também nos filitos (6 a 10%), nas rochas metamáficas e no intervalo de veio de quartzo (4 a 10%). Para CaO, as maiores concentrações foram observadas nas nos clorita-talco-xisto (0.2 a 3.5%) e no clorita-xisto (2 a 4.5%) e nos veios de quartzo (0.1 a 1.5%). É importante mencionar que os veios de quartzo apresentavam inclusões de corpos semelhantes aos clorita xistos, por isso, sua proporção química possui assinaturas dos elementos CaO e MgO.

Adicionalmente, os gráficos de correlação de pearson para os litotipos do furo FNO-FD00468 (Figura 4.29) apresentam dados mais espaçados e distribuídos de forma mais aleatória. Os gráficos FeO vs MnO, e FeO vs P₂O₅ foram os únicos a apresentarem correlações positivas, embora também apresentem dados distantes entre si. O gráfico de FeO vs MgO por exemplo, apresenta uma correlação mais negativa, assim como FeO vs CaO. Os demais gráficos não possuem correlações visíveis, inferindo que se trata de duas variáveis que não se relacionam no espaço amostral deste furo de sondagem.

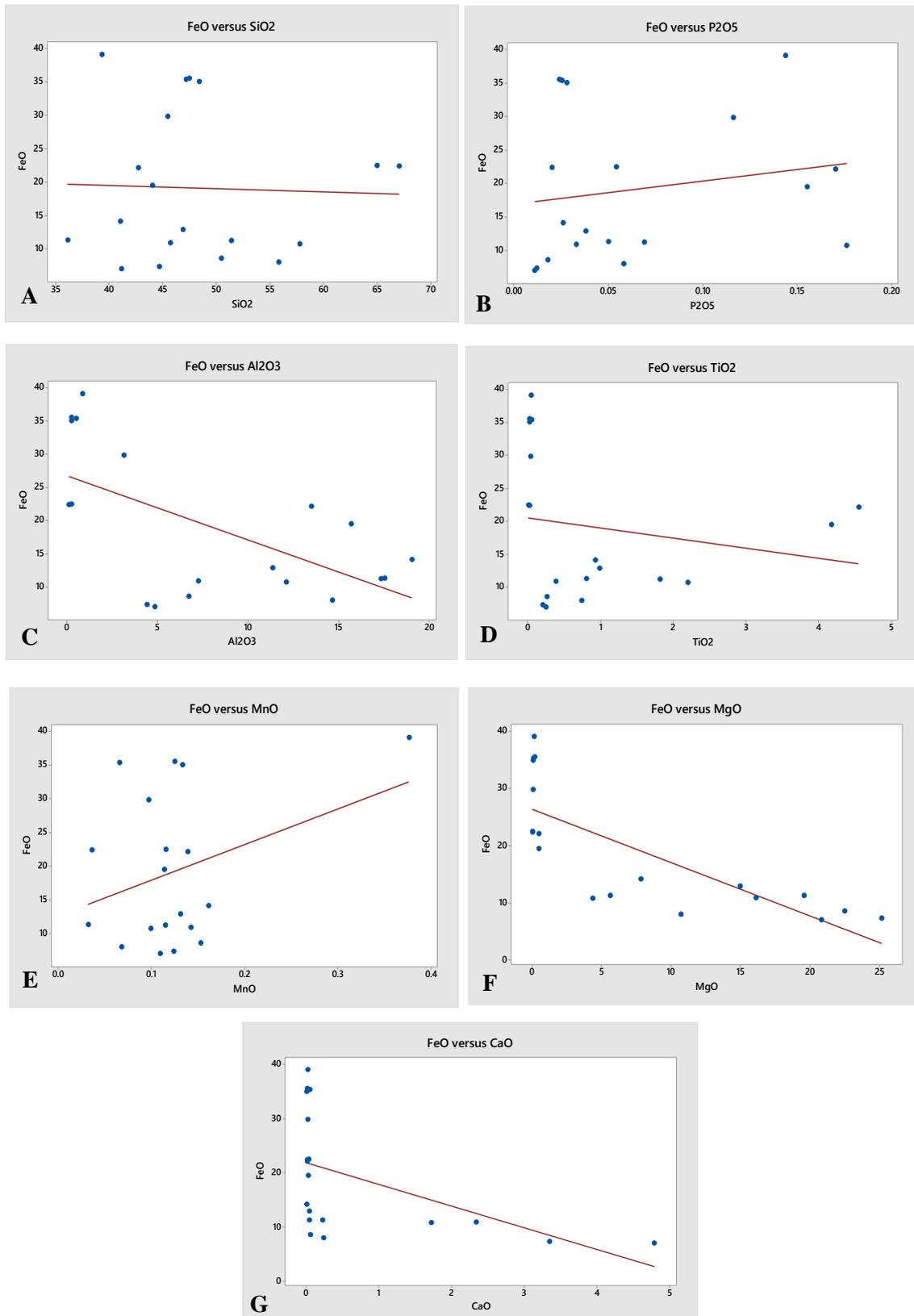


Figura 4.29 - Gráfico de correlação de pearson. (a) Fe vs SiO₂, (b) Fe vs P₂O₅, (c) Fe vs Al₂O₃, (d) Fe vs TiO₂, (e) Fe vs MnO, (f) Fe vs MgO, (g) Fe vs CaO.

Tabela 4.2 - Dados dos elementos maiores referente as amostras do furo FNO-FD00423.

FURO	DE	ATÉ	Litologia	FeO	SiO2	P2O5	Al2O3	MnO	PF	TiO2	MgO	CaO
FNO-FD00423	2	8.1	Filito	15.278	39.919	0.024	22.259	0.002	8.021	3.197	0.771	0.004
	8.1	13.1	Filito	14.223	48.51	0.027	19.41	0.009	8.239	1.293	0.464	0.025
	13.1	19.5	Quartzito	21.533	40.878	0.139	15.849	0.326	9.98	1.234	0.165	0.028
	32.7	39.7	Itabirito Aluminoso	40.4686	29.1076	0.0752	4.4237	0.9933	6.199	0.2515	0.1462	0.0173
	39.7	45.1	FLF	12.518	55.84	0.027	15.66	0.097	6.516	1.654	0.479	0.021
	45.1	54.25	Itabirito Manganêsífero	52.1977	5.6379	0.2273	1.9141	4.0915	11.3395	0.1232	0.0645	0.039
	54.25	61.9	Itabirito Manganêsífero	47.524	9.768	0.164	2.633	5.387	11.038	0.213	0.044	0.029
	61.9	68.1	Metamáfica	28.01	36.577	0.083	10.845	1.471	8.703	0.611	0.148	0.021
	68.1	73.4	Metamáfica	19.557	47.2	0.037	13.322	0.531	8.951	0.8	0.209	0.014
	93	96.25	Filito	15.817	45.647	0.034	18.895	0.002	10.435	1.269	0.095	0.011
	96.25	102.4	Quartzito	17.369	54.464	0.121	11.403	0.014	7.216	1.125	0.139	0.025
	102.4	108.7	Quartzito	6.56	81.726	0.045	3.825	0.397	2.672	0.223	0.086	0.005
	202.45	213.45	Itabirito Goethítico	30.0063	50.064	0.1078	0.3308	0.0308	6.0969	0.002	0.0318	0.0065
	213.45	221.7	Itabirito Goethítico	32.7337	46.6931	0.1497	0.2675	0.0327	6.2421	0.0023	0.0196	0.0101
	221.7	230.95	Itabirito Goethítico	33.4172	45.8746	0.139	0.1643	0.0564	6.1539	0.0024	0.0307	0.0089
	230.95	239.5	Itabirito Goethítico	23.9981	60.9474	0.0639	0.1113	0.0063	4.4232	0.0025	0.0238	0.0109
	239.5	249.15	Itabirito Goethítico	26.136	56.6709	0.0309	0.3286	0.0209	5.1375	0.0026	0.0354	0.011
	249.15	259.95	Itabirito Goethítico	28.2263	54.3227	0.0246	0.1417	0.0159	4.7111	0.0021	0.0218	0.0058
	259.95	268.55	Itabirito Goethítico	27.3336	54.4378	0.0281	0.2264	0.0123	5.3938	0.0059	0.0228	0.0057
	268.55	278.45	Itabirito Goethítico	25.8702	57.5547	0.0375	0.1537	0.0258	4.7833	0.0021	0.0286	0.0083
278.45	285.5	Itabirito Aluminoso	26.397	55.74	0.037	1.393	0.027	5.252	0.109	0.04	0.005	
285.5	293.55	Itabirito Goethítico	35.7078	44.3675	0.0304	0.1673	0.0107	3.8336	0.0021	0.0176	0.0338	
293.55	300	Itabirito Goethítico	35.539	45.24	0.02	0.399	0.007	2.606	0.02	0.025	0.005	

Tabela 4.3 - Tabela estatística dos elementos maiores das amostras do furo FNO-FD00423, com os parâmetros de Variável, Média, Desvio Padrão, Mínimo, Máximo, Mediana, Q1 (Primeiro quartil), Q3 (Terceiro Quartil).

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Mediana	Q1	Q3
FeO	26.8	11.1	6.56	52.2	26.4	17.37	33.42
SiO₂	46.4	15.89	5.64	81.73	47.2	40.88	55.74
P₂O₅	0.07	0.05	0.02	0.22	0.03	0.02	0.12
Al₂O₃	6.27	7.64	0.11	22.26	1.91	0.23	13.32
MnO	0.59	1.37	0.02	5.38	0.02	0.01	0.397
TiO₂	0.52	0.79	0.02	3.19	0.12	0.002	1.125
MgO	0.13	0.18	0.005	0.77	0.04	0.02	0.14
CaO	0.01	0.01	0.004	0.03	0.01	0.005	0.02

Tabela 4.4 - Dados dos elementos maiores referente as amostras do furo FNO-FD00468.

FURO	DE	ATÉ	Litologia	FeO	SiO2	P2O5	Al2O3	MnO	PF	TiO2	MgO	CaO
FNO-FD00468	0	7	Filito	14.128	41.019	0.026	19.009	0.161	10.367	0.923	7.802	0.003
	7	14.15	Filito	12.862	46.879	0.038	11.348	0.131	8.279	0.987	14.955	0.041
	14.15	19.65	Metamáfica	22.094	42.702	0.17	13.466	0.139	7.351	4.546	0.485	0.017
	19.65	26.5	Metamáfica	19.482	43.999	0.155	15.671	0.114	7.7	4.173	0.479	0.029
	54.5	60.4	Metamáfica	11.237	51.389	0.069	17.32	0.115	8.424	1.818	5.616	0.043
	60.4	65.45	Talco-clorita-xisto	8.55	50.448	0.018	6.723	0.153	7.451	0.258	22.462	0.059
	65.45	70.8	Talco-clorita-xisto	7.281	44.66	0.012	4.408	0.124	11.027	0.205	25.152	3.345
	94.95	98.35	Talco-clorita-xisto	11.259	36.113	0.05	17.51	0.032	7.93	0.802	19.573	0.222
	139.45	145.6	Talco-clorita-xisto	10.738	57.758	0.176	12.083	0.099	4.355	2.196	4.363	1.723
	145.6	150.85	Talco-clorita-xisto	7.997	55.789	0.058	14.623	0.068	7.082	0.737	10.704	0.242
	183.1	190.45	Talco-clorita-xisto	7.004	41.118	0.011	4.836	0.109	19.627	0.243	20.798	4.784
	190.45	198.8	Talco-clorita-xisto	10.863	45.695	0.033	7.25	0.142	13.204	0.383	16.1	2.335
	198.8	201.1	Itabirito Goethítico	29.825	45.433	0.116	3.158	0.097	7.288	0.035	0.065	0.021
	202.5	210.6	Itabirito Silicoso	22.4845	64.957	0.0541	0.247	0.1155	2.4172	0.0053	0.014	0.0329
	210.6	215.8	Itabirito Silicoso	22.357	67.038	0.02	0.12	0.036	0.798	0.02	0.023	0.012
	215.8	225.55	Itabirito friável	35.3412	47.1788	0.0253	0.5069	0.0657	0.8283	0.05	0.0831	0.0533
	225.55	234.4	Itabirito friável	39.0434	39.3164	0.1437	0.8507	0.3761	2.6684	0.0425	0.1333	0.0244
	236.1	243.95	Itabirito friável	34.972	48.394	0.028	0.253	0.133	1.252	0.023	0.049	0.01
243.95	250	Itabirito friável	35.517	47.473	0.024	0.269	0.125	1.298	0.024	0.188	0.017	

Tabela 4.5 - Tabela estatística dos elementos maiores das amostras do furo FNO-FD00468, com os parâmetros de Variável, Média, Desvio Padrão, Mínimo, Máximo, Mediana, Q1 (Primeiro quartil), Q3 (Terceiro Quartil).

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Mediana	Q1	Q3
FeO	19.11	10.99	7.28	39.04	14.13	10.74	29.82
SiO₂	48.28	8.18	36.11	67.04	46.88	42.7	51.39
P₂O₅	0.06	00.05	0.01	0.17	0.03	0.02	0.11
Al₂O₃	7.88	6.9	0.12	19.01	6.72	0.51	14.62
MnO	0.12	0.07	0.03	0.37	0.11	0.09	0.13
TiO₂	0.92	1.36	0.005	4.54	0.25	0.03	0.98
MgO	0.68	9.11	0.01	25.15	4.36	0.08	16.10
CaO	0.01	1.368	0.003	4.78	0.04	0.01	0.24

5. DISCUSSÕES

5.1 GEOLOGIA E ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE FÁBRICA NOVA

O estudo da área em que está inserida a mina de Fábrica Nova, o Sinclinal Santa Rita é de complexidade bastante perceptível (Dorr 1969), localizada em seu flanco inverso, a região que engloba a área deste estudo apresenta estratigrafia invertida e uma expressiva variação litológica. Ao longo da mina encontram-se corpos de itabirito encaixados em rochas filíticas, assim como corpos de hematita em sequência de rochas quartzíticas, dado este também observado por Rosière & Chemale Jr (2000). Discretizar, na área deste trabalho, detalhadamente cada unidade em mapa tornaria o processo de interpretação um pouco menos didático. Abranger as unidades, separando-as por formações traz mais clareza quando se busca entender os processos evolucionais e metalogenéticos da área.

Sintetizando as informações referente aos corpos descritos e apresentados no capítulo anterior, nota-se que, em superfície, as rochas apresentam-se bastante intemperizadas, quase que como horizontes de solo. Tal comportamento ocorre pela natureza do material ser mais suscetível à alteração por intemperismo químico. Esses corpos foram caracterizados como “Cobertura”.

Em relação a Formação Cauê, foram descritos corpos de itabiritos friáveis, goethíticos, aluminosos e compactos. Também foram observados itabiritos silicosos, frequentemente bandados e dobrados, e com fraturas conjugadas, preenchidas por veios de quartzo ou hematita.

Os itabiritos silicosos (Figura 4.6 e 4.7) tem maior proporção nas frentes de lavra da cava norte, e podem se relacionar à ambientes deposicionais marinhos mais profundos (Spier 2007). No furo FNO-FD00423 foram observados itabiritos de natureza mais goethítica e corpos de itabiritos mais compactos, já no furo FNO-FD00468 os itabiritos são mais silicosos, com níveis specularíticos e veios de quartzo.

A Formação Gandarela foi descrita em um curto intervalo no furo FNO-FD00423, e é representada por itabiritos manganésíferos, de coloração cinza-escuro e de aspecto mais untuoso. Em escala de mapa, a formação foi contornada através de pontos de mapas anteriores e dados dos furos de sondagem, e representa maior porcentagem de área na cava norte e a oeste da área de estudo, e em algumas porções na parte leste.

Os quartzitos e filitos da Formação Cercadinho (Figura 4.9 e 4.10) possuem variação de granulação, coloração e composição. Os quartzitos da cava norte por exemplo, apresentam uma homogeneidade mais marcante, não sendo possível observar texturas deformadas e bandas centimétricas, como àqueles da cava leste (**Figura 4.9**).

A área mais a norte apresenta quartzitos mais acinzentados e ferruginosos variando lateralmente com quartzitos mais alaranjados, provavelmente associados à hematita/limonita, contendo também microfraturas preenchidas por óxidos de Fe (Figura 4.9a).

As unidades intrusivas (Figura 4.11) apresentam granulação fina, material alterado de coloração amarronzada e estão presentes em maior proporção na cava leste e no centro da mina. Na cava leste em especial, rochas de protólito máfico/ultramáfico foram descritas a partir do furo de sondagem FNO-FD00468. São rochas clorita-talco-xistosas, possivelmente ricas em clorita, talco, quartzo e serícita. Veios de quartzo associados a sulfetos foram observados.

Dorr (1969) sintetiza a possível origem de corpos ultramáficos presentes ao longo de toda extensão do QFe, no qual inclui rochas talco -xistosas com feições cisalhadas (e.g. Guild 1957; Gair 1962; Dorr & Barbosa 1694 *apud* Dorr 1969) apresentam marcas de intrusões tardias. Adicionalmente, corpos de esteatito e serpentinito, fruto da alteração de peridotitos e dunitos também são mencionados pelo autor, e muitas vezes apresentam-se contornados por rochas graníticas pós-Minas (Dorr 1969).

Mapeados próximos à falha de Água Quente, Dorr (1969) também menciona que existem rochas muito semelhantes texturalmente aos clorita-talco-xistos descritos, que são muitas vezes interpretadas como unidades pré-Minas, relacionadas ao Grupo Quebra-Ossos. Essas unidades apresentam magnetitas euédricas e abarcam um contato entre granitos e rochas do Supergrupo Rio das Velhas, e como apresentam contatos proeminentes com rochas do Grupo Caraça e Itabira, muito possivelmente são também de idade pós-Minas (Dorr 1969).

5.1.1 ASPECTOS DO MINÉRIO DE FERRO DE FÁBRICA NOVA

Os corpos de minérios foram individualizados e expostos através da modelagem geológica, onde itabiritos friáveis, itabiritos goethíticos, itabiritos compactos e itabiritos friáveis ricos foram caracterizados.

Na mina de FNO, itabiritos goethíticos e friáveis são bem comuns. Rosière & Chemale Jr (2000) mencionam que minérios que apresentam goethita em sua composição, podem se correlacionar ao domínio de baixa deformação, cuja origem está associada à itabiritos magnetíticos/martíticos, já os itabiritos friáveis com xistosidade marcante e presença de especularita podem estar associados predominantemente no domínio de alta deformação do QFe.

Através da caracterização da natureza do depósito de Fábrica Nova e da variação dos litotipos de itabiritos, foram observados três controles metalogenéticos nas áreas mapeadas da mina.

- Hidrotermal – sin-tectônicos (Corpos de Hematita compacta e veios hematíticos);
- Supergênico – pós-tectônicos (Corpos de Canga);
- Retrabalhamento – Sedimentação de corpos rolados pós tectônicos (Corpos rolados);

Alguns autores também destacam um possível evento de origem vulcânica no momento da deposição das formações ferríferas bandadas, esse evento pode ter gerado rochas vulcânicas ultramáficas/máficas no momento em que os corpos de itabiritos estavam sendo sedimentados, e por isso, alguns dos corpos de hematita presentes na Formação Cauê podem conter natureza e/ou resquícios de atividades vulcânicas (Harder & Chamberlin 1915; Dorr 1969)

É possível que a conformação atual do depósito possa conter assinaturas hidrotermais, bem como supergênica. O hidrotermalismo, associado aos eventos de natureza extensional foram constatados por Pires (1995) e Rosière & Chemale Jr (2000) na Formação Cauê, em que veios de hematita seccionam o bandamento, fato este também constatado neste trabalho.

Existem modelos que propõem a origem de fluidos ricos em hematita, destacados por autores como Barley *et al.* (1999) que estudou a bacia de *Hammersley*. Este modelo infere que os fluidos metamórficos somados aos fluidos meteóricos possibilitaram a concentração deste mineral. No entanto, são modelos para depósitos de estruturas diferentes daquelas encontradas no QFe. Para Rosière & Chemale Jr (2000), a percolação de fluidos hidrotermais pode ter surgido a partir de pulsos oxidantes e mineralizantes, a partir dos eventos orogênicos nos quais a bacia Minas sofreu, o Transamazônico (~2.1 G.a) e o Brasileiro (0.65 G.a). A região apresenta estruturas de eventos dúcteis e rúpteis (Rosière & Chemale Jr 2000; Rossi 2014), e são assinalados componentes químicos que indicam a percolação de fluidos, tanto de natureza silicosa, como de natureza hematítica. Ou seja, fluidos saturados em sílica, e fluidos saturados em Fe, podendo também ocorrer assinaturas dos elementos Al, Mn e Mg (Spier 2007).

Segundo Spier (2007) dois eventos distintos de deformação podem ter ocasionado as feições vistas hoje nas formações ferríferas bandadas, tais como o metamorfismo da rocha primária na fácies xisto-verde em concomitância com intrusões graníticas e intrusões máficas, e a dissolução de sílica hidrotermal bem como a assinatura dos elementos de Ca-Fe-Mg a partir de carbonatos.

Os itabiritos podem conter caracterizações advindas desses processos deformacionais, além de assinaturas que inferem uma assimilação maior de componentes terrígenos no momento da deposição, principalmente quando ocorrem elevadas concentrações de Al, K ou Ca (Spier 2007).

Os fluidos, alguns dos quais ricos em Fe, adentraram zonas de fraqueza bem como áreas com descontinuidades na Formação Cauê (Figura 4.6; Figura 4.19), por exemplo, gerando corpos mais ricos e mais homogêneos. Este evento seria diferente em relação ao depósito em si da formação, sendo, portanto, de natureza posterior e mais tardia.

O enriquecimento supergênico é observado de forma bastante contínua na mina principalmente pelos corpos de canga. Estes corpos são formados a partir de processos intempéricos que somados à regimes de elevada pluviosidade causam a lixiviação de sílica e de argilominerais das formações ferríferas. Os processos supergênicos não estão necessariamente condicionados ao tectonismo, isso

porque eles apresentam-se muitas vezes concordantes com o bandamento, fato observado também na cava sul da mina (Rosière & Chemale Jr 2000). Os corpos de canga apresentam-se subconcordantes e em contato horizontalizados com os itabiritos friáveis, inferindo que são origem tardia e pós tectônico.

Ainda segundo (Rosière & Chemale Jr 2000) nos corpos supergênicos, ocorre através de processos intempéricos, a oxidação e hidratação do mineral de magnetita, esse fator pode desencadear a formação das carapaças ferruginosas. Da mesma forma, esses corpos ricos em Fe “protegem” as formações ferríferas, impossibilitando a oxidação dos corpos sobrejacentes e facilitando a lixiviação por sílica.

Os corpos rolados observados ao longo de toda mina, constitui-se de corpos de hematita e itabiritos, imersos em uma matriz/cimento composta por hidróxidos de ferro e podem estar associados à processos erosivos de alta energia, gerados a partir de retrabalhamento em áreas mais rebaixadas ou vales escarpados (Rosière & Chemale Jr 2000).

O esquema representado pela (Figura 5.1) traduz algumas feições visualizadas na mina de Fábrica Nova, no qual inclui corpos de minério formados por itabiritos friáveis e corpos de hematita preenchendo fraturas, por vezes subconcordantes ao bandamento.

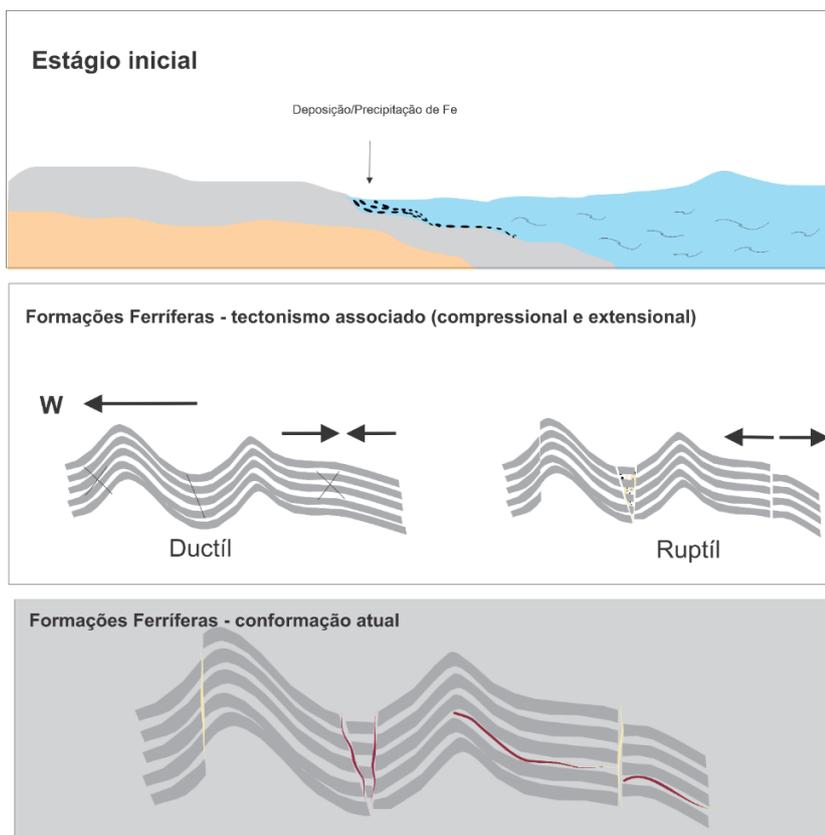


Figura 5.1 - Eventos associados às estruturas presentes na mina de Fábrica Nova.

CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso permitiu a análise da lito-estratigrafia da mina de Fábrica Nova e sua relação com os diferentes tipos de minério de ferro. Assim, conclui-se que:

- O mapeamento trouxe novas informações sobre as frentes de lavra da mina, principalmente sobre um local ainda pouco compreendido, a cava leste de Fábrica Nova. A região sofreu fortes deformações atestadas nas rochas máficas e meta-ultramáficas, estes corpos seccionam unidades pertencentes ao Grupo Itabira e Piracicaba, na direção NW/SE.
- Os corpos de minério apresentam variação química e textural ao longo da superfície modelada, e itabiritos friáveis e goethíticos representam as maiores proporções, seguido por itabiritos compactos e itabiritos friáveis ricos, e correspondem em termos de teor, a porcentagens em torno de 36%, 40%, 37% e 54% respectivamente.
- O estilo de depósito de Fábrica Nova bem como seus processos metalogenéticos, puderam ser mais bem compreendidos, em escala de subsuperfície e em escala de afloramento, corroborando que 3 controles diferentes possibilitaram o enriquecimento na área da mina, tais como hidrotermalismo, processo supergênico e retrabalhamento.
- As estruturas de Fábrica Nova ainda precisam ser mais bem compreendidas, mas observa-se que a área foi intensamente deformada por eventos dúcteis – rúpteis associados a processos compressoriais e extensionais, responsáveis pela percolação de fluídos e enriquecimento de corpos hematíticos em falhas e fraturas.
- De forma geral, os dados estruturais mostram que as camadas, da cava norte e leste, possuem mergulho preferencial para E-SE, as fraturas, muitas vezes preenchidas por veios de quartzo e hematitas apresentam direções preferenciais para NW-SE. Apesar de ocorrer dobramentos intensos, em escadas centimétricas e decamétricas, observa-se uma variação de eixos, com medidas preferenciais para E-W.
- Para trabalhos futuros, estudos da mineralogia através do MEV, bem como análise de elementos menores e ETR podem colaborar sobre fontes hidrotermais vistas na cava norte e auxiliar no entendimento das variações químicas observadas nos corpos de minério ao longo de toda mina de Fábrica Nova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny In The Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: Evidence For Paleoproterozoic Collision And Collapse In The Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90** (1-2):29-58.
- Alkmim F.F. & Martins-Neto M. A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 33:127-139.
- Alkmim F.F. and Noce C.M. (eds.) 2006. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brazil. *Field Guide & Abstracts*, 114 p.
- Almeida F. F. M. 1977. O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Almeida L. G. 2004. Evolução tectônica da porção central do sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. *Dissertação de Mestrado*, 110p.
- Almeida L. G., Castro P. T., Endo I., Fonseca M. A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: Uma Revisão Estratigráfica. *Rev. Bras. Geoc.* 35(2):177-186.
- Amorim L.Q. & Alkmim F.F. 2011. New ore types from the Cauê banded iron-formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil- Responses to the growing demand. Iron ore conference. *Perth*, WA, 1-14.
- Barbosa L. H. do C. 2018. Serra do Itacolomi revisitada: estratigrafia, arcabouço estrutural e aplicação de métodos geofísicos, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 133p.
- Babinski M., Chemale Jr., F. & Van Schmus, W. R. 1995. The Pb/ Pb age of Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil, and its implications to the correlation with BIFs from South Africa and Australia. *Precambrian Research*, 72: 235 – 245.
- Baltazar, O.F., 1996. Geologia estrutural. In: CPRM–Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio das Velhas: Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Departamento Nacional de Produção mineral/CPRM–Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 49–53.
- Baltazar, O.F., 1998. Geologia estrutural. In: Zucchetti, M., Baltazar, O.F. (Eds.): Projeto Rio das Velhas. Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. 2ª Edição, Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 49–53.
- Baltazar O.F. e Zucchetti M., 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas *greenstone belt*, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*. 32, 1–2.

- Castro E. C. C., Ferreira J. E., Castro P. de T. A. 1998. Formação Cata Preta: uma nova unidade estratigráfica definida em rochas cenozóicas no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero - MG. In: XL Congresso Brasileiro de Geologia, 1998, Belo Horizonte. *Anais do XL Congr. Bras. de Geol. Belo Horizonte*, v. 1. p. 82-82.
- Castro E. C. C. & Ferreira J. E. 1997. Aspectos estratigráficos, sedimentares e estruturais dos sedimentos cenozóicos da borda leste do Quadrilátero Ferrífero entre Santa Rita Durão e Fonseca, Minas Gerais. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Trabalho Final de Graduação, 49p.
- Caxito F. & Dias T. G. 2018. CODEMGE. Ferro. Disponível em <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ferro/>. Acesso em 15 out. 2022.
- Chemale F. Jr., Quade H. & Santana F. C. 1987. Economic and structural geology of the Itabira Iron District, Minas Gerais, Brazil. *Zbl. Geol. Paläontol.*, VI (7/8): 743 – 752
- Chemale F. Jr., Rosière C. A.; Endo I. 1992. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: um modelo. *Pesquisas*, 18(2): 104-127.
- Chemale Jr. F., Rosière C.A., Endo I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil, *Precambrian Research*, 65: p. 25-54.
- Cowan E. et al. Practical implicit geological modelling. In: Fifth International Mining Geology Conference. [S.l.: s.n.], 2003. p. 17–19.
- Dardenne M. A. 2001. Metalogênese do Brasil / Marcel Auguste Dardenne e Carlos Schobbenhaus. — Brasília: Editora Universidade de Brasília, 392 p. 153-154.
- Dorr J. V. N., 2d, and Barbosa A. L. M., 1964, Geology and ore deposits of the Itabira district, Minas Gerais Brazil: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 341-C, 110 p.
- Dorr J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Professional Paper*. 641-A. 110p.
- Dorr J. V. N. 1964. Supergene ores of Minas Gerais, Brazil. *Econ. Geol.* v. 59, p. 1203-1240.
- Duarte H. A. 2019. Ferro – um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. Dep. de Química – UFMG. Belo Horizonte – Brasil. *Quim. Nova*, Vol. 42, No. 10, 1146-1153.
- Endo I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozoico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 382 p.
- Endo I., Oliveira A. H., Peres G. G., Guimarães M. L. V., Lagoeiro L. E., Machado R., Zavaglia. G., Rosas C. F., Melo R. J. 2005. Nappe Curral: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. *X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics*. Curitiba. Boletim de Resumos Expandidos, p.: 279-282;

Pereira, A. L. 2022. Distribuição e modelamento dos corpos de minério de ferro da mina de Fábrica...

Endo Issamu *et al.* 2020. Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. 1. ed. Belo Horizonte: 3i, 480 p. v. 1. ISBN 978-65-990542-8-0. Disponível em: <https://www.em.ufop.br/files/LivrosQFE2050/QuadrilateroFerrifero-web5.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

Eschwege W.L.von. 1833. Trad. Domício de Figueiredo Murta. Ed. Itatiaia, Belo Horizonte, Ed. da Universidade de São Paulo - São Paulo. *Pluto brasiliensis*. 2v. ed. 1979, 270 p.

Farina F. Albert C., Dopico, C. M., Gil, C. A., Moreira, H. S., Hippert, J. P., Cutts, K. 2015. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences xxx*. 1-18.

Ferreira Fº F. A. 1999. *Análise Estrutural Qualitativa do Sistema de Falhas de Água Quente, Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 162p.

Ferreira Fº F. A. & Fonseca M. A. 2001. Partição da Deformação em Regimes Contracionais de Antepaís: Exemplo do Sistema de Falhas Água Quente. *Revista Brasileira de Geociências*, **31(3)**:267-278.

Ferreira M. S. 2006. *Modelagem Tridimensional de depósitos minerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. p. 1-3.

Guimarães D. 1931. Contribuição à geologia do Estado de Minas Geraes, Brazil. Serviço Geológico e Mineralógico. p. 36.

Guimarães D. 1951. Arqui-Brasil e sua evolução geológica. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. *Boletim*. 88. 314p.

Gorceix H., 1884. Bacias Terciárias de água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Gerais Brasil. *Anais da Escola de Minas*, 3, 95-114.

Gonçalves L. E. da S., Costa, J. C. M. de O., Endo I, Roeser H. M. P. 2011. Petrogênese, microestruturas e deformação de corpos ultramáficos metamorfisados da região de Santa Rita de Ouro Preto, MG, Brasil. *Geonomos* **19(1)**: 10 – 17.

Gross G. A. 1983. Tectonic systems and the deposition of iron-formation. *Precambrian Research*, v. 20, p. 171-187.

Harder E. C., Chamberlin, R. T. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil: *Jour. Geol.*, v. 23, p. 385-424;

Instituto Prístino: Atlas Digital Geoambiental. Sistema WebGis de livre acesso ao banco de dados ambiental. Disponível em: < <https://institutopristino.org.br/atlas/>>. Acesso em: 16 out. 2022.

Jordt-Evangelista H. & Silva M. E. da. 2005. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólito da pedra-sabão. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, **58(1)**: 11-20.

Klein C. 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, v. 90, p. 1473-1499.

Klein C., Ladeira, E.A., 2000. Geochemistry and petrology of some Proterozoic banded iron-formations of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Econ. Geol.* 95, 405–428.

- Ladeira E. A. 1980. Metallogenesis of gold at the Morro Velho mine and in the Nova Lima district, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. University of Western Ontario, Canadá, Ontario, PhD. Thesis, 272p.
- Lobato L.M.; Figueiredo E Silva, R.C.; Hagemann, S.; Thorne, W.; Zucchetti, M. 2008. Hypogene alteration associated with high-grade banded iron formation related iron ore. *Reviews in Economic Geology*, v. 15, p. 107-128.
- Lagoeiro L. E., 1998. Transformation of magnetite to hematite and its influence on the dissolution of iron oxide minerals. *Journal of Metamorphic Geology*, 16: 415-423.
- Lana C., Alkmim F. F., Armstrong R., Scholz R., Romano R., Nalini Jr. H. A. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. 231, 157–173.
- Maizatto J. R. 1993. Estratigrafia e tectônica das rochas cenozóicas da bacia do Gandarela e da região do Gongo Soco, sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Trabalho Final de Graduação, 110p.
- Maxwell C. H. 1960. Mapa Geológico da Quadrícula Capanema, Minas Gerais. Washington, USGS/DNPM. *Prof. Paper* 341J, 73 p.
- Maxwell C. H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria district, Brazil. Washington, USGS/DNPM. *Professional Paper* 341J. 72p.
- Machado N., Noce C. M., Ladeira E. A., Oliveira O. A. B de. 1992. U-Pb geochronology of the Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc.* 104, 1221–1227.
- Machado N., & Noce C. M. 1993. A evolução do setor sul do Cráton do São Francisco entre 3, 1 e 0.5 Ga baseada em geocronologia U-Pb. *Simp. Craton São Francisco*, 2, 100-102.
- Machado N., Schrank A., Noce C. M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting evolution of a transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth Planet. Sci.* 141, 259-276.
- Marshak S., Alkmim F. F., Evangelista H. J. 1992. Proterozoic crustal extension and the generation of dome and keel structure in an granite-greenstone terrane. *Nature*, 357:491-493.
- Miranda E. E. de; (Coord.). 2005. Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>. Acesso em: 15 mai 2022.
- Noce C. M. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 129 p.
- Noce C.M., Machado N., Teixeira W. 1998. U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Rev. Bras. Geoc.* 28, 95-102.

Pereira, A. L. 2022. Distribuição e modelamento dos corpos de minério de ferro da mina de Fábrica...

Noce C. M., Zucchetti M., Baltazar O. F., Armstrong R., Dantas E. L., Renger F. E., Lobato L. M. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U/Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Prec. Res.* 141, p. 67-82.

Pires, F. R. M. 1995. Textural and mineralogical variations during metamorphism of the Proterozoic Itabira Iron Formation in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *An. Acad. Brasileira de Ciências*, **67(1)**: 77-105.

Pedrosa-Soares, A.C.; Dardenne, M.A.; Hasui, Y.; Castro, F.D.C.; Carvalho, M.V.A. 1994. Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Mineralis do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000.

Reis L. A., Martins-Neto M.A., Gomes N.S., Endo I. 2002. A bacia de antepaís paleoproterozóica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Brasileira de Geociências* (32) **43-58**.

Roeser H. M. P., & Roeser P. A. 2013. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos mineralis e problemas ambientais relacionados. *Revista Geonomos*, **18 (1)**.

Rosière C. A., & Chemale Jr F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero—uma visão geral e discussão. *Revista Geonomos*, **8 (2)**.

Rosière C.A.; Siemes H.; Quade H.; Brokmeier H.G.; Jansen, E.M. 2001. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*. v. **2.3**, p 1429-1440.

Rosière C.A.; Spier C.A.; Rios F.J.; Suckau V.E. 2008. The itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade iron ore deposits: an overview. In: Hagemann, S.; Rosière, C.A.; Gutzmer, J.; Beukes, N. (Eds.). *Banded Iron Formation-Related High-Grade Iron Ore*, Society of Economic Geologist, Littleton, Colorado. *Reviews in Economic Geology*, v.15, p. 223-254.

Rosière C.A.; Sanglard J.; Sabadini Jr R.; Hensler A.S.; Hagemann S. G.; Santos J. O. S.; Mcnaughton N.; Fletcher, I. 2013. Iron mineralization in the Quadrilátero Ferrífero: Structural Control, Age and Mineral-Chemical Changes. In: 12th SGA *Biennial Meeting*, Uppsala.

Rosière C.A.; Rolim V. K. 2016. Formações ferríferas e minério de alto teor associado – o minério de ferro no Brasil – geologia, metalogênese e economia In Recursos Mineralis do Brasil – problemas e desafios. Rio de Janeiro: *Academia Brasileira de Ciências*. 1, p. 33 – 43.

Rossi D. Q. 2014. *Estratigrafia E Arcabouço Estrutural Da Região De Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto. p. 13–30.

Rolo R. M. 2017. *Modelagem geológica implícita com funções distância assinaladas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p. 19-43.

Saadi A., Sgarbi G. N. C., Rosière C. A. 1992. A bacia do Gongo Soco, nova bacia terciária no Quadrilátero Ferrífero: Controle cárstico e/ou tectônico. In: SBG/Núcleo São Paulo, Cong. Bras. de Geol., 37: 600-601.

Schorscher H.D. & Guimarães, P. F. 1976. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. In: CONG. BRAS. DE GEOL, 29. Belo Horizonte. Anais do XXIX CBG, Belo Horizonte. *Roteiro de Excursões*, p. 75-86.

- Schorscher H. D. 1978. Komatiitos na estrutura greenstone belt da Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Congresso Brasileiro De Geologia - SBG*. Recife, p. 292-293.
- Shaefer C. E. G. R.; Mendonça B. A. F. & Ribeiro A. S. 2008. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Jacobi, C.M. *Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Biológicas.
- Shaefer C. E., Cândido H. G., Corrêa G. R., Pereira A., Nunes, J. A., Souza O. F., Marins A., Filho E. F, Ker, J. C., 2015. Solos desenvolvidos sobre Canga Ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de Termineiros. *Geossistemas Ferrugínicos do Brasil - Belo Horizonte - MG*. p. 77-102.
- Simmons G. C. & Maxwell C. H. 1961. Grupo Tamanduá da Serie Rio das Velhas: Brazil Dept. Nac. Produção Mineral, Div. Geol. e Min., Bol. 211, 30 p.
- Spier C. A., de Oliveira S. M., Sial A. N., & Rios F. J. 2007. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, **152(3-4)**, 170-206.
- Suita M. T. F., Endo I., Miranda C. A., Miranda L. F., Morales L. F. G. 2007a. Caracterização preliminar dos cumulados ultramáficos iniciais e considerações sobre o magmatismo formador do metaperidotito Paleoproterozoico Jeceaba. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2007, Diamantina. Simpósio do Sudeste - Programação e Livro de Resumos. Diamantina, MG: *Sociedade Brasileira de Geologia*, Núcleos RJ, MG e SP, 2007. p.81-81.
- Uhlein A. & Noce C.M. 2012. Quadrilátero Ferrífero. In: Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A. (eds). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 228 – 229.

ANEXOS

Descrições de furos de sondagem

ID do Furo: FNO-FD00423**Profundidade: 300****Coordenada: 663064.2359/7765955.593**

De	Até	Litologia	Descrição
0	2	Saprólito	Rocha de coloração amarelada a alaranjada, friável e argiloso com a densidade baixa: Possivelmente um corpo saprolítico de superfície.
2	8.1	Filito	Rocha de coloração avermelhada, com presença de material argiloso, bastante friável e alterado. Possui níveis ricos em filossilicatos bem como lentes arenosas de coloração branca e amarelada com granulação fina de natureza friável.
8.1	14.1	Quartzito	A rocha apresenta-se bastante arenosa, com intercalações de lentes hematíticas (avermelhadas) e possui natureza friável. Em algumas porções há presença de sedimentos acinzentados intercalados com material argiloso amarelo. Ocorre também uma gradação para quartzito ferruginoso (roseado) no qual os grãos são de granulação fina a média.
14.1	19.5	Filito/ Quartzito	Filito avermelhado, mais quartzoso, possuindo alternância com quartzito esbranquiçado de granulação fina, é possível observar elevada maturidade textural. Há finas lentes de hematita oxidada e lentes argilosas.
19.5	22.95	Hematita	Rocha apresenta-se muito heterogênea, sem foliação marcante e com material rico, possivelmente óxido de ferro e hematita com intercalações de sedimentos finos de quartzito
22.95	25	Quartzito	Rocha quartzosa de coloração roseada, apresenta lentes hematíticas oxidadas, que programada para quartzito acinzentado

25	26.3	Quartzito/Filito	Quartzito Ferruginoso com intercalações de lentes mais amareladas (aluminosas) progredindo para filito de coloração amarelada com foliações preservadas.
26.3	28.15	Quartzito/Filito	Igual a anterior
28.15	30.2	Filito	Rocha de natureza friável, de coloração amarelada, com lentes e porções quartzosas bem como mais saprolíticas.
30.2	32	Filito/Quartzito	Rocha amarelada com tons amarronzados, apresenta lentes mais arenosas. Há nessa porção uma variação de rocha quartzítica ferruginosa
32	39.7	Itabirito aluminoso	Rocha friável de coloração mais escura. O material parece ser mais goethítico/aluminoso.
39.7	43.8	Filito	Rocha com textura sedosa, sendo um filito de coloração amarela variando para coloração rosa, com quartzo nos interstícios com lentes de óxido de ferro.
43.8	45.1	Filito	Mesma da anterior
42.1	50	Itabirito	Rocha manganésífera, possivelmente um itabirito manganésífero, com coloração escura e granulometria muito fina.

50	52.95	Filito	Rocha friável, amarelado e argiloso, podendo ser uma possível alteração de rocha máfica.
58	59.8	Filito	Filito de coloração amarela intercalado com lentes goethítico.
59.8	61.9	Hematita Goethítica	Rocha goethítico, apresenta coloração roxa e preta, e menor densidade.
61.9	62.7	Metamáfica	Rocha metamáfica, possivelmente oriunda a partir da intrusão e posterior metamorfização.
62.7	64.3	Hematita	Lente de Hematita compacta - material denso.
64.3	66.3	Quartzito	Intercalação de quartzito com granulação fina, com rocha laminada rica em óxido de ferro;
66.3	77.25	Metamáfica	Rocha amarela, com granulação fina a muito fina, com intercalações de óxido de ferro, e quartzo muito fino.
77.25	95.9	Filito	A rocha apresenta colorações avermelhada, amarela e esverdeada, com aspecto sedoso, tem granulação muito fina.

95.9	98.55	Filito	Rocha de coloração amarelada, com porções acinzentadas e avermelhadas. Não tem foliação preservada. Os grãos não apresentam estrutura.
98.55	103.75	Intrusiva	Rocha alterada, possivelmente de protólito máfico/ultramáfico. Coloração avermelhada e amarela.
103.75	108.7	Quartzito	Quartzito de granulação fina com coloração esbranquiçada a avermelhada, contendo finas camadas de óxido de ferro
108.7	110.5	Quartzito	Quartzito ferruginoso, rico em óxido de ferro, apresenta granulação fina.
110.5	111.5	Filito	Lente filito avermelhado rico em óxido de ferro.
115.5	112.3	Filito	Filito com intercalações arenosas que progradam para quartzito.
112.3	114.35	Quartzito	Quartzito grosso com presença de veios, apresentando coloração esbranquiçada a amarelada (semicompacto).
114.35	125.05	Filito	Filito avermelhado, intercalando com quartzitos de granulação fina a média, coloração por vezes amarelada, foliação marcante.

125.05	129	Quartzito	Quartzito roseado de granulação fina a média com intercalações filíticas e/ou intrusivas de coloração avermelhada.
129	130.7	Quartzito	Quartzito roseado com granulação fina a média
130.7	132.75	Quartzito	Contato de Quartzito roseado com filito
132.75	134.25	Quartzito	Quartzito roseado com intercalações de óxido de ferro
134.25	136.3	Itabirito Friável	Itabirito friável com porções quartzosas de coloração acinzentada e granulação fina a média
136.3	146.55	Filito	Metapelito avermelhado, intercalado com metarenito(quartzito) roseado de coloração fina, apresenta foliação marcante, possivelmente lepidogranoblástica
146.55	152.2	Filito	Filito amarelo com presenta de lentes hematíticas e intercalações quartzíticas
152.2	154	Itabirito	Possível Itabirito Goethítico
154	161	Filito	Rocha de coloração amarelada, com porções acinzentadas e avermelhadas. Não tem foliação preservada. Os grãos não apresentam estrutura.
161	165.9	Quartzito	Quartzito roseado com intercalações de óxido de ferro
165.9	185.75	Quartzito	Quartzito compacto, possivelmente mais ferruginoso, de granulação média a grossa
185.75	202		Mesma da anterior
202.45	239.5	Itabirito	Itabirito friável fino a médio, apresenta bandamento com bandas mais finas de sílica. A hematita é predominante.
239.5	286.45	Itabirito Goethítico	Itabirito com bandas de coloração mais amarela, indicando a presença de minerais hidratados, podendo ser goethita, limonita ou alumino-silicatos. A granulação varia de fina a grossa.

286.45	292.55	Itabirito Goethítico	Itabirito possivelmente goethítico, pois apresenta coloração mais escura, típica do manganês, e uma menor densidade. A granulação varia de fina a grossa
252.55	300	Itabirito Goethítico	Mesma da anterior

ID do Furo: FNO-FD00468**Profundidade: 250****Coordenada:
663064.2359/7765955.593**

De	Até	Litologia	Descrição
0	23,20	Saprólito	Horizonte de coloração amarronzada e alaranjada, de composição argilosa, podendo conter ferro na forma de óxido. Presença de caulim também é marcante. Em alguns intervalos também se observa planos de foliação.
23,20	56,5	Filito	Rocha de coloração alaranjada, com presença de material argiloso, bastante friável e alterado.
56,5	62,1	Metamáfica	Rocha de coloração avermelhada, intercalações de coloração para amarelada. É possível que seja rocha de alteração máfica/ultramáfica. Possui argilominerais como composição principal.
62,1	92,9	Clorita - talco- Xisto	Podendo ser de natureza mais silicosa, esse intervalo é característico por conter uma rocha de coloração clara, com presença marcante de talco, untuoso ao tato, apresentando também textura sedosa, contendo também minerais micáceos e possivelmente sericíta. Pode conter também clorita. Rocha esverdeada, com magnetitas euédricas em algumas porções. Possivelmente há presença de serpentina, também.
92,9	94,5	Anfibolito	Rocha de coloração escura, com minerais aciculares, fibrosos apresentando formato típico de rochas anfíbolíticas. Composição homogênea.

94,5	143,55	Clorita - talco xisto	Rocha xistosa, cuja mineralogia apresenta talco, clorita e sericita. Apresenta veio de quartzo de espessuras centimétricas e sulfetos disseminados.
143,55	150,85	Clorita xisto	Rocha apresenta-se bastante deformada, sendo possível observar indicadores cinemáticos. Podendo ser rochas de zonas de contato e/ou zonas de cisalhamento.
150,85	152,6	Xisto	Rocha de coloração avermelhada, apresenta bandamentos marcantes e níveis de alteração.
152,6	183,1	Clorita-xisto	Rocha apresenta microdobras em abundância, e indicadores cinemáticos. É possível observar minerais tais como quartzo e clorita, talco e filossilicatos (fushita). Apresenta granulometria fina a média e cristais placóides.
183,1	194,75	Veio de Quartzo	Veio de quartzo espesso e de aspecto leitoso.
198,1	206,8	Itabirito goethítico	Itabirito friável, de granulação fina a média, apresenta limonita/goethita e apresenta-se bastante hidratado, com bandamento marcante de quartzo e hematita/ limonita.
206,8	210,6	Itabirito silicoso	Itabirito mais rico em quartzo, com % maior de sílica, apresenta bandamento de hematita e quartzo. Possui granulometria fina a média e coloração acinzentada.
210,6	211,85	Itabirito Friável	Bandas ricas de quartzo e goethita/limonita. De granulometria fina a média.

211,85	250	Itabirito Friável	Itabirito de coloração acinzentada/alaranjada/avermelhada. De granulometria fina a média, é possível que apresente minerais de limonita, além de quartzo e hematita.
--------	-----	-------------------	--
