

1 INTRODUÇÃO

Os "greenstone belts" constituem-se de uma seqüência de rochas vulcânicas e sedimentares, em geral, de idade arqueana, afetadas por metamorfismo de baixo grau. São reconhecidamente os maiores produtores de ouro do mundo e são responsáveis por pelo menos 15% da produção de ouro no globo terrestre.

No Brasil, o *Greenstone Belt* Rio das Velhas, localizado no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais, é o mais importante distrito aurífero do Brasil e um dos mais importantes do mundo. Já produziu, ao longo da história, mais de 1 milhão de toneladas de ouro, cerca de 25% da produção brasileira (Vieira e Oliveira, 1988; Lobato *et al.* 2001), provenientes das minas de Morro Velho, Raposos, São Bento, Cuiabá, dentre outras.

O Depósito Pilar é uma mina de ouro em operação, parte integrante do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, localizado na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, no distrito de Brumal, município de Santa Bárbara, Minas Gerais, distando 100 km da capital, Belo Horizonte (Figura 1).

A mina está instalada em uma área de 961,66 hectares, que corresponde à totalidade do alvará de pesquisa e foi adquirida pela Mineração Serras do Oeste (MSOL), subsidiária do Grupo Jaguar Mining Inc., através de um acordo firmado com a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), antigo detentor do alvará.

Geologicamente, a área do depósito está compreendida entre as rochas arqueanas do Complexo Santa Bárbara, em sua porção leste, e pelo Supergrupo Rio das Velhas a oeste. Encontra-se em uma faixa com orientação NE/SW, que mergulha homoclinalmente para SE. Estas rochas mostram uma configuração estratigraficamente invertida com as rochas mais antigas, representadas pelo Grupo Quebra Osso, sobrepostas aos litotipos do Grupo Nova Lima, mais recentes que estas últimas.

As unidades presentes na área do estudo correspondem, na base, a rochas ultramáficas xistificadas, posicionadas acima dos xistos máficos, pelíticos e vulcanoclásticos, além de formação ferrífera bandada, pertencentes ao Grupo Nova Lima. Cortando toda a seqüência, ocorrem diques máficos de diversas gerações.

Este trabalho demonstra que, estruturalmente, o depósito está condicionado a uma dobra isoclinal a fechada, relacionada ao primeiro evento (D_1) e que está sobreposta por uma zona de cisalhamento de empurrão, relacionada ao segundo evento (D_2). O *trend* geral destas duas grandes estruturas é NE-SW, com mergulho do plano da ordem de 50° para SE. O caimento do eixo da dobra possui *plunge* em torno de $135^\circ/50^\circ - 55^\circ$.

Trabalho existente acerca do depósito foi realizado por Passos (1999), cujo foco foi um estudo sobre a geometria das zonas de alteração hidrotermal utilizando o método de espectroscopia de reflexão.

Os trabalhos de exploração desenvolvidos pela Mineração Serras do Oeste Ltda (MSOL) no Depósito Pilar começaram, efetivamente, em junho de 2004 e, hoje, se encontram em fase de expansão para mina subterrânea. As atividades de lavra a céu aberto foram desenvolvidas em 4 alvos: Pit São Jorge, Pit Sul, Pit 15 e Pit Central, onde foram lavradas cerca de 200.000 toneladas de minério oxidado da ordem de 3,0 g/t. Os recursos de minério sulfetado, até o presente momento, foram estimados pela CVRD e são da ordem de 2.526.000 toneladas com teor médio de 5,95 g Au/t.

A mineralização, se estende por pelo menos 800 metros ao longo do *trend*, sendo estruturalmente controlada segundo o *plunge* do eixo da dobra D₁. São quatro corpos principais, sendo três deles relativos à capa e a lapa da formação ferrífera e outro dentro do Pit 15. Existem ainda pequenos corpos secundários, mas de pouca relevância econômica. Os dados de sondagem indicam que a espessura destes corpos é, em média, de 3,5 metros, mas os corpos podem alcançar até 10 metros de espessura e, no Pit 15, um máximo de 2,5 metros.

São identificados três estilos de mineralização dentro do depósito: (i) *stratabound*, na formação ferrífera bandada, (ii) associado a veios quartzo-carbonáticos em xistos máficos e (iii) disseminado tanto nas rochas máficas quanto nas vulcanoclásticas. Destes, o mais importante é o estilo *stratabound* e o associado a veios quartzo-carbonáticos, pois estes encerram a mineralização de teor econômico dentro do depósito.

A maioria dos estudos sobre as mineralizações auríferas no Quadrilátero Ferrífero caracteriza a mineralização aurífera desta região como sendo de origem hidrotermal. A mineralização do Depósito Pilar apresenta características similares visto que, além das rochas do depósito estarem hidrotermalmente alteradas, no centro da zona mineralizada é encontrado grande volume de venulações quartzo-carbonáticas mineralizadas.

Vários trabalhos de campo, de gabinete e laboratório foram empreendidos no sentido de compreender melhor a geologia, o controle estrutural e as zonas de alteração hidrotermal deste depósito.

O presente trabalho aborda a interpretação do modelo da estrutura mineralizada, bem como a tipologia e caracterização do minério aurífero dentro das zonas hidrotermalizadas sob os aspectos petrográficos e estruturais, levando em conta os dados obtidos. Desta forma, este trabalho vai mostrar o comportamento da mineralização no âmbito do depósito, sua estruturação e os principais controles, bem como a idealização de um modelo que caracterize o depósito à luz dos novos conceitos de ouro orogênico (Groves, 1998). Ressalta-se no entanto, que uma das maiores contribuições apresentada neste trabalho está expressa no mapa geológico apresentado no Anexo 2, que está condensado de forma a contribuir para a compreensão do contexto do Depósito Pilar e suas principais características.

Esta abordagem tem um interesse tanto prospectivo quanto metalúrgico, considerando que as características do ouro no depósito, tais como aspectos texturais, tamanho, modo de ocorrência, dentre outros, são de extrema relevância para o beneficiamento do minério.

1.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo (Figura 1) está localizada entre as cidades de Barão de Cocais e Santa Bárbara, no distrito de Brumal, porção NE do Quadrilátero Ferrífero, distando aproximadamente 100 km da cidade de Belo Horizonte/MG e, aproximadamente, 8,0 km de Santa Bárbara.

O acesso pode ser feito pela BR- 381 até o trevo de Santa Bárbara e desta pela MG – 436 até o distrito de Brumal, com o depósito localizando-se às margens da rodovia.

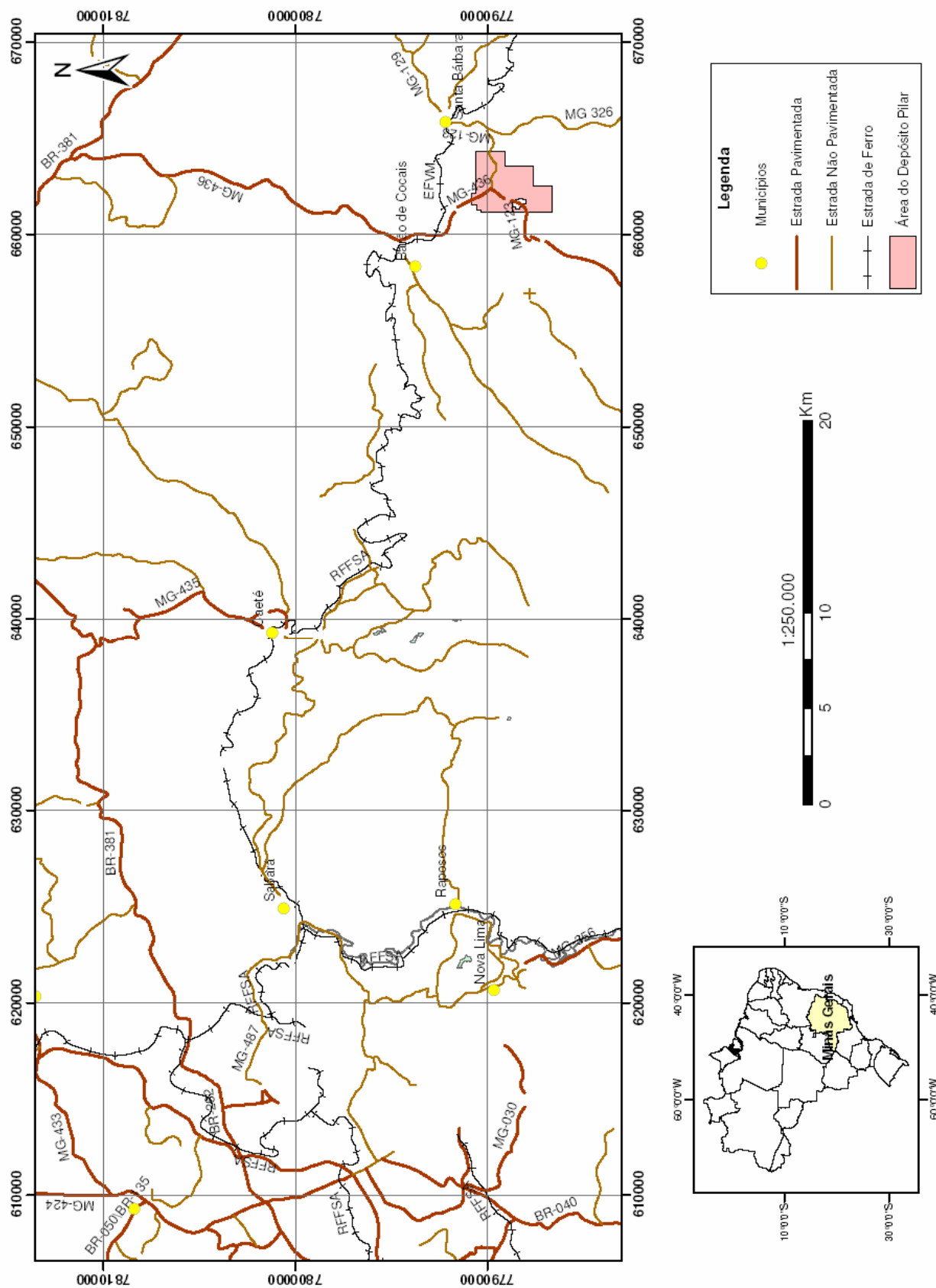


Figura 1 – Mapa de localização do Depósito Pilar (fonte: arquivos MSOL/2006)

1.2 MÉTODOS DE TRABALHO

Os métodos de trabalho envolveram etapas de campo, laboratório e escritório onde coletaram-se dados que, reunidos, trabalhados em conjunto e interpretados, compõem o modelo e as características do depósito.

O estudo foi desenvolvido, nos 4 *pits* principais, São Jorge, Sul, Central e Pit 15, que constituem, até então, os principais alvos do depósito e nos arredores destas áreas.

Na etapa de campo, foram coletados os dados litológicos e estruturais, sendo feitas observações dos contatos entre os litotipos e dos aspectos texturais, descrição e levantamento dos dados de testemunhos de sondagem. Procurou-se definir os principais horizontes mineralizados, as características das hospedeiras e as relações estruturais destes corpos.

Na etapa de laboratório, foram descritas 73 seções delgadas polidas com o reconhecimento da mineralogia essencial, microestruturas, texturas, paragêneses das zonas de alteração hidrotermal e características principais da mineralização aurífera.

1.3 DADOS GERAIS SOBRE O EMPREENDIMENTO

Na região de Santa Bárbara e Barão de Cocais, as ocorrências de ouro são conhecidas desde os séculos XVII e XVIII onde foram, na época, objeto de intensa lavra pelos Bandeirantes cujas marcas deixadas são extensas escavações de tamanhos e profundidades variáveis.

Simmons (1968) cita que uma mina de ouro próxima ao atual Depósito Pilar foi explorada anteriormente e funcionou até 1948. O principal trabalho foi desenvolvido em uma escavação com cerca de 100 metros de comprimento, 50 de largura e 30 de profundidade nas rochas do Supergrupo Rio das Velhas, onde o minério era formado por quartzito ferruginoso e veios de quartzo com pirita, arsenopirita e pirrotita.

A lavra, que foi iniciada nos aluviões, evoluiu para os colúvios, onde hoje são encontrados grandes terraços extensamente lavrados e, finalmente, para o minério primário, onde foram desenvolvidos significativos trabalhos subterrâneos.

Existem várias ocorrências de mineralizações auríferas na região, entre Santa Bárbara e Barão de Cocais, que foram intensamente lavradas pelos antigos e que hoje podem ser identificadas como antigas áreas de lavra. Dentre estas podemos destacar as escavações de Barra Feliz, Santa Quitéria, São Bento, Quebra Osso, São Jorge, Pacheca e outras ocorrências menores.

Durante muitos anos, a área onde está localizada o Depósito Pilar ficou com as atividades paralisadas e, neste período, a área ficou conhecida como Brumal, provavelmente devido à denominação da vila homônima localizada nas circunvizinhanças da área do depósito.

Na década de 1990, a CVRD adquiriu alvará e pesquisou ouro durante alguns anos na região. Posteriormente, esta área foi oferecida a São Bento Mineração que, após alguns trabalhos de avaliação do potencial, incluindo 10 furos de sondagem diamantada, concluiu que a área não atendia às expectativas da empresa, ocasião em que devolveu a área em questão para a CVRD.

A área ficou com suas atividades paralisadas durante vários anos até que, em 2003, a Mineração Serras do Oeste Ltda. firmou um acordo com a CVRD para a reavaliação dos recursos e o desenvolvimento das atividades de pesquisa com vistas a lavra de ouro no Depósito Pilar.

Os trabalhos de exploração desenvolvidos pela Mineração Serras do Oeste Ltda (MSOL), no Depósito Pilar, começaram em 2004 e, durante este período, em complementação aos trabalhos realizados anteriormente pela CVRD e São Bento, foram executados mais de 10.000 metros de sondagem diamantada, incluindo furos da ordem de 700 metros, mais de 6.000 análises químicas para ouro, mapeamento geológico, abertura de trincheiras, mapeamento das seções, abertura de rampa de acesso, seções transversais, mapas de níveis, categorização dos recursos e testes metalúrgicos, culminando com a lavra do minério oxidado.

As atividades de lavra a céu aberto desenvolveram-se em 4 alvos denominados Pit São Jorge, Pit Sul, Pit 15 e Pit Central, onde foram lavrados aproximadamente 200.000 toneladas de minério oxidado da ordem de 3,0 g Au/t. Os recursos de minério sulfetado foram estimados pela CVRD e são da ordem de 2.526.000 toneladas com teor médio de 5,95 g Au/t.

Atualmente, a MSOL está desenvolvendo galerias de acesso aos corpos mineralizados do Pit São Jorge, no nível 690, que está em torno de 80 a 90 metros abaixo da superfície.

2 GEOLOGIA REGIONAL DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

2.1 TRABALHOS ANTERIORES

O Quadrilátero Ferrífero representa um terreno granito-*greenstone* de idade arqueana, sotopostos por rochas supracrustais proterozóicas e está situado na porção sul do Cráton do São Francisco (Figura 2). Tem esta denominação devido à configuração proveniente das extensas ocorrências de minério de ferro, pertencentes ao Supergrupo Minas, e que são controladas por estruturas desenvolvidas nos ciclos orogênicos que atuaram nesta região.

A primeira referência sobre o Quadrilátero Ferrífero provém de von Eschwege que estabeleceu a estratigrafia pioneira para as rochas de Minas Gerais em 1822. Desde então, vários trabalhos de cunho geológico foram produzidos por diversos autores dentre os quais vale destacar Derby & Gorceix (1881, 1887), Harder & Chamberlin (1915), Guimarães (1931, 1966, 1970), Freyberg (1932, 1934), Moraes & Barbosa (1939), Door *et al.* (1957), Door (1969, 1973), Ladeira & Viveiros (1984), Ladeira (1980, 1985, 1991), Schorscher (1976, 1978, 1979), Alkimim *et al.* (1988), dentre outros.

O mapeamento geológico pioneiro do Quadrilátero Ferrífero (1:25.000) foi executado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em cooperação com o United States Geological Service (USGS) durante o período de 1946 a 1961.

A partir deste, outros trabalhos integrando geologia estrutural à evolução geotectônica do Quadrilátero Ferrífero foram realizados tais como o da cooperação entre a Universidade Federal de Ouro Preto com a Clausthal University of Technology, da Alemanha, onde se destacam Gloeckner (1981), Guerra (1979), Hackspacher (1980), Cordani *et al.* (1980a), Hoefs *et al.* (1982), Jordt & Evangelista (1984), Gomes (1985), Rosière (1985), Alkimim (1985), Chemale Jr. (1987) e Souza (1987) cujas escalas de trabalho variaram de 1:2000 a 1:25.000.

Trabalhos recentes sobre a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero foram publicados por Chemale Jr. *et al.* (1992, 1994), Noce (1995), Endo (1997), Alkimim & Marshak (1998), além de Baltazar & Zuchetti (2005).

Abordagens específicas em várias áreas do Quadrilátero Ferrífero foram apresentadas por vários autores dentre os quais citamos, para exemplificação, Almeida (1976), Schorscher (1978, 1980), Drake & Morgan (1980), Ladeira (1980, 1981), Ladeira e Roeser (1983), Schorscher *et al.* (1982), Oliveira *et al.* (1982), Sichel & Valença (1983b), Oliveira (1984), Padilha (1984), Vieira *et al.* (1991a), Vieira (1991b), Machado & Carneiro (1992a, 1992b), Renger (1994), Chemale Jr. (1996), Lobato *et al.* (1998, 2000, 2001) e mais recentemente o Projeto de Integração e Correção cartográfica em SIG (2005), realizado pelo consórcio entre a UFMG/CODEMIG e o Governo de Minas Gerais.

O arcabouço litológico do Quadrilátero Ferrífero é representado por quatro grandes unidades (Door 1969), subdivididos nos (i) Complexo Gnáissico- Migmatítico (ii) Supergrupo Rio das Velhas (iii) Supergrupo Minas e (iv) Supergrupo Espinhaço.

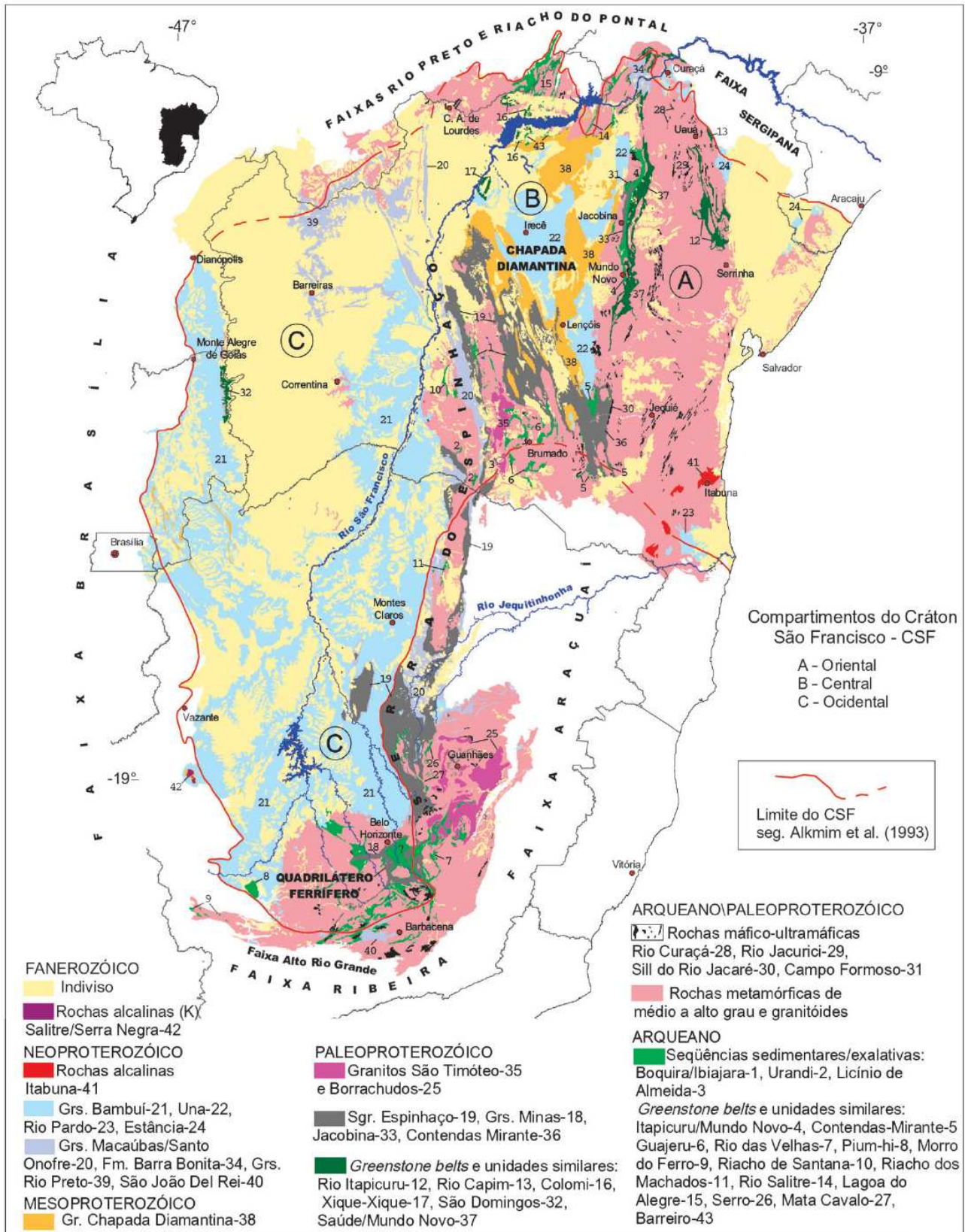


Figura 2 - Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco mostrando a localização do Quadrilátero Ferrífero em sua porção sul (extraído de CPRM – Mapa Geológico 1:2.500.000 - Bizzi et al. 2001).

2.2 COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO

O complexo basal é constituído por rochas de diferentes tipos e idades (Guimarães, 1966; Schorscher, 1988), sendo representado por estruturas de formas aproximadamente dômicas circundadas por seqüências supracrustais. São ortognaisses do tipo tonalito – trondhjemitó – granodiorito (TTG), granitos com intercalações de anfibolitos e rochas metassedimentares (Ladeira, 1980; Schorscher, 1988).

Inicialmente, o complexo foi considerado por Dorr e Barbosa (1963) e Dorr (1969) como constituído por rochas granito-gnáissicas de origem ígnea intrusiva, devido às auréolas de metamorfismo de contato existentes ao redor dos domos graníticos, onde os domos gnáissicos representariam rochas supracrustais granitizadas. Harder e Chamberlin (1915), Schorscher e Guimarães (1976), Almeida (1977) e Ladeira (1980), entre outros, consideram que essas rochas formam a unidade arqueana mais antiga da região.

Schorscher (1982, 1988) divide as rochas do Complexo gnáissico-migmatítico em constituintes primários, compostos de rochas graníticas e constituintes secundários, representados por rochas ígneas metamorfisadas ou não, além de rochas metassedimentares e metassomáticas, predominando, porém, os litotipos graníticos do tipo “Granito Borrachudos”, que é uma suíte granítica intrudida entre 1690 e 1770 Ma.

Atualmente se reconhece que existem porções deste complexo que representam uma crosta mais antiga que serviu de embasamento para a deposição do Supergrupo Rio das Velhas e possível fonte de sedimentos desta unidade (Machado *et al.* 1996).

Segundo Noce (1995), os terrenos granito-gnáissicos constituem o embasamento cristalino com idade variando entre 3380 e 2860 Ma. Embora possam conter granitóides mais recentes, foram as prováveis áreas-fonte para os sedimentos do *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Estes terrenos distribuem-se nos complexos Bonfim, Caeté, Santa Bárbara, Bação e Florestal e ocorrem em contato tectônico com o *Greenstone Belt*, marcados por falhas de cavalgamento e normais (Noce, 1995). O complexo Bonfim, localizado a oeste do Quadrilátero Ferrífero, consiste em gnaisses trondhjemitó a granodioríticos (Figura 3).

O complexo Belo Horizonte, localizado na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, compreende gnaisses predominantemente tonalíticos e localmente graníticos, peraluminosos a metaluminosos. Os complexos Bação e Santa Bárbara são essencialmente constituídos de gnaisses tonalíticos e trondhjemitó. O Complexo Caeté, na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, é de composição granodiorítica (Lobato *et al.* 2001b).

2.3 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

O termo Supergrupo Rio das Velhas foi proposto primeiramente por Loczy & Ladeira (1976) para uma sucessão de rochas metavulcanossedimentares que bordejam os terrenos gnáissicos do Quadrilátero Ferrífero. É representado por uma seqüência de rochas de origem vulcanossedimentar, de idade arqueana, definida por Dorr *et al.* (1957) como Série Rio das Velhas, subdividindo-a nos grupos Nova Lima e Maquiné.

Schorscher (1978) redefiniu uma seqüência de rochas verdes na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, como komatiitos com textura *spinifex*, caracterizando o "*Greenstone Belt*". Posteriormente, Schorscher (1979) caracteriza o denominado Grupo Quebra Osso como unidade inferior do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, elevando-o a Supergrupo.

2.3.1 Grupo Quebra Osso

A existência de um pacote de natureza ultramáfica sotoposto ao Grupo Nova Lima foi constatada por Schorscher (1978), que introduziu uma nova unidade à Série Rio das Velhas, elevando-a à categoria de Supergrupo. Este pacote inferior de rochas foi denominado de "Grupo Quebra Osso" em referência ao local-tipo da seqüência no vale do rio homônimo.

É composto predominantemente de rochas ultramáficas do tipo lavas brechadas e derrames maciços, com textura *spinifex*. Os komatiitos peridotíticos com textura *spinifex*, desta região, possibilitaram a interpretação do Supergrupo Rio das Velhas como sendo uma seqüência vulcanosedimentar do tipo *Greenstone Belt*. Outras evidências foram descritas posteriormente por Ladeira (1981, 1985) e Ladeira (1983).

2.3.2 Grupo Nova Lima

Ladeira (1980) propôs a seguinte subdivisão para o Grupo Nova Lima, da base para o topo, na região de Nova Lima:

a) Unidade Metavulcânica

Composta de serpentinitos, esteatitos, talco xistos, anfibolitos, xistos anfibolíticos, komatiitos metamorfisados, metabasaltos e metatufos.

b) Unidade Metassedimentar Química

Representada por xistos carbonáticos, *metachert*, tipos variados de filitos e várias camadas de formação ferrífera bandada. Esta última unidade foi subdividida em Formação Ferrífera Bandada Raposos e Formação Lapa Seca.

c) Unidade Metassedimentar Clástica

Constituída essencialmente de quartzo filito, quartzito e raros níveis de conglomerado com seixos de quartzo.

Recentemente, Baltazar & Zucchetti (2005) subdividiram o Grupo Nova Lima em associações de litofácies, baseando-se em critérios litoquímicos, petrográficos, observações de campo (Figura 3), além de comparações feitas com outros modelos de associações que estão sendo utilizados em outras partes do mundo (Mueller *et al.* 1989; Eriksson *et al.* 1994; Jackson *et al.* 1994; Lowe 1994, in Baltazar & Zuchetti 2005).

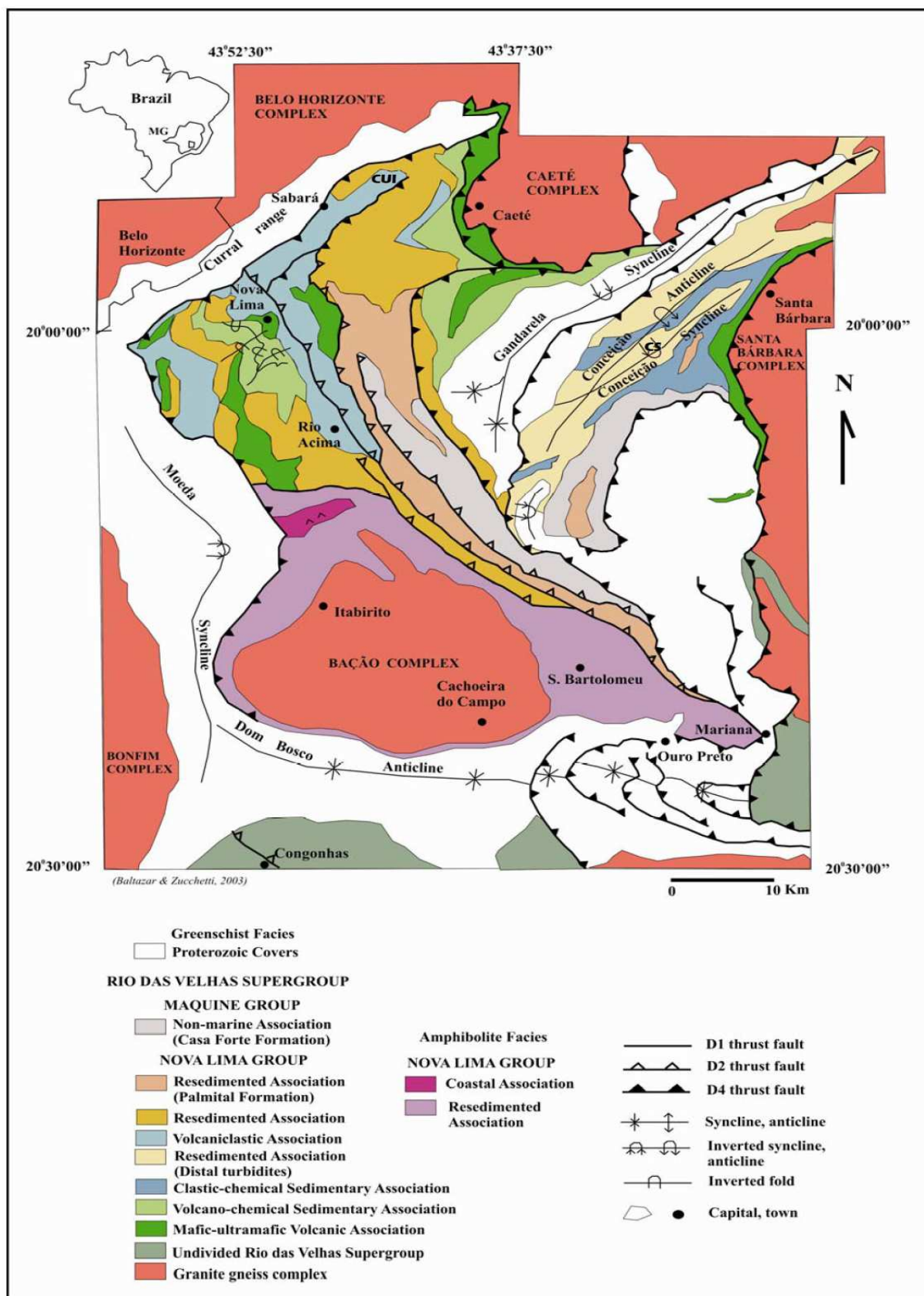


Figura 3 – Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com as subdivisões do Grupo Nova Lima em associações de litofácies, segundo Baltazar e Zuchetti (2005), além das Coberturas Proterozóicas (Supergupo Minas).

Baltazar & Zucchetti (2005) reconhecem 07 (sete) associações de litofácies, assim relacionadas da base para o topo (Figura 4):

- Associação vulcânica máfica-ultramáfica – Esta associação é predominantemente composta por lavas máficas e ultramáficas com intrusões subordinadas de gabro, anortositos e peridotitos, além de intercalações de formações ferríferas, *cherts*, pelitos carbonáticos, turbiditos e rochas vulcanoclásticas félsicas. As lavas ultramáficas são representadas por komatiitos peridotíticos com textura *spinifex*. Basaltos também são dominantes nesta associação com estruturas primárias preservadas, tais como varíolas.
- Associação vulcanossedimentar química – Esta associação é constituída por toleitos intercalados por formações ferríferas bandadas e *cherts* ferruginosos em abundância. Em menor proporção, ocorrem rochas sedimentares clásticas, turbiditos carbonáticos e pelitos.
- Associação sedimentar clástico-química – Esta associação é constituída pela alternância de sedimentos clásticos químicos que se alternam entre si e são intercalados por lentes de *cherts* e formação ferrífera, além de xistos carbonáticos.

Um exemplo típico desta associação é a Formação Ferrífera São Bento rica em magnetita, com variáveis proporções em quartzo, carbonato e níveis de contribuição pelítica com clorita e stilpnomelano (Martins Pereira *et al.* 1995). Estas camadas são de espessuras variáveis, de milimétricas a decimétricas, e geralmente estão intercaladas com níveis de filitos carbonosos de espessuras variáveis.

- Associação vulcanoclástica com quatro litofácies – Esta associação é composta por rochas vulcanoclásticas félsicas e máficas. Lentes subordinadas de dacitos são tectonicamente intercaladas em basaltos. Estes dacitos possuem textura porfírica com plagioclásios eudrais e, em menor quantidade, fenocristais de hornblenda em uma matriz recristalizada de quartzo e plagioclásio, com sericita e clorita orientadas (Zuchetti *et al.* 2000a).

Estas rochas vulcanoclásticas compreendem 4 litofácies: (1) brechas polimíticas e monomíticas, (2) grauvacas-conglomerados, (3) grauvacas-arenitos e (4) grauvacas-argilitos.

- Associação ressedimentada, incluindo três seqüências de grauvacas-argilitos – Esta associação é largamente distribuída no Quadrilátero Ferrífero e ocorre ao norte e leste, metamorfizadas na fácies xisto verde, e no sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, sendo estas últimas metamorfizadas na fácies anfíbolito.

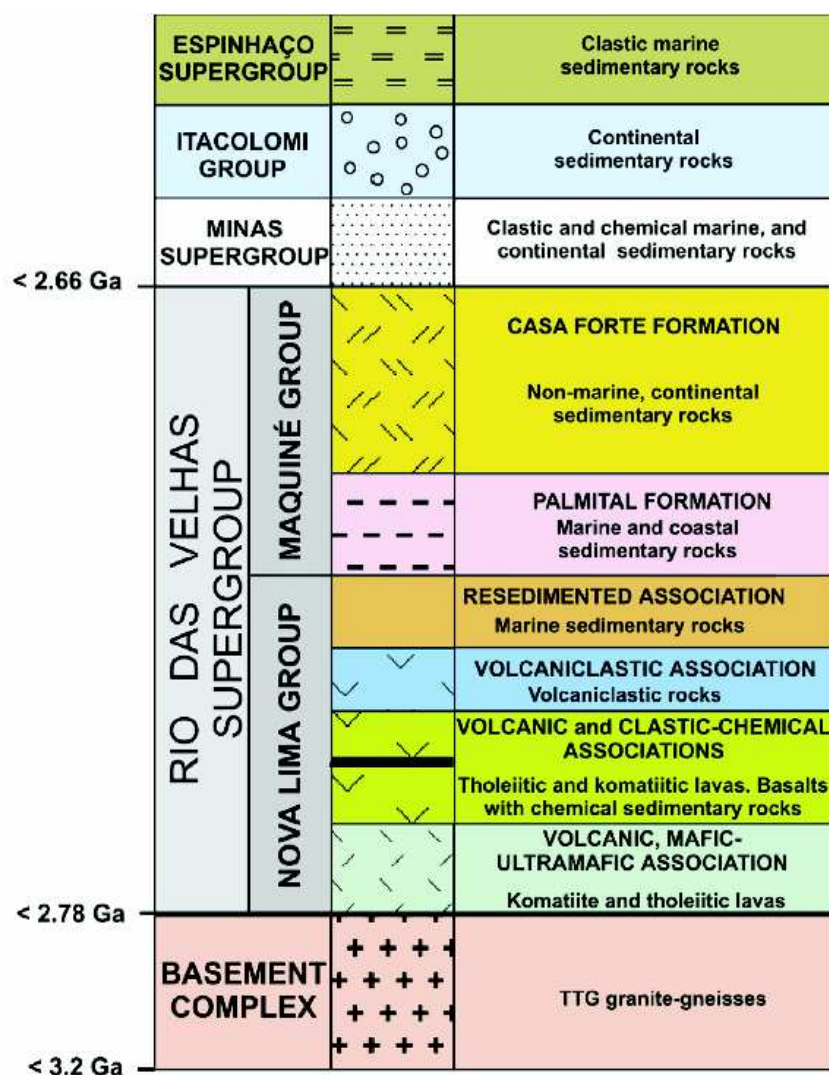


Figura 4 - Coluna estratigráfica idealizada para o Quadrilátero Ferrífero (em Lobato et al. 2001b, adaptado de Baltazar & Zucchetti, 1998).

2.3.2 Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné é diferenciado do Grupo Nova Lima pelo fato de ser muito quartzoso e conglomerático, que faz com que estas rochas fiquem relativamente resistentes à erosão (Dorr, 1969).

Está dividido em duas unidades: a Formação Palmital, representada por conglomerado basal polimictico, quartzito sericítico, quartzito, xistos e filitos; e a Formação Casa Forte, superior, composta por níveis de conglomerados polimícticos, quartzitos cloritizados, com clorita-sericita xistos e filitos, subordinadamente.

O Grupo Maquiné, na concepção de Baltazar & Zucchetti (2005), foi subdividido em duas outras associações:

- Associação costeira com quatro litofácies: arenitos com estratificação de médio a grande porte, arenitos com marcas de onda, arenitos com *herringbone* e estratificações cruzadas, arenito-siltito. Estão restritas a uma pequena área a noroeste do Complexo de Bação.
- Associação não marinha com as seguintes litofácies: conglomerado – arenito, arenito de grosso e arenito fino a médio. Esta associação corresponde à formação Casa Forte (Grupo Maquiné) e ocorre nas porções centro e leste do Quadrilátero Ferrífero.

2.4 SUPERGRUPO MINAS

O Supergrupo Minas é uma seqüência de rochas de origem sedimentar de idade paleoproterozóica (Babinsky *et al.* 1991; Machado *et al.* 1989a). Foi definido por Dorr & Barbosa (1969) e, posteriormente, dividido por Dorr (1969) em três grupos, da base para o topo, a saber: Grupo Tamanduá, com a Formação Cambotas; Grupo Caraça, que inclui as formações Moeda e Batatal; Grupo Itabira, representado pelas formações Cauê e Gandarela; e, finalmente, o Grupo Piracicaba, com as formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões, Barreiro e Sabará.

Em 1973, Pflug & Renger utilizaram pela primeira vez o termo Supergrupo Minas, sustentando sua contemporaneidade com o Supergrupo Espinhaço.

Inda *et al.* (1984) consideram a seguinte divisão para o Supergrupo Minas, da base para o topo: Grupo Caraça, Grupo Itabira, Grupo Piracicaba e Grupo Itacolomi, este último definido por Dorr (1969) como Série Itacolomi.

2.4.1 Grupo Caraça

Este grupo repousa, discordantemente, sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas (Dorr, 1969; Ladeira, 1980) e é dividido em Formação Moeda, inferior, e Formação Batatal, superior. A Formação Moeda é constituída por metaconglomerados, filitos e quartzitos. A Formação Batatal está representada principalmente por filitos sericíticos, com níveis subordinados de formação ferrífera, *metachert* e filito grafitoso.

2.4.2 Grupo Itabira

O Grupo Itabira é constituído pelas formações Cauê, basal, e Gandarela, no topo, sendo o contato da Formação Cauê com a Formação Gandarela gradacional.

A Formação Cauê é a mais importante do ponto de vista econômico, por englobar grandes depósitos de minério de ferro, explorados atualmente por grandes grupos mineradores. É representada predominantemente por uma seqüência composicionalmente variável de itabiritos com lentes de xistos, filitos e margas (Dorr, 1969). A Formação Gandarela é composta de dolomitos, margas, filito dolomítico, dolomitos ferruginoso, itabiritos e xistos tufáceos (Schorscher, 1982).

2.4.3 Grupo Piracicaba

O Grupo Piracicaba se sobrepõe ao Grupo Itabira por meio de uma discordância erosiva ou contato gradacional (Dorr, 1969). Está representado pelas formações Cercadinho, Fêcho do Funil, Taboões e Barreiro.

A Formação Cercadinho é constituída por quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos prateados, filitos dolomíticos e dolomitos. A Formação Fêcho do Funil é constituída por filitos dolomíticos, filitos e dolomitos impuros. A Formação Taboões é constituída essencialmente por ortoquartzitos. A Formação Barreiro é representada por filitos e filitos grafitosos.

2.4.4 Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi é constituído por quartzitos e metaconglomerados em sua porção basal, filitos em uma posição intermediária da seqüência, e quartzito no topo. Vários autores defendem a hipótese de que a posição estratigráfica deste grupo ainda está sem definição. No entanto, Alkimim *et al.* (1988) propõem que o mesmo faça parte do Grupo Tamanduá.

2.4.5 Grupo Sabará

Grupo Sabará (Renger *et al.* 1994), é uma seqüência de 3 – 3,5 km de espessura, composta por xistos, metarenitos, metassiltitos, metaconglomerados, metadiamicctitos, metarritmitos e filitos, cujos protólitos são grauvacas, arenitos, siltitos, conglomerados, diamictitos, ritmitos e pelitos. Foi dividido, nas seguintes sucessões de granocrescência ascendente: conglomerado maciço (fluxo de detritos), diamictito grosso (fluxo de detritos), diamictito fino (fluxo de detritos), grauvara mista (fluxo de massa), grauvara arcossiana (fluxo de massa), arenito tabular (correntes de turbidez), ritmito (correntes de turbidez), silito (estágios finais de correntes de turbidez), pelito (deposição da suspensão) e folhelho negro (deposição da suspensão), depositados em um sistema de leques proximais/leques submarinos/bacia.

O Grupo Sabará representa os depósitos de uma bacia do tipo antepaís relacionada com o Evento Transamazônico. Os clastos presentes nos diamictitos e conglomerados indicam retrabalhamento de seqüências supracrustais e do embasamento (Supergrupo Minas, Supergrupo Rio das Velhas e o embasamento soerguido).

2.5 ESTRUTURAS E TECTÔNICA REGIONAL

Os trabalhos mais recentes a respeito da evolução das estruturas e tectônicas regionais do Quadrilátero Ferrífero ainda fomentam discussões, mas em alguns aspectos estes conceitos apresentam semelhanças.

Desde Dorr (1969), que propôs três grandes períodos de deformação para o Quadrilátero Ferrífero, vários estudos foram desenvolvidos e modelos propostos. Em virtude da evolução dos conceitos sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero, muitos destes trabalhos, tais como os de Dorr (1969), Maxwell (1972) e Ladeira (1980a, b), são considerados históricos.

Baseados nos modelos de análise estrutural dos estilos de dobra e das orientações dos planos axiais das mesmas, Ladeira (1980 a,b) e Ladeira & Viveiros (1984), definem seis eventos deformativos para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas.

Vieira & Oliveira (1988) identificam quatro eventos deformativos no distrito de Nova Lima, sendo o primeiro caracterizado por dobras isoclinais de grande amplitude, originalmente recumbentes, com xistosidade plano-axial (S_1) paralela ao acamamento (S_0). O elemento estrutural S_1 foi preservado apenas localmente, no fechamento destas grandes dobras. A atitude dessa foliação varia em amplo intervalo, de N80W/SW até E-W/N, com maiores mergulhos nos extremos. As lineações L_1 são paralelas ou subparalelas às lineações L_2 do segundo evento. O segundo evento é definido

por dobras menores, também isoclinais, com tendência recumbente e xistosidade plano axial penetrativa (principal). A atitude de S_2 está em torno de $N20^{\circ}-40^{\circ}E/SE$, e as lineações L_2 (de interseção de S_0 com S_2) variam de $S85^{\circ}E$ a $N85^{\circ}E$, na região de Nova Lima. O terceiro evento é caracterizado pela presença local de uma clivagem de fratura, de transposição, não penetrativa, em rochas pouco competentes. Em geral, orienta-se E-W com forte mergulho para norte. A lineação L_3 (interseção de S_3 com S_2) é subparalela a L_2 . Uma clivagem de fratura, notável somente em rochas pouco competentes, medindo cerca de $N10^{\circ}W/SW$, juntamente com uma ondulação suave em S_2 de eixo L_4 quase NS/sub-horizontal, caracteriza o quarto e último evento deformativo.

Marshak & Alkmim (1989) advogam três fases compressivas para o Quadrilátero Ferrífero. A fase D_1 é de idade proterozóica inferior, compressiva e responsável pelos *fold-thrust belts*, zonas de cisalhamento, lineação mineral e pelas grandes estruturas de direção NE-SW que possuem vergência para NW. A segunda fase é de idade proterozóica média, compressiva, responsável pela geração das dobras fechadas com planos E-W a WNW-ESE. O último e terceiro evento D_3 , de idade proterozóica superior, está relacionado a *fold-thrust belts*, zonas de cisalhamento, lineação mineral e vergência de ESE para WNW.

Oliveira & Teixeira (1990) propõem uma tectônica tangencial na região de Caeté e a identificam, com bases geocronológicas, em domínios para-autóctones e alóctones, e que são resultado de dois eventos deformativos Transamazônico e Brasileiro, onde o domínio alóctone teria sido afetado somente pelo evento Brasileiro.

Chemale Junior *et al.* (1993) propõem a compartimentação estrutural do Quadrilátero Ferrífero como o resultado de dois eventos principais. O primeiro deles é caracterizado por uma distensão, de idade Transamazônica (2100 – 1700 Ma) e responsável pela nucleação de sinclinais regionais nas rochas dos supergrupos Rio das Velhas e Minas.

Estes sinclinais estão circundados por granito-gnaisses arqueanos, cujos contatos resultam no desenvolvimento de zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis a dúcteis de caráter distensional, expondo rochas de idade arqueana. O segundo evento é de caráter compressivo e associado ao fechamento de um proto-oceano (650-500 Ma.), situado a leste do Quadrilátero Ferrífero. A principal estrutura gerada durante este evento foi um *fold and thrust belt* de vergência para oeste e que foi responsável pela distensão, translação e rotação das rochas situadas na base dos sinclinais.

Baltazar & Zucchetti (2005) propõem que a evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero (Figura 5) ocorreu em dois períodos: (i) entre 2.800 e 2.670 Ma, e que corresponde à evolução do *Greenstone Belt* Arqueano, e (ii) entre 2.508 e < 130 Ma com a evolução das coberturas proterozóicas e mesozóicas.

1) Evolução do *Greenstone Belt* Arqueano:

- 2.800 a 2.780 Ma: fase distensional com derrame de lava basáltica durante o espalhamento do assoalho oceânico e deposição do ciclo 1.
- 2.780 a 2.760 Ma: início da fase de subducção com presença de vulcanismo félsico e início da deposição do ciclo 2. Evento Rio das Velhas (episódio magmático granítico), com posicionamentos de corpos granodioríticos e tonalíticos no complexo Caeté e Bonfim, respectivamente.
- 2.760 a 2.750 Ma: continuação da fase de subducção com deposição dos arenitos do ciclo 2 em margem continental estável, distantes das zonas de subducção e turbiditos próximos a essas.

- 2.750 a 2.670 Ma: fase de subducção avançada e colisão. Deposição de turbiditos epiclásticos e vulcanoclásticos do ciclo 3 em trincheiras e bacias de retro-arco. Deposição de sedimentos alúvio-fluviais do ciclo 4 em bacias de ante-país durante a colisão. Mineralização aurífera ao longo das zonas de cisalhamento D2. Posicionamento de corpos graníticos e granodioríticos nos complexos Bonfim e Belo Horizonte.
 - 2.600 a 2.575 Ma: posicionamento de corpos graníticos e granodioríticos ao redor do Quadrilátero Ferrífero, representando um último episódio de magmatismo no Arqueano Superior.
- 2) Evolução das coberturas proterozóicas e mesozóicas, segundo Baltazar & Zucchetti (2005):
- 2.580 a 2.050 Ma: distensão crustal no intervalo entre o início da fase *rift* e a deposição dos sedimentos do Supergrupo Minas em margem continental passiva.
 - 2.125 a 2.000 Ma: Orogenia Transamazônica. Tectônica distensional com geração de estruturas D3, relacionadas com a ascensão de batólitos como complexos de núcleo metamórfico.
 - 1.750 a 1.500 Ma: Rifteamento Mesoproterozóico no Cráton do São Francisco com a geração da Bacia do Supergrupo Espinhaço e intrusão de diques máficos.
 - 1.200 a 900 Ma: distensão crustal com abertura do proto-oceano Brasileiro/Pan-Africano.
 - 700 a 500 Ma: Orogênese Brasileira. Geração de estruturas D4, no estilo dobra de empurrão, de E para W.
 - < 130 Ma: tectônica distensional mesozóica com abertura de bacias sedimentares e intrusões de diques básicos.

2.6 METAMORFISMO

A evolução do metamorfismo que afetou as rochas do Quadrilátero Ferrífero ainda é discutível e desperta grande interesse sobre o assunto. Herz (1978) advoga que não há indícios de metamorfismo retrógrado nos xistos e filitos do Grupo Nova Lima e Dorr (1969) define que há um aumento do grau metamórfico de oeste para leste.

Os terrenos granito-gnáissicos apresentam complexa evolução metamórfica exibindo metamorfismo tanto de fácies anfíbolito, como também retrometamorfismo para fácies xisto verde (Herz, 1978; Cordani *et al.* 1980a, Jordt-Evangelista, 1984). Auréolas de contato, em condições de fácies anfibolito estão presentes ao redor dos corpos graníticos e diques máficos que cortam as sequências supracrustais (Herz, 1978 e Jordt, 1985).

Segundo Vieira (1987c) e Vieira & Oliveira (1988), a porção noroeste do Grupo Nova Lima foi afetada por dois eventos de metamorfismo regional de baixo grau (zona da biotita). As paragêneses da zona da granada desenvolveram-se apenas nas zonas de metamorfismo de contato com os diques de metadiabásio.

Schrank *et al.* (1993) descrevem, na região de Caeté, rochas metavulcânicas ultramáficas com textura *spinifex* e caracterizadas pela paragênese com anfibólios (antofilita+tremolita) + plagioclásios (oligoclásio + andesina) + titanita + clinzoisita que, no conjunto, são indicativas da fácies anfíbolito de grau médio.

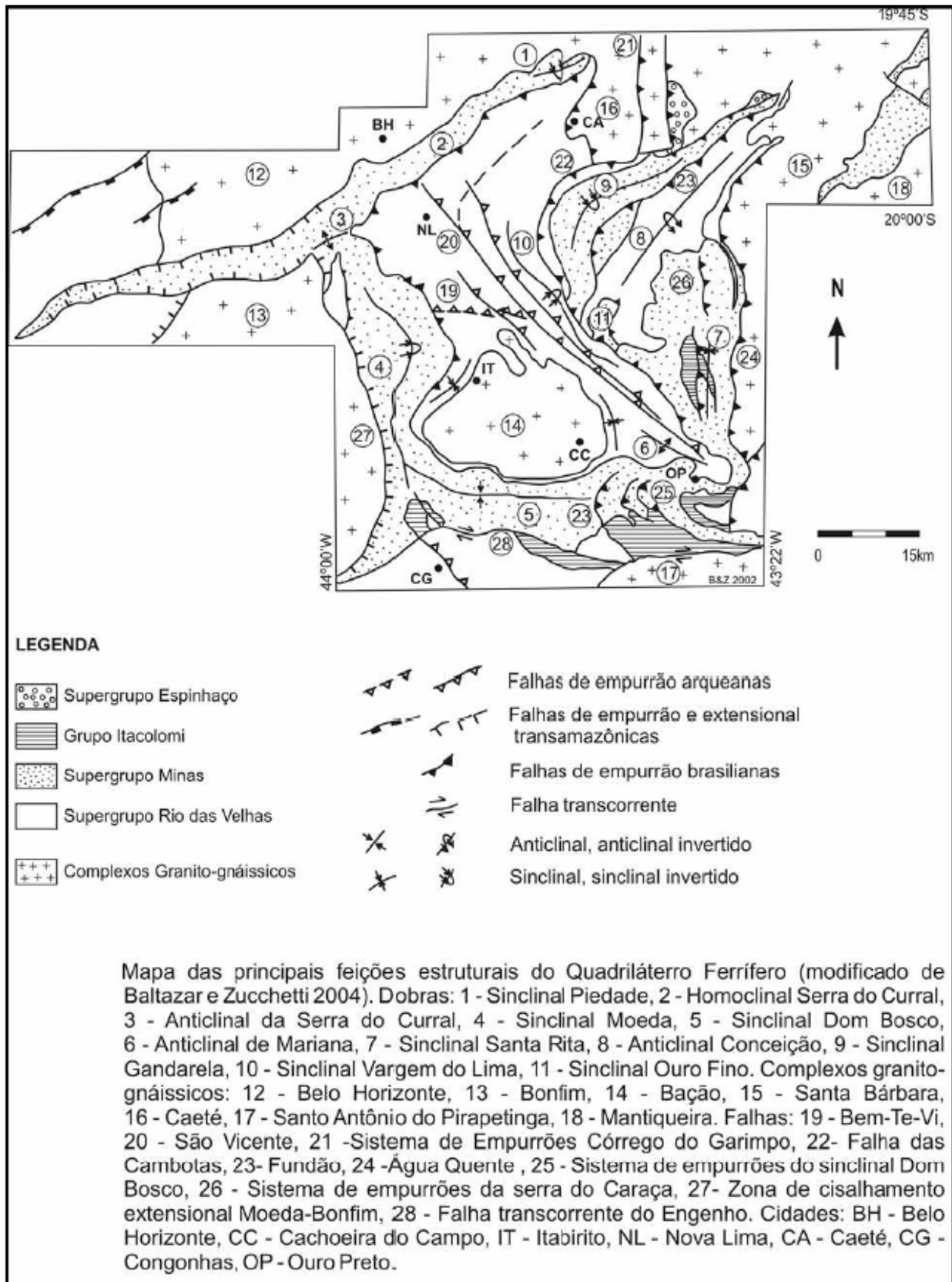


Figura 5 – Quadro resumo das principais feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero (Extraído de Carvalho & Pereira, 2005. Modificado de Baltazar & Zuchetti, 2004).