

# FERTILIZANTES PROVENIENTES DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES DE FOSFATO E DE POTÁSSIO PRÉ-CAMBRIANOS

**Alexandre Uhlein**

Departamento de Geologia e CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais  
*auhlein@gmail.com*

**Carla Sofia de Sousa Marques**

Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais  
*smarques085@gmail.com*

**Gabriel Jubé Uhlein**

Departamento de Geologia e CPMTC, Universidade Federal de Minas Gerais  
*guhlein@gmail.com*

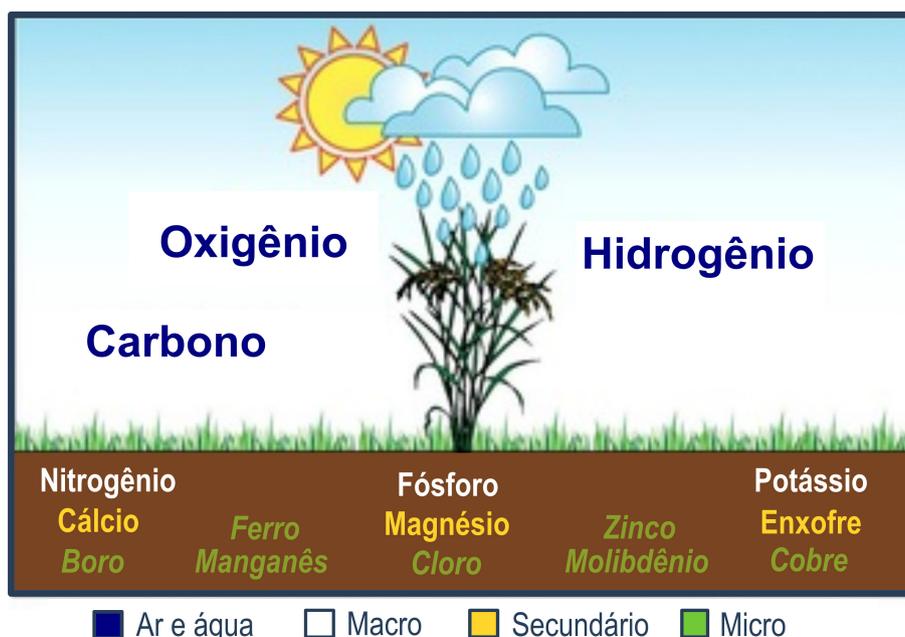
## SUMÁRIO

---

1. ASPECTOS GERAIS DOS MACRONUTRIENTES FÓSFORO E POTÁSSIO .....	1
2. GEOLOGIA DE DEPÓSITOS DE FOSFATO E POTÁSSIO EM MINAS GERAIS.....	3
2.1. INTRODUÇÃO À FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES PRÉ-CAMBRIANOS DE FOSFATO .....	3
2.2. OCORRÊNCIAS DO SUPERGRUPO ESPINHAÇO .....	5
2.3. DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DO GRUPO VAZANTE.....	7
2.3.1. Depósito de Lagamar.....	9
2.3.2. DEPÓSITO DE ROCINHA .....	10
2.3.3. Ocorrência de Ponte Caída.....	11
2.4. DEPÓSITOS E OCORRÊNCIAS DO GRUPO BAMBUÍ .....	12
2.4.1. Fosfato de Quartel São João e Cedro do Abaeté .....	12
2.4.2. Potássio do Centro Oeste de Minas Gerais.....	14
3. ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE AGROMINERAIS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18

# 1. ASPECTOS GERAIS DOS MACRONUTRIENTES FÓSFORO E POTÁSSIO

Os elementos fósforo (P) e o potássio (K) são macronutrientes primários presentes em fertilizantes (Figura 1). Devido às características do solo brasileiro, na sua maioria latossolos (ricos em Fe e Al), estes macronutrientes estão em carência (Abram 2016a). Estes macronutrientes (P, K) concentram-se em substâncias como pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) e óxido de potássio ( $K_2O$ ).



**Figura 1.** 16 nutrientes essenciais para crescimento de uma planta. Fonte: Biozome Micronutrient Fertilizer - Manchem Industries, Inc. 2018.

O fósforo (P) possui concentrações na crosta terrestre que variam de 0,1 a 1% (McDonough & Sun 1995) e seu uso está predominantemente relacionado à indústria de fertilizantes. Esse constitui um elemento fundamental e sem substituto na agroindústria. A apatita,  $Ca_5(PO_4)^3(F,OH,Cl)$ , é a forma mineralógica mais comum do fósforo. A principal aplicação da apatita é na fabricação do ácido fosfórico. É um mineral pouco solúvel, por isso é necessário transformá-lo em produtos que possam liberar fósforo para as plantas. Existe ainda uma infinidade de minerais fosfáticos, especialmente os secundários, como os do grupo da crandalita, dentre outros, mas sem aproveitamento na indústria de fertilizantes (Abram 2016a).

A apatita, principal mineral de fosfato encontrado na crosta terrestre, ocorre em uma ampla variedade de ambientes. É previsível, portanto, que variações na composição química das apatitas relacionem-se ao ambiente da sua formação, seja esse ígneo, metamórfico, sedimentar ou hidrotermal (Mourão 1995). Na maioria dos depósitos sedimentares predominam as variedades carbonato-fluorapatita [ $Ca_5(PO_4,CO_3)^3.(F,OH)$ ] – francolita (McClellan & Kauenbergh 1990).

Com base nos principais processos formadores dessas rochas, destacam-se quatro principais categorias de depósitos de fosfatos: i) Depósitos magmáticos; ii) Depósitos Sedimentares; iii) Depósitos Residuais Meteóricos; iv) Depósitos fosfáticos residuais

soógenos ou tipo Ilha (depósitos de guano) (Abram 2016a). Em Minas Gerais, ocorrem depósitos dos tipos i) e ii). Os depósitos magmáticos do tipo i), ocorrem em corpos alcalino-carbonatíticos bordejando a Bacia do Paraná, na Província Alcalina do Alto Paranaíba, devido ao intenso magmatismo alcalino de idade fanerozoica que ocorreu no final do Cretáceo até ao Paleógeno (Abram 2016b). Este tipo de depósito é abordado neste volume em outro capítulo (Terras Raras). Neste capítulo serão abordados apenas os depósitos do tipo sedimentar (ii), ou seja, concentrações de apatita por meio de sedimentação e principalmente diagênese. Esses são depósitos marinhos representados por fosforitos e rochas fosfáticas de idades pré-cambrianas.

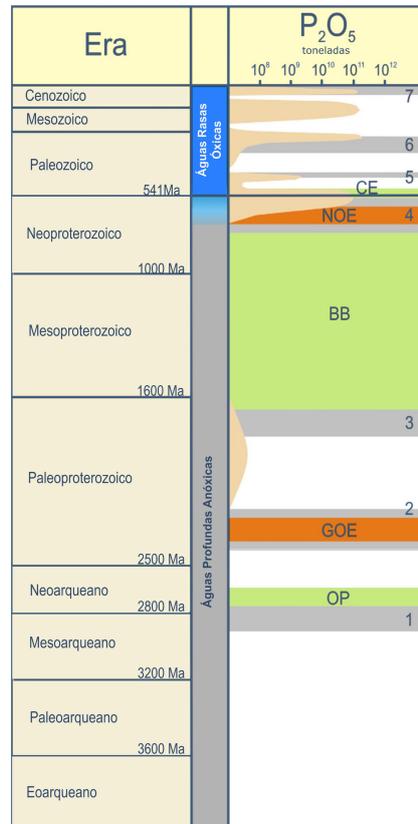
Por sua vez, o potássio (K) está em 7º lugar em abundância na crosta continental terrestre (Brownlow 1996). Geoquimicamente, o potássio é classificado como litófilo, apresentando afinidade com a sílica e, em classificação mais moderna, é chamado de elemento incompatível, uma vez que apresenta raio iônico maior do que os outros elementos constantes nas redes cristalinas dos silicatos (Pomeroi *et al.* 2013). Isto faz com que o potássio seja facilmente mobilizado quando em ambientes de mais alta atividade geológica, tornando possível a ocorrência de concentrações economicamente interessantes. O potássio é encontrado em minerais siliciclásticos formadores de rochas e sedimentos como feldspatos, feldspatoides, micas e argilas, bem como combinado com íons cloreto e sulfato, em sais precipitados naturalmente a partir de soluções saturadas existentes em lagos ou mares. Os depósitos passíveis de exploração de potássio podem ser divididos em três tipos principais: i) Evaporitos; ii) Salmouras; iii) Rochas Sedimentares, ígneas ou metamórficas de composição silicática, destacando-se os depósitos glauconíticos ou verdetes entre as sedimentares/metassedimentares (Kulaif & Góes 2016). Em Minas Gerais, ocorrem os do último tipo (iii) em verdetes do Grupo Bambuí.

## 2. GEOLOGIA DE DEPÓSITOS DE FOSFATO E POTÁSSIO EM MINAS GERAIS

### 2.1. Introdução à formação de depósitos sedimentares pré-cambrianos de fosfato

Fosforitos *strictu sensu* são rochas enriquecidas em fosfato e, apesar de tratarem de valores composicionais arbitrários, muitos autores concordam em contemplar tal denominação rochas sedimentares contendo entre 15-20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Bentor 1980).

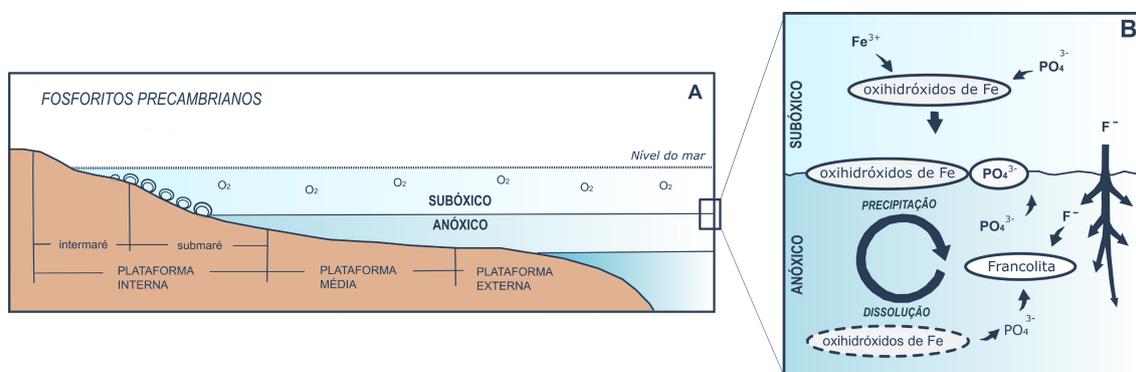
A origem dos fosforitos ainda não é bem compreendida e durante anos têm sido colocadas várias hipóteses para a sua origem, que incluem a influência biológica, química e vulcano-sedimentar (ver revisões em Kazakov 1937 e em Bushinskii 1966 e Cook & Shergold 1990 *In: Papineau 2010*). Kazakov (1937) propôs que a fonte de fósforo nos fosforitos seria da matéria orgânica mineralizada em ambientes marinhos profundos e que massas de água ricas em nutrientes ascendiam às plataformas continentais para formar depósitos de fosfato, acumulando-se em locais de correntes ascendentes costeiras ativas (*upwelling*). Os fosforitos estariam assim associados a transgressões marinhas mundiais e a uma mistura de águas oceânicas profundas anóxicas com águas rasas óxicas (Cook 1992). A fosfogênese, que ocorre em eventos de subida do nível do mar, é, desta forma, um marco estratigráfico para a bacia e/ou um marco global (Figura 2).



**Figura 2.** Distribuição temporal dos fosforitos no mundo, de Drummond *et al.* (2015). Maiores eventos: GOE - Grande Evento de Oxidação; BB - Bilhão Monótono; NOE - Evento de Oxidação do Neoproterozoico; CE - Explosão Cambriana; Números 1 – 7: Glaciações (4: Glaciações Neoproterozoicas, Glaciações Terra Bola de Neve “Snowball Earth”).

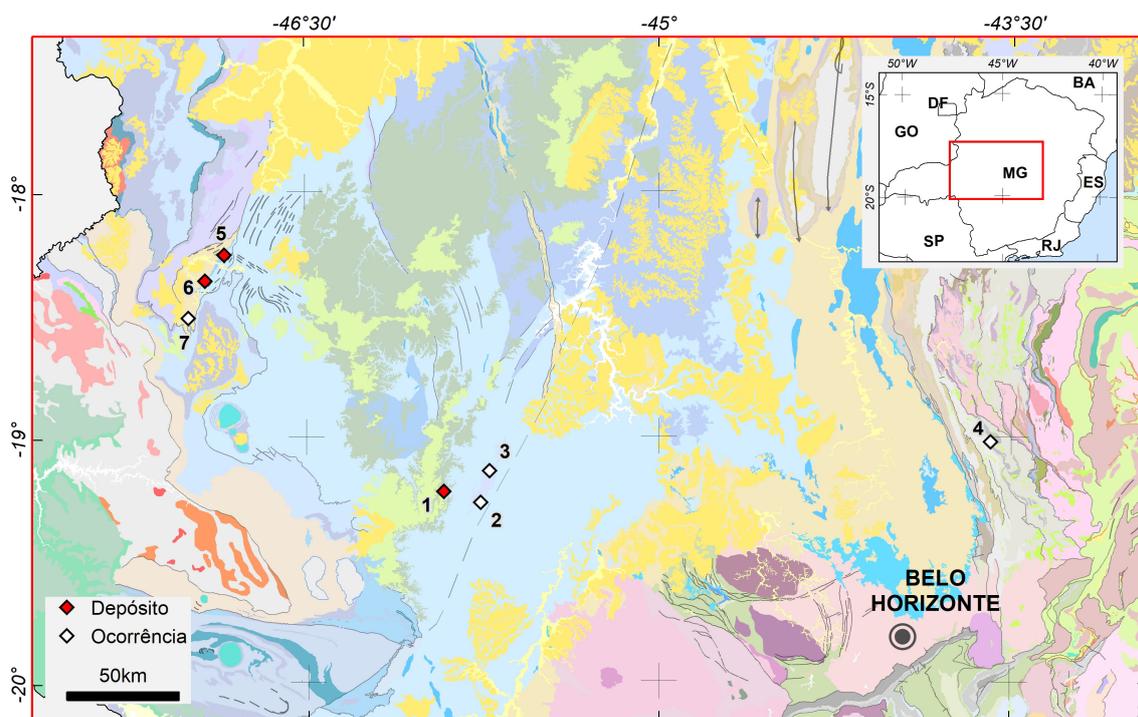
Posteriormente, Föllmi (1996) sugere que estes processos de fosfatização, além de acontecerem por *upwelling* em ambientes marinhos profundos e rasos, poderiam ocorrer também em outras situações como em outros ambientes semi-restritos (por exemplo estuários), em eventos *non-upwelling*, com ocorrência de mais soterramento de matéria orgânica.

No Pré-Cambriano, os fosforitos foram depositados em águas muito rasas em ambientes de margem continental ou mares continentais (Riggs 1986). Esses poderiam ser enriquecidos em fosfato por contribuição bacteriana de ambientes recifais e/ou óxidos de ferro sob condições anóxicas que ajudariam na precipitação de apatitas (Föllmi 1996). Porém, esses fosforitos precambrianos decorrem de processos de fosfogênese associados preferencialmente à liberação do P por sistemas tipo Bombeamento Fe-redox (Nelson *et al.* 2010). Essa fosfogênese ocorreria em mares epicontinentais e plataformas em ambientes de água rasa, onde a precipitação de fluorapatita está relacionada a condições anóxicas, num oceano estratificado e com alguma atividade microbiana associada (Nelson *et al.* 2010) (Figura 3A). Nos processos de Fe-redox próximas às zonas litorâneas com assoalho oceânico subóxico, as fontes de fosfato seriam áreas continentais expostas ao intemperismo também. Zonas mais rasas na plataforma interna, geralmente com estromatólitos, são responsáveis por produção de um ambiente subóxico propício à redução e liberação de P na forma do mineral apatita (Nelson *et al.* 2010). O mineral autigênico é formado ou sofre crescimento secundário no local onde é encontrado e a sua formação ocorre antes do soterramento e consolidação do sedimento no limite do ambiente subóxico com anóxico (Figura 3B). A partir do Ediacarano, foi a atividade biológica que passou a ter papel fundamental nos processos fosfogênicos, pois as águas de fundos oceânicos estão mais oxigenadas (Pufahl 2010).



**Figura 3.** Fosfogênese por bombeamento Fe-redox nas plataformas do Pré-Cambriano (modificado de Nelson *et al.* 2010). **A)** Extensão da fosfogênese na plataforma em um oceano estratificado. **B)** Oxihidróxidos de Fe são levados para a zona abaixo do limite Fe-redox, liberando PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, que passa a fazer parte da composição da água intersticial (inter-poros). A combinação com o carbonato e o flúor da água do mar dará origem à francolita.

Os depósitos e ocorrências abordados neste trabalho (Figura 4) concentram-se em sucessões proterozoicas sedimentares do Cráton do São Francisco e também na Faixa Araçuaí. Essas sucessões sedimentares são constituídas por espessas camadas carbonáticas e siliciclásticas, acumuladas em bacias marinhas intracratônicas (epicontinentais) e/ou em bacias de margem passiva, que bordejam a área cratônica. Formam o Supergrupo Espinhaço e os grupos Bambuí e Vazante, constituindo assim a Bacia do São Francisco (Alkmim & Martins-Neto 2012).



**Figura 4.** Localização dos principais depósitos e ocorrências de fosfato e potássio pré-cambrianos no estado de Minas Gerais. A numeração se refere aos itens da Tabela 1. Mapa geológico modificado de Pinto & Silva 2014.

**Tabela 1.** Principais depósitos e ocorrências de fosfato e potássio Pré-Cambrianos no estado de Minas Gerais.

SUBSTÂNCIA	TOPONÍMIA	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE
1	Potássio	Matutina	-19,226204	-45,915704
2	Fosfato	Quartel São João	-19,271509	-45,758686
3	Fosfato	Cedro do Abaeté	-19,142929	-45,721383
4	Fosfato	Vale do Rio Parauninha, 25 km a oeste de Conceição do Mato Dentro, MG	-19,02027	-43,586972
5	Fosfato	Zona Rural de Lagamar, a sul da cidade.	-18,255475	-46,84246
6	Fosfato	Mina da Rocinha, cerca de 40 km a nordeste de Coromandel.	-18,361981	-46,924871
7	Fosfato	Ponte Caída, no Vale do Ribeirão Santo Antônio do Bonito.	-18,512006	-46,996778

## 2.2. Ocorrências do Supergrupo Espinhaço

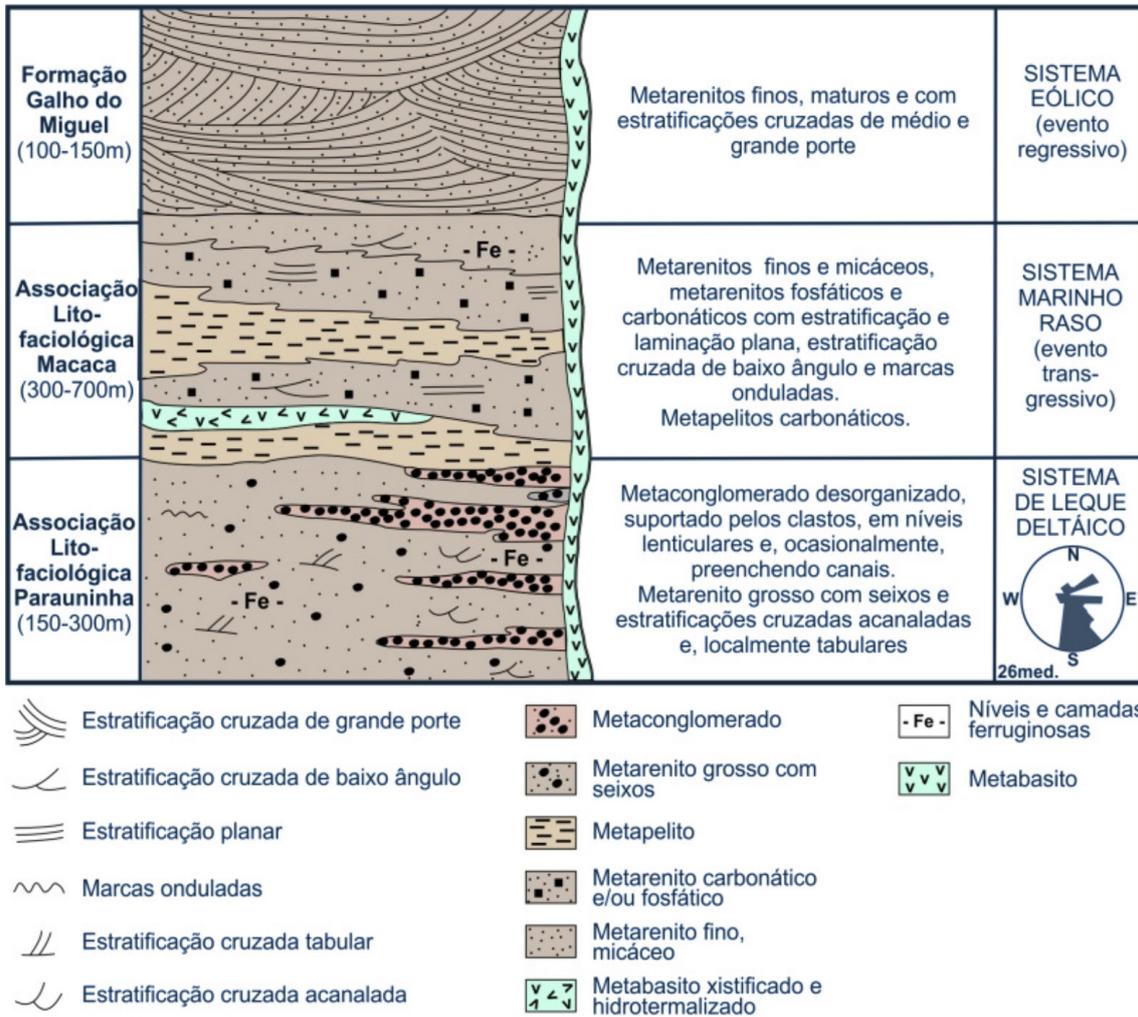
Rochas fosfáticas ocorrem no Supergrupo Espinhaço, na porção centro-sul da Serra do Espinhaço Meridional, 25 km a oeste da cidade de Conceição do Mato Dentro, próximo das localidades de Macaca e Parauninha (Fritzsons Jr. et al. 1990). O depósito mineral foi pesquisado em detalhe pela COMIG, atual CODEMIG, no final da década de 1980, com mapeamento geológico, sondagem, abertura de trincheiras e análises geoquímicas (Fritzsons Jr. et al. 1990).

Nesta região, afloram quartzitos e xistos carbonáticos enriquecidos em apatita, situados na porção superior da Formação Sopa-Brumadinho. Afloram ainda as formações

São João da Chapada e Galho do Miguel, mostrando dobras de eixo N-S, xistosidade e falhas de empurrão NW, indicando transporte tectônico para oeste.

Esta sedimentação fosfática está relacionada a um importante evento transgressivo na bacia Espinhaço. Os fosforitos da Formação Sopa-Brumadinho, aflorantes em Conceição do Mato Dentro, mostram semelhança geoquímica com fosforitos marinhos (Mourão 1995).

Os fosforitos do Supergrupo Espinhaço afloram numa faixa orientada N20W, com cerca de 80 km de comprimento por 10 km de largura, na região centro-sul da Serra do Espinhaço. Nesta região afloram rochas do Complexo Basal (rochas granito-gnáissicas) e rochas das Formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel. A Formação Sopa-Brumadinho foi dividida em duas sequências, com metaconglomerados polimíticos e quartzitos na base e com quartzitos micáceos e xistos com apatita no topo (Figura 5).



**Figura 5.** Coluna estratigráfica da região de Conceição do Mato Dentro, Formação Sopa Brumadinho de Mourão 1995 In: Abram 2016b.

Os metaconglomerados tem espessura de alguns metros, são suportados pelos clastos, cuja composição é predominantemente de quartzitos, quartzo, formação ferrífera e jaspelitos, em matriz arenosa e/ou hematítica. Os quartzitos intercalados mostram frequentes estratificações cruzadas.

A sequência de topo é constituída por quartzitos micáceos, quartzitos puros subordinados e sericita xistos ou sericita-quartzo xistos, frequentemente enriquecidos em

carbonatos e apatita. As litofácies descritas da sequência superior sugerem sedimentação de ambiente marinho raso (plataformal) segundo Mourão (1995). Esta sequência pode atingir espessuras de 500 metros segundo Fritzsos Jr. *et al.* (1990). Na sequência de topo ocorrem até quatro horizontes mineralizados em fosfato, com cerca de até 12 metros de espessura. Estes horizontes mostram enriquecimento de apatita disseminada ou então concentrada em lâminas. Os teores são geralmente baixos, atingindo, em média, 4%, mas teores máximos de 12% foram assinalados por Fritzsos Jr. *et al.* (1990).

Quartzitos e xistos enriquecidos em apatitas apresentam feldspatos potássicos (microclina), carbonatos (calcita e dolomita), com minerais acessórios como turmalina, zircão, rutilo, titanita e opacos. Dois grupos distintos de apatitas foram identificados por Mourão (1995): apatitas euédricas e subédricas em agregados ou dispersas e apatitas subédricas associadas a vênulas quartzo-carbonatos-feldspáticas. Foi reconhecido como mineral de fosfato predominante a flúor-hidroxiapatita. Em níveis superficiais do depósito foram identificados ainda fosfatos de alumínio e ferro, devido a ação do intemperismo. Rochas metabásicas hidrotermalizadas afloram na região e também em furos de sondagem e mostram transformação metamórfica para flogopita-talco xistos. Geoquimicamente mostram semelhanças com metabasitos intrusivos neoproterozóicos (diques máficos), muito frequentes no Espinhaço Meridional.

Durante a evolução do Rifte Espinhaço (Mesoproterozoico, 1,2 bilhão de anos atrás), ocorreu inicialmente sedimentação continental e um importante evento transgressivo, com sedimentação de arenitos, lamitos e folhelhos enriquecidos em apatita sedimentar. Nesse ambiente marinho plataformal, em fases de redução de aporte detrítico, houve enriquecimento em fosfato, com sedimentação de apatita e carbonatos disseminados nos sedimentos siliciclásticos.

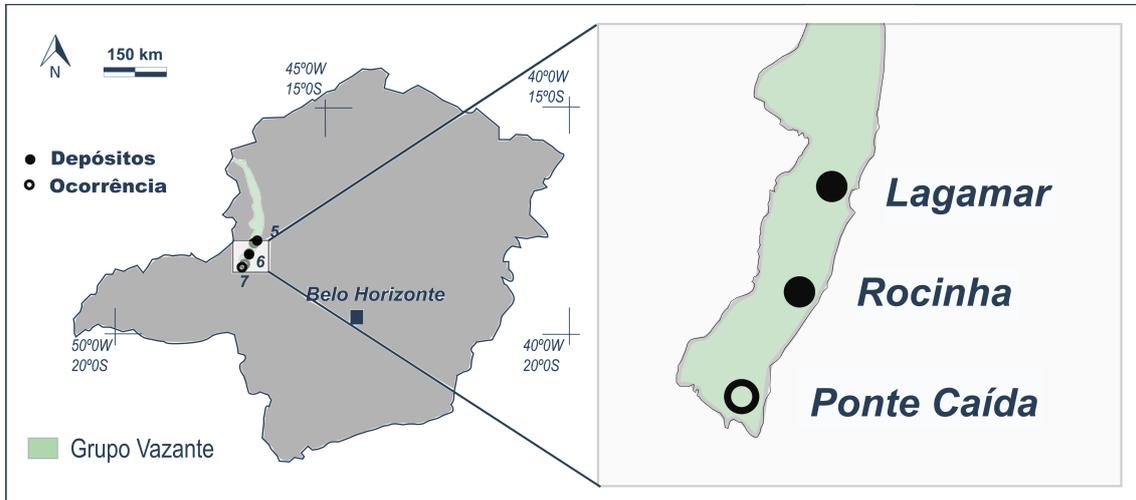
### 2.3. Depósitos e ocorrências do Grupo Vazante

O Grupo Vazante (Dardenne *et al.* 1998) é uma sucessão pelítico-carbonática na zona de transição entre o Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramento Brasília, no lado oeste do estado de Minas Gerais. As formações deste grupo geralmente mergulham para SW e o seu empilhamento estratigráfico está invertido por falhas inversas, colocando formações mais antigas sobre formações mais jovens (Dardenne 2000).

Apesar dos inúmeros estudos efetuados nesta unidade, ainda não existe consenso sobre a idade e correlação com outras sucessões proterozoicas. O Grupo Vazante pode ser correlacionável com o Grupo Paranoá, ou Grupo Bambuí, tendo assim idade meso-neoproterozoica (Fuck *et al.* 2005, Pimentel *et al.* 2011, Rodrigues *et al.* 2012, Geboy *et al.* 2013). Misi *et al.* (2014) dividem o Grupo Vazante em duas unidades distintas, isto é, as formações a oeste da Falha de Lagamar como Mesoproterozoico, e as formações a leste, com idade Neoproterozoica.

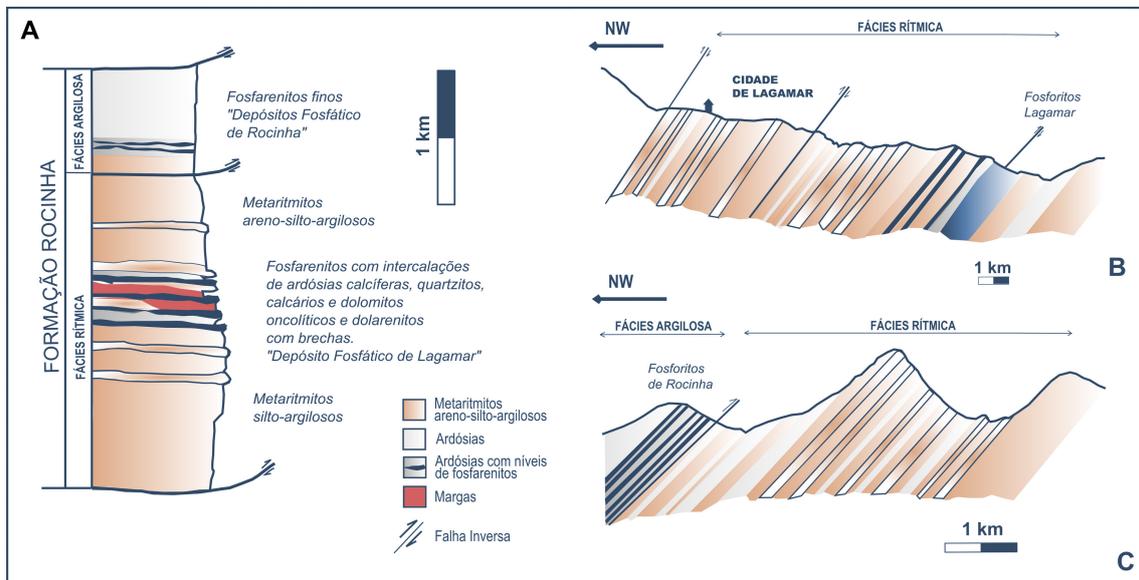
Quanto às lentes enriquecidas em fosfato neste grupo, localizam-se na porção sul da unidade Grupo Vazante (Figura 6), alojados na Formação Rocinha. Nogueira (1993) e Rocha-Araújo *et al.* (1992) em seus trabalhos pioneiros, consideravam estas rochas inseridas numa borda de plataforma em margem passiva de idade Mesoproterozoica. Dados

geocronológicos de zircão detrítico de *Rodrigues et al. (2012)* mostraram uma fonte sedimentar de idade neoproterozoica na Formação Rocinha. Recentemente, foram reinterpretadas como pertencentes ao Grupo Bambuí, Formação Serra de Santa Helena (*Signorelli et al. no prelo*).



**Figura 6.** Localização dos depósitos e ocorrências na porção sul do Grupo Vazante. Os números se referem aos da Tabela 1.

A Formação Rocinha (ver coluna da Figura 7A) é constituída pelas Fácies Rítmica e Argilosa. A Fácies Rítmica engloba os metarritmitos ocorrentes na região de Lagamar (Figura 7B). É constituída por intercalações entre níveis fosfareníticos, ardósias rosadas (quando intemperizadas), metassiltitos róseos e quartzitos finos a médios, de coloração esbranquiçada.



**Figura 7.** Membro Rocinha (atual Formação Rocinha), modificado de *Nogueira (1993)*. **A)** Coluna estratigráfica com posicionamento dos níveis fosfáticos na Fácies rítmica e argilosa. **B)** Perfil do Depósito Lagamar. **C)** Perfil do Depósito Rocinha.

Esses litotipos combinam-se em várias proporções, formando metarritmitos mais argilosos a mais arenosos. A Fácies Argilosa é composta por ardósias laminadas negras e

calcíferas que, quando intemperizadas, adquirem uma coloração rosada, englobando um horizonte com intercalações de fosfarenitos mais finos. Nessa fácies, os fosforitos constituem o depósito de Rocinha (Figura 7C). O acamamento plano-paralelo é bem evidente e constitui a feição primária fundamental. As camadas fosfáticas encontram-se dobradas, com desenvolvimento de foliação de superfície axial nas rochas mais finas e clivagens espaçadas nas rochas mais competentes, além da presença de falhamentos. Os falhamentos regionais afetam as rochas fosfáticas provocando a sua incipiente milonitização (Nogueira 1993, Sanches 2012).

Esses depósitos formaram-se possivelmente contemporaneamente na mesma plataforma irregular, em períodos de transgressão. A forma como se desenvolveu cada um depende sobretudo da paleogeografia, onde Lagamar seria uma área da plataforma mais protegida e Rocinha mais profunda e aberta. A paleogeografia da plataforma também influenciou o seu soterramento. Os principais processos atuantes na gênese dos fosforitos seriam *upwelling* (ressurgência) e o Bombeamento de Fe-Redox.

### 2.3.1. Depósito de Lagamar

A substância aqui explorada é  $P_2O_5$ . Este depósito caracteriza-se por metarritmitos (Fosfoarenitos) e metassiltitos (Fosfolutitos) da Formação Rocinha, enriquecidos em carbonato-fluorapatita com teores de  $P_2O_5$  de 10-15%, localmente atingindo teores de 38% nos níveis arenosos (Nogueira 1993). O depósito possui 5 Mt (CPRM 1976), explorado pela empresa Galvani Fertilizantes, estando próximo de estar exaurido. Localiza-se na área rural de Lagamar (Latitude -18,255475; Longitude -46,842460), a sul da cidade. É depósito de mina ativo.

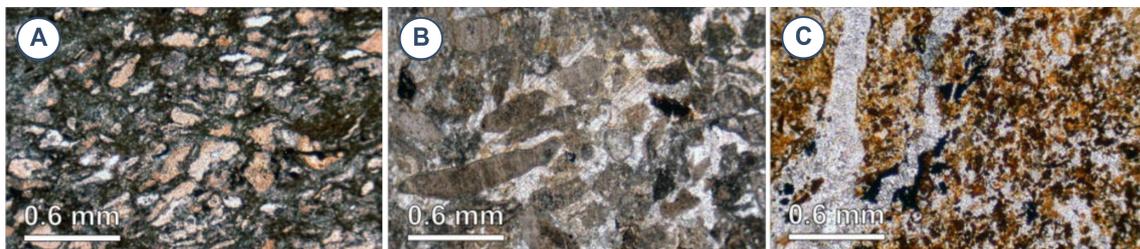
A rocha hospedeira são metarritmitos predominantemente arenosos (fosfoarenitos), com 200 a 300 m de espessura (Nogueira 1993). Esses metarritmitos são constituídos por intercalações de níveis arenosos (mais escuros e ricos em fosfointraclastos) e níveis pelíticos (Figura 8). A mina encontra-se instalada em local de maior concentração das camadas de fosfarenitos, cujos bancos arenosos são de dimensões centimétricas. Abaixo do depósito, as rochas encaixantes são ardósias carbonosas e carbonáticas (Nogueira 1993). O minério apresenta-se estratiforme, disseminado e granular. O fosfato está presente como grãos, grânulos e intraclastos.



**Figura 8.** Depósito de Lagamar: amostra de mão de fosforito (Marques *et al.* 2015). Fosforitos com fluorapatita encaixam-se em ritmitos sobrepostos a ardósias carbonosas e carbonáticas, intensamente microdobrados.

Quanto aos seus processos de alteração, estes dão-se por diagênese (autigênicos), metamórfico/hidrotermal e por intemperismo/pedogênico. O depósito é explorado por frente de lavra em bancadas em mina a céu aberto.

Nogueira (1993) distinguiu 2 grupos distintos de fosforitos, um composto por carbonato-fluorapatita criptocristalina, denominado de grupo dos fosforitos puros, e outro constituído por uma combinação de fosfointraclastos e calcita microcristalina, denominado de grupo dos fosforitos calcíticos (rochas negras plano acamadadas). O Fosforito Puro aparece em siltitos acamadados lenticulares, microbialmente laminados, ricos em quartzo, contêm abundantes peloides *in situ* que se precipitaram autigenicamente dentro de um sedimento em acumulação. Fosforitos calcíticos são camadas de arenito de granulometria fina, ricos em carbonato, gradado, espessamente laminado e finamente acamadado com abundantes peloides fosfáticos transportados, derivados de fácies *pristine* (intensa alteração de Si) (Pufahl *et al.* 2016) (Figura 9).



**Figura 9.** Fotomicrografia de fosforitos do Depósito de Lagamar (Pufahl *et al.* 2016): **A)** Fácies fosforito puro. Abundantes peloides fosfáticos *in situ* (cor de mel-marron) com trama ajustada, indicando que crescimento autigênico foi interrompido por peloides adjacentes. Grãos de quartzo subangulares, de tamanho silte, também presentes. Nicóis paralelos. **B)** Fácies fosforito retrabalhado (*Pristine*), granular. Intraclastos fosfáticos em cimento de calcita maciça. Nicóis paralelos. **C)** Fácies fosforito puro. Trama silicificada coagulada e peloidal. Veios de quartzo que cortam transversalmente essa trama estão preenchidos com quartzo em drusa. Nicóis paralelos.

### 2.3.2. Depósito de Rocinha

A substância explorável é  $P_2O_5$ . Este depósito possui volume 415 Mt (Albuquerque & Giannerini 1981). Explorado pela Vale Fertilizantes e vendida em 2018 para a Mosaic Fertilizantes, atualmente em situação inativa. Conhecido como mina da Rocinha (Latitude - 18,361981; Longitude -46,924871), situa-se a cerca de 40 km a nordeste de Coromandel, no Município de Patos de Minas.

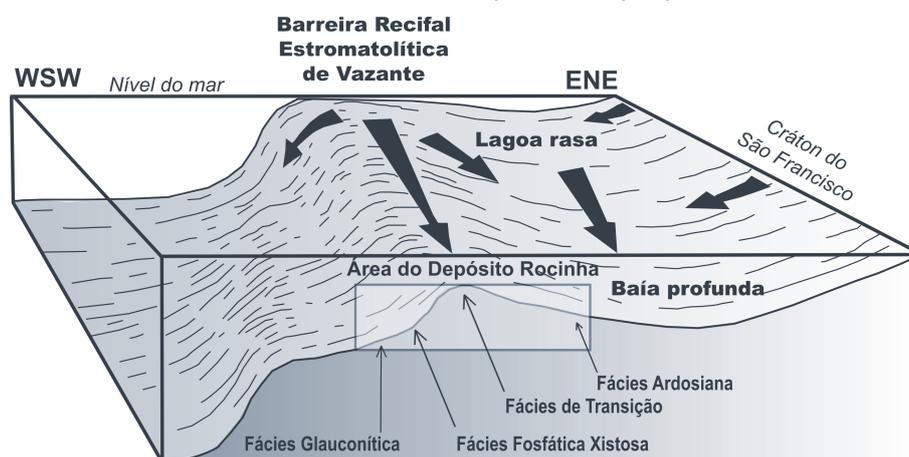
O Depósito da Rocinha ocorre em metarritmitos (Fosfoarenitos) e metassiltitos (Fosfolutitos) da Formação Rocinha, enriquecidos em carbonato-fluorapatita com teores de  $P_2O_5$  de 10-15%, localmente atingindo teores em torno de 30% nos níveis arenosos (Rocha-Araújo *et al.* 1992). Esses metarritmitos são predominantemente argilosos (Fosfolutitos) (Nogueira 1993), com 25 a 30 m de espessura com níveis escuros arenosos centimétricos enriquecidos em apatita em grãos, *pellets* e intraclastos (Figura 10A). Essa apatita é do tipo carbonato-fluorapatita pobre em F e  $CO_2$ , onde F foi parcialmente substituído por  $OH^-$  durante a orogênese brasileira (Rocha-Araújo *et al.* 1992). Abaixo do depósito ocorrem ardósias pretas (Rocha-Araújo *et al.* 1992).



**Figura 10.** Depósito da Rocinha: **A)** Lentes arenosas escuras ricas em fosfato. **B)** Visada para as bancadas de lavra. (Fotos em outubro de 2016).

O seu processo de alteração passou pela diagênese (autigênicos) metamorfismo/hidrotermalismo e processos intempéricos/pedogênicos. Sua exploração era feita por frente de lavra em mina a céu aberto (Figura 10B).

Estudos realizados por Rocha-Araújo (1988), propõem uma nova sucessão litoestratigráfica onde quatro fácies litoestratigráficas são reconhecidas: ardósias, transição, xistos fosfáticos e xistos glauconíticos. Essas fácies refletiriam uma transição gradual de uma sedimentação detrítica em ambiente anóxico (ardósias) para uma sedimentação química indo de dentro da bacia (carbonatos, fosfatos e glauconitas) em direção ao mar aberto localizado mais a oeste ou sudoeste (Figura 11). De acordo com Rocha-Araújo *et al.* (1992), a relação entre estas quatro fácies contemporâneas indica uma transição lateral, ao longo da borda externa da plataforma, de deposição terrígena (Fácies ardosiana), em um ambiente sedimentar redutor, para sedimentação onde a influência marinha (mar aberto) é dominante (Fácies Glauconítica). A fosfogênese se dá na mudança da Fácies de Transição para a Fácies Fosfática Xistosa e Glauconítica (ambiente raso para rampa profunda e calma).

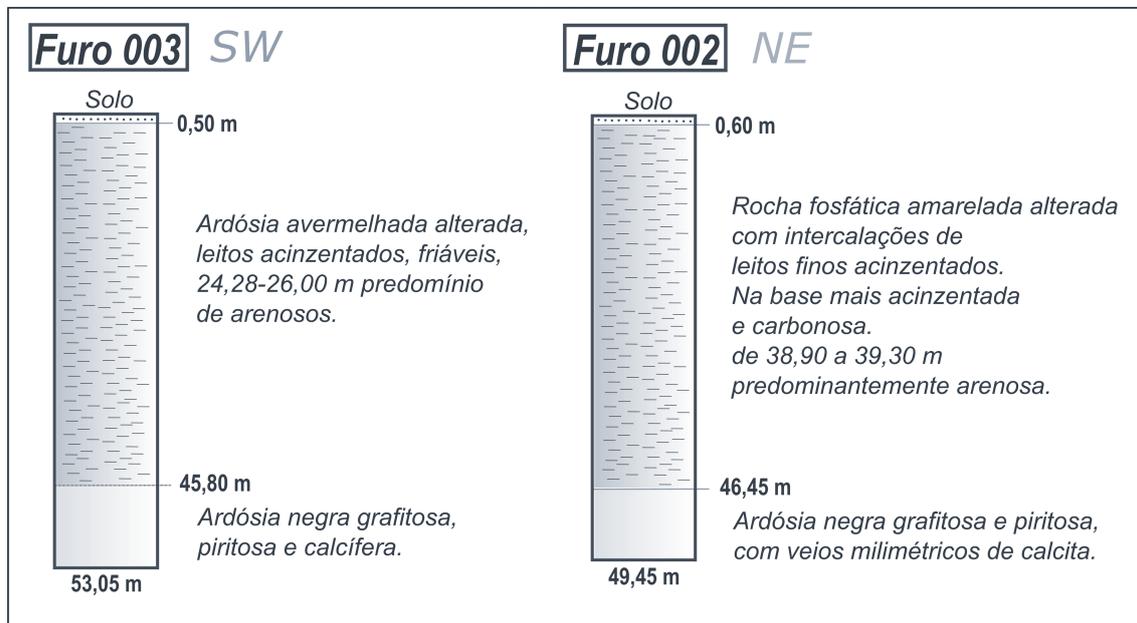


**Figura 11.** Bloco diagrama com a disposição quatro fácies contemporâneas para o Depósito da Rocinha (modificado de Rocha-Araújo *et al.* 1992).

### 2.3.3. Ocorrência de Ponte Caída

Ponte Caída situa-se no Vale do Ribeirão Santo Antônio do Bonito, a leste de Coromandel (Latitude -18,512006; Longitude -46,996778). É uma ocorrência de  $P_2O_5$  ainda não explorada. Um furo de sondagem do Projeto CPRM (furo 002) na área designada por Dardenne (2000) como Ponte Caída, indica teores máximo de 11,1% aos 16 m de

profundidade, podendo chegar até 20,6% em níveis centimétricos em outros furos (CPRM 1979). Essas ocorrências são em rochas da Formação Rocinha enriquecidas em apatita com espessura de aproximadamente 45 m, descritas como rocha fosfática argilosa amarelada alterada, com intercalações de leitos finos acinzentados, e alguns níveis predominantemente arenosos (CPRM 1979). Abaixo da rocha hospedeira, há ardósias negras grafitosas e piritosas, por vezes calcíferas (CPRM 1979) (Figura 12).



**Figura 12.** Ocorrência Ponte Caída e resumo simplificado dos furos de sondagem 002 e 003 (a sudoeste de 002) (CPRM 1979).

## 2.4. Depósitos e ocorrências do Grupo Bambuí

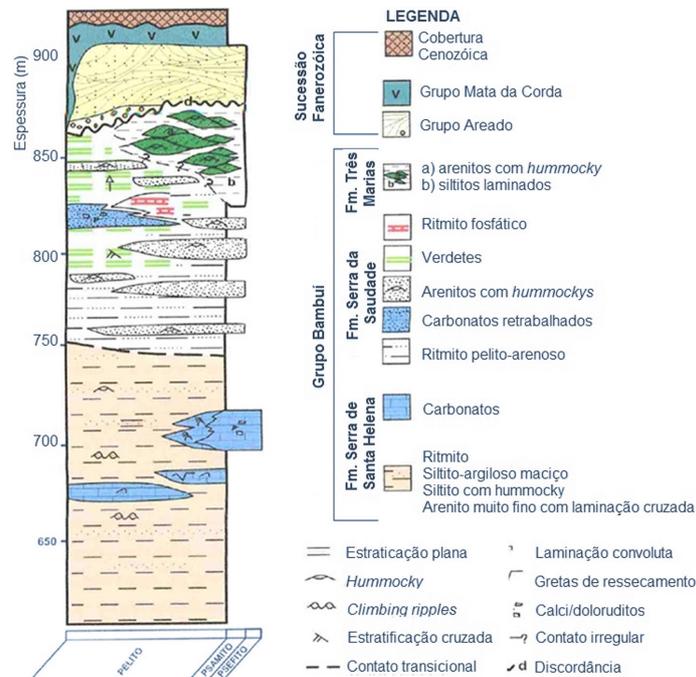
### 2.4.1. Fosfato de Quartel São João e Cedro do Abaeté

Ritmitos fosfáticos ocorrem no Grupo Bambuí (do final do Neoproterozoico) nas proximidades do município de Cedro do Abaeté e do povoado de Quartel São João (distrito de Quartel Geral), no centro oeste do estado de Minas Gerais. As localidades distam aproximadamente 270 km de Belo Horizonte, no sentido NW.

Na região afloram siltitos, ritmitos e arenitos da Formação Serra da Saudade (Grupo Bambuí) levemente dobrados e com vergência que indica transporte tectônico de oeste para leste (Figura 13).

Os depósitos fosfáticos foram estudados principalmente por *Chaves et al. (1971)*, com produção de mapas geológicos de detalhe e relatório técnico sobre ocorrências fosfáticas nessa região. *Lima (2005)* e *Lima et al. (2007)* também são responsáveis por investigar a mineralogia e gênese desses depósitos.

Associados a siltitos do Grupo Bambuí, ocorrem ritmitos fosfáticos com teores de  $P_2O_5$  entre 3 e 16,5% (teor médio de 8%). Esses ritmitos afloram como corpos estratiformes, descontínuos em mapa e concordantes com o acamamento dobrado, perfazendo lentes alongadas na direção norte-sul (*Chaves et al. 1971, Lima et al. 2007*).



**Figura 13.** Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí na região da Serra da Saudade e adjacências. Notar ritmitos fosfáticos na porção superior da Formação Serra da Saudade (Lima 2005).

O ritmito fosfático comumente apresenta intercalações de lâminas claras e escuras (Figura 14). As lâminas claras são ricas em caolinita e wavellita ( $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$ ), ambos minerais supergênicos formados a partir do intemperismo de níveis ricos em fluorapatita (Lima *et al.* 2007). Chaves *et al.* (1971) mostraram que partes das rochas enriquecidas por fosfato secundário estão associadas a zonas de charneira de anticlinais, orientados segundo N-S, pois nessas zonas as rochas apresentam uma maior intensidade de estruturas de deformação dútil, o que facilitaria a remobilização e a precipitação desses fosfatos secundários.



**Figura 14.** Ritmito areno-pelítico fosfatado. Fosfato sedimentar intemperizado está concentrado nos níveis mais claros. As lâminas escuras são ricas em óxidos de manganês (Lima *et al.* 2007).

Lima *et al.* (2007) descreve a gênese dos depósitos fosfáticos do Grupo Bambuí em quatro fases distintas, a saber:

- 1) precipitação do mineral fosfático primário (francolita) em plataforma continental de baixa energia e em zona de ressurgência de macronutrientes, como o fósforo;
- 2) erosão e retrabalhamento dos minerais fosfáticos primários, a partir da ação de ondas e correntes, até o sítio deposicional final;
- 3) alteração diagenética parcial de francolitas para apatitas e fluorapatitas;
- 4) alteração intempérica dos minerais fosfáticos autigênicos pré-existentes e posterior geração de fosfato de alumínio hidratado (wavellita).

O fosfato do Grupo Bambuí pode ser caracterizado como uma ocorrência mineral localizada, descontínua e com teores de  $P_2O_5$  variáveis, não possuindo, assim, registro de exploração econômica desse bem mineral.

#### 2.4.2. Potássio do Centro Oeste de Minas Gerais

Siltitos e ritmitos verdes ricos em potássio ocorrem em uma vasta região do centro oeste de Minas Gerais, sendo importante ocorrência nos municípios de Dores do Indaiá, Quartel Geral, Cedro do Abaeté, Abaeté, Matutina e São Gotardo. A região dista aproximadamente 250 km de Belo Horizonte, sentido noroeste. A mineralogia e gênese dos depósitos de potássio do Grupo Bambuí foram estudados principalmente por Lima (2005), Moreira (2015) e Moreira *et al.* (2016).

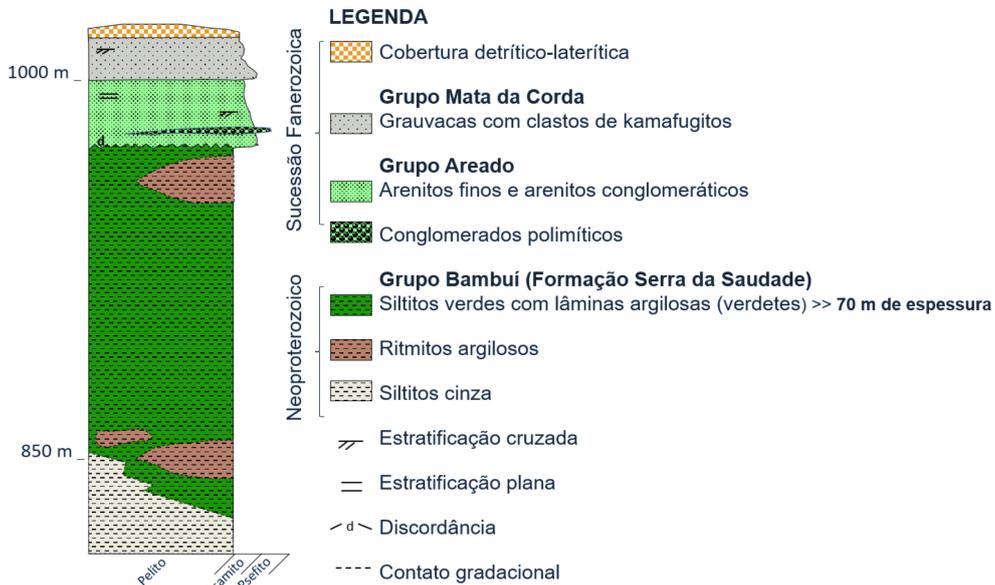
Os siltitos e ritmitos esverdeados (informalmente chamados “verdetes”) estão litoestratigraficamente posicionados na Formação Serra da Saudade do Grupo Bambuí (final do Neoproterozoico). Associados a esses verdetes ocorrem também ritmitos silto-argilosos e silto-arenosos (localmente ferruginosos), arenitos finos a médios e raras rochas carbonáticas. Seus teores de  $K_2O$  variam entre 5 e 12%, com média em torno de 9% (Ackroyd *et al.* 2014, Moreira *et al.* 2016). Estratificações planas e cruzadas, marcas onduladas simétricas e estratificações cruzadas do tipo *hummocky* são comuns em arenitos intercalados aos verdetes.

No centro oeste de Minas Gerais, as rochas do Grupo Bambuí ocorrem comumente em dobras assimétricas de eixo norte-sul e vergência para leste.

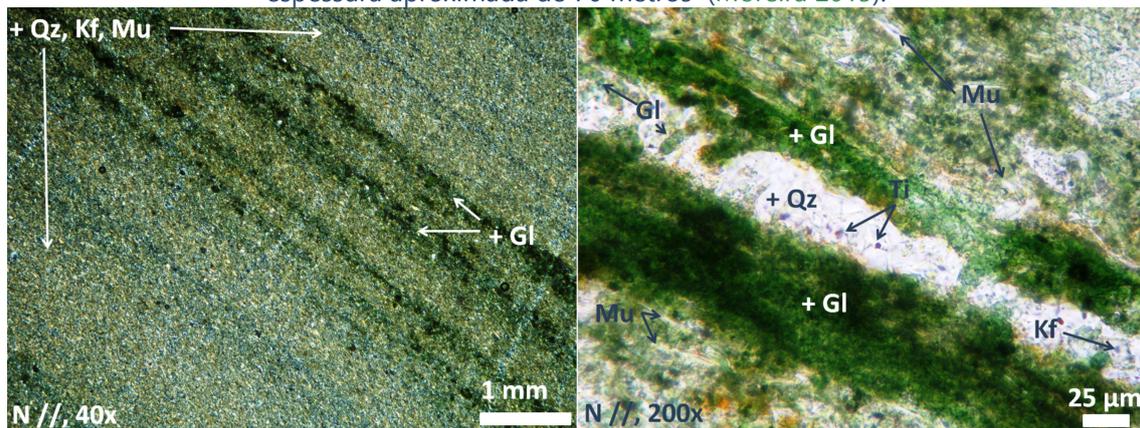
Os verdetes apresentam espessura média de 70 m na região de São Gotardo (Figura 15) e são bastante homogêneos, com raras intercalações de ritmitos argilosos (Moreira 2015, Moreira *et al.* 2016). Predominam siltitos de granulometria fina, geralmente laminados, alternando com níveis mais maciços. Localmente ocorrem siltitos verdes com lâminas de argilito verde escuro.

Em lâmina delgada, a laminação é definida pela alternância de níveis argilosos, de cor verde escura, ricos no mineral glauconita e níveis sílticos, em tons mais claros de verde, com predomínio de minerais detríticos (Moreira *et al.* 2016, Figura 16). A glauconita ocorre na fração argila, formando a matriz, e como grãos placoides de até 25  $\mu m$ , concentrada principalmente nas porções mais argilosas, nas quais a cor verde é mais acentuada. Sendo a

glaucônita um argilomineral rico em potássio, as lâminas e finas camadas argilosas de coloração verde escuro são as mais ricas em  $K_2O$ , podendo atingir teores de até 12%. A mineralogia do verdete foi definida por microscopia ótica convencional, DRX, MEV e microsonda eletrônica a partir dos trabalhos de [Moreira \(2015\)](#) e [Moreira et al. \(2016\)](#).



**Figura 15.** Coluna estratigráfica da região de São Gotardo. Siltitos verdes ricos em potássio possuem espessura aproximada de 70 metros ([Moreira 2015](#)).



**Figura 16.** Microscopia ótica dos verdetes. Qz: quartzo, Kf: feldspato potássico, Mu: mica branca, Gl: glaucônita, Ti: minerais acessórios. Notar lâminas argilosas de coloração verde escuro ricas em glaucônita ([Moreira et al. 2016](#)).

Rochas glaucôníticas são rotineiramente associadas a superfícies de máxima inundação durante evento transgressivo ([Amorosi 1995](#)). Assim, segundo [Moreira et al. \(2016\)](#), considerando a relevância dos níveis glaucôníticos, o verdete pode estar associado a uma superfície de inundação máxima desenvolvida no topo da Formação Serra da Saudade. Nesse contexto, poderia ter ocorrido sedimentação de siltitos ricos em minerais argilosos (talvez illita) durante evento transgressivo. Esses sedimentos ricos em illita teriam sido modificados durante a diagênese, a partir do processo da dissolução de minerais argilosos precursores e progressiva cristalização de glaucônita.

Os verdetes constituem um depósito de potássio sedimentar, ainda não explorado no centro oeste de Minas Gerais, com potencial para se tornar uma importante fonte de fertilizantes no futuro.

### 3. ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE AGROMINERAIS

---

O agronegócio tem uma grande participação no PIB nacional, por isso deve ser olhado como uma estratégia importante para a economia brasileira. O Brasil é o 4º maior consumidor mundial, principalmente de fertilizantes fosfatados, e não os hidrogenados, devido às características dos seus solos. Para além disto, o consumo de fertilizantes aumentou bastante até 2010, devido à produção agrícola. No entanto, outro grande consumidor deste tipo de fertilizantes, os biocombustíveis, entrou em declínio (Abram 2016a).

Este setor no Brasil é feito principalmente por um oligopólio de empresas multinacionais, tais como Bunge Co (origem holandesa com sede nos EUA), a Yara/Trevo (Norueguesa) e a Mosaic/Cargill (EUA). Algumas dessas possuem ações de empresas brasileiras, como o caso da Yara, que detem 60% da Galvani (Galvani 2018).

Segundo dados do USGS (2014), as reservas mundiais de fosfato são da ordem de 67 bilhões de toneladas e estão associadas a depósitos de origem sedimentar (em torno de 85% da oferta mundial), ígnea (próximo de 15%) e biogenética (menos que 1%). Nos panoramas mundiais de fosfato, o Brasil está em 12º lugar (com 315.000 Mt) como reserva e em 6º como produtor (6.715 Mt) (USGS 2014).

As maiores reservas brasileiras ocorrem em rochas ígneas alcalino-carbonatíticas e mantos de intemperismo associados (com fator de enriquecimento de 3 a 4 vezes maior que no primário). Nesse caso, com teores médios variando entre 4 e 15% de  $P_2O_5$ , de mineralogia mais complexa, com baixo grau de uniformidade, resultando em um aproveitamento industrial mais complexo e, conseqüentemente, mais custoso. Por este motivo, o preço médio brasileiro de fosfato é relativamente elevado (Souza & Fonseca 2009). O fosfato de depósitos de origem magmática é proveniente da Província Alcalina do Alto Paranaíba, Província da Serra do Mar, Província do Arco de Ponta Grossa e Província Alcalina de Goiás. Os depósitos e ocorrências de Minas Gerais pertencem à Província Alcalina do Alto do Paranaíba, a oeste no estado. Esses são: Serra Negra/Salitre (908 Mt de volume e 5 a 11% de teor), Tapira (987 Mt de volume e 7% teor), Araxá (560 Mt de volume e 15% de teor) e Mata da Corda (520 Mt de volume e 3,5% de teor, não explorado) (Abram 2016a).

Comparando os depósitos do Brasil de origem magmática com os depósitos sedimentares, os de origem sedimentar representam cerca de 20% destas reservas totais de fosfato nacional. Apesar deste número menor de reservas, os seus teores de  $P_2O_5$  são maiores, destacando-se a nível nacional os depósitos neoproterozoicos de Rocinha e Lagamar (Minas Gerais), Campos Belos/Arrais (norte de Goiás/sul de Tocantins) e Irecê (Bahia) (Abram 2016a).

A extração mineral de fosfato nas jazidas brasileiras é totalmente mecanizada e a céu aberto, em cava, com bancadas de altura variável e o desmonte feito por explosivos ou retroescavadeira. O processamento de beneficiamento de minérios fosfáticos compreende, normalmente, a britagem (primária, secundária e até terciária, por vezes), estocagem e homogeneização, moagem primária e separação magnética de baixo campo, moagem

secundária e classificação, deslamagem e, finalmente, concentração por flotação e espessamento (Luz & Lins 2005).

Em relação ao potássio, a produção mundial em 2016 totalizou 39 Mt, inferior em 4% a do ano anterior. Os maiores produtores foram o Canadá (25,6%), Rússia (16,7%), Bielorrússia (16,4%), China (15,9%) e Alemanha (8%). O Brasil produziu 0,77% do total mundial. Os maiores consumidores mundiais de potássio fertilizante ( $K_2O$ ) foram o bloco econômico Leste da Ásia (38,7%), América Latina, Caribe (20,3%) e China (15,3%). Em 2016, a produção nacional de potássio (concentrado  $K_2O$ ), restrita às operações da Vale no Complexo Mina/Usina de Taquari/Vassouras, no estado do Sergipe, foi de 300 kt com acréscimo de 4% em relação ao ano anterior (DNPM 2017).

A legislação brasileira para os fertilizantes superfosfatados simples, bem como outras normas para a comercialização de agrominerais na indústria de fertilizantes, podem ser encontrados na Lei nº 6894 (Brasil 1980), bem como suas sucessivas atualizações (MA 2018).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abram M.B. 2016a. Fosfato no Brasil. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G. (orgs.). *Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. p. 96-115.
- Abram M.B. 2016b. Principais avanços no conhecimento de fosfato no Brasil considerando o período 2010-2015. In: Abram M.B., Cunha I.A., Almeida R.C. (orgs.). *Projeto Fosfato Brasil - Parte II*, CPRM. p. 27-108.
- Ackroyd B., Guzman C., Chow W. 2014. Pre-Feasibility Study, Cerrado Verde ThermoPotash Project, Minas Gerais State, Brazil. NI 43-101 Technical Report, 260 p.
- Albuquerque G.S.C. & Giannerini J.F. 1981. *Phosphate: New research areas for Brazil: Natl. Mtg., Phosphate Rock*, 2º ed., Brasília, Brazil, Instituto Brasil Fosfato, não publicado. 16 p.
- 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**(1):127-139. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2011.08.011
- Amorosi A. 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. *Journal of Sedimentary Research*, **65**(4b):419-425. doi: 10.1306/D4268275-2B26-11D7-8648000102C1865D
- Bentor Y.K. 1980. Phosphorites - The Unsolved Problems. In: Bentor Y.K. *Marine Phosphorites—Geochemistry, Occurrence, Genesis*. SEPM Society for Sedimentary Geology, **29**:3-18. doi: 10.2110/pec.80.29.0003
- Biozome Micronutrient Fertilizer - Manchem Industries, Inc. 2018. Disponível em <http://biozomeph.weebly.com/blogs--resources>. Acesso em 23/3/2018.
- Brasil. 1980. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.
- Brownlow A.H. 1996. *Geochemistry*. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2ª ed., 580 p. ISBN: 0133982726
- Chaves A.G., Hieneck C.A., Tavares W.P. 1971. *Projeto Fosfato de Cedro do Abaeté*. Relatório técnico, CPRM, 96 p.
- Cook P.J. 1992. Phosphogenesis around the Proterozoic-Phanerozoic transition. *Journal of the Geological Society, London*, **149**(4):615-620. doi: 10.1144/gsjgs.149.4.0615
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1976. *Projeto Patos de Minas: relatório final de pesquisa*. Belo Horizonte. v. 2, 78 p.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1979. *Projeto Coromandel CPRM*. Boletim de Sondagens e Análises, v. 2, 166 p.
- Dardenne M.A., Trompette R., Magalhães L.F., Soares L.A. 1986. Proterozoic and Cambrian Phosphorites - regional review: Brazil. In: Cook P.J. & Shergold J.H. (eds.). *Phosphate deposits of the world: Proterozoic and Cambrian phosphorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. v.1, p. 116-131. ISBN: 9780521619219.
- Dardenne M.A., Freitas-Silva F.H., Souza J.C.F., Campos J.E.G. 1998. Evolução tectono-sedimentar do Grupo Vazante no contexto da Faixa de Dobramentos Brasília. In: 40º Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, *Anais...*, p. 26.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília fold belt. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*, 31º International Geological Congress, Rio de Janeiro. p. 231-264.
- DNPM - Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2017. *Anuário estatístico do Setor de Transformação de não-metálicos*. 90 p.
- Drummond J.B.R., Pufahl P.K., Porto C.G., Carvalho M. 2015. Neoproterozoic peritidal phosphorite from the Sete Lagoas Formation (Brazil) and the Precambrian phosphorus cycle. *Sedimentology*, **62**(7):1978-2008. doi: 10.1111/sed.12214

- Föllmi K.B. 1996. The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth-Science Reviews*, **40**(1-2):55-124. doi: 10.1016/0012-8252(95)00049-6
- Fritzsos Jr. O., Nassif M.A., Silva A.C. 1990. *Relatório de situação dos trabalhos de pesquisa mineral para fosfato, Conceição do Mato Dentro*. COMIG, Relatório Interno, 122 p. (inédito).
- Fuck R.A., Pimentel M.M., Soares J.E., Dantas, E.L. 2005. Compartimentação da Faixa Brasília. *In: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia, Anais...* p. 26-27.
- Galvani Fertilizantes. 2018. Disponível em <http://www.galvani.ind.br/sobre/sobre-joint-venture.html>. Acesso em 1/3/2018.
- Geboy N.J., Kaufman A.J., Walker R.J., Misi A., Oliveira T.F., Miller K.E., Azmy K., Kendall B., Poulton S.W. 2013. Re-Os age constraints and new observations of Proterozoic glacial deposits in the Vazante Group, Brazil. *Precambrian Research*, **238**:199–213. doi: 10.1016/j.precamres.2013.10.010
- Kazakov A.V. 1937. The phosphorite facies and the genesis of phosphorites. *In: Himmelfarb B.M., Kazakov A.V., Kurman I.M. (eds.). Geological Investigations of Agricultural Ores*. Moscow, p. 95–113.
- Kulaif Y. & Góes A.M. 2016. Potássio no Brasil. *In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G. (orgs.). Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. p. 84-85.
- Lima O.N.B. 2005. *Grupo Bambuí: estratigrafia regional no Alto Rio São Francisco e geologia dos depósitos fosfáticos da Serra da Saudade – MG*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 142 p.
- Lima O.N.B., Uhlein A., Britto W. 2007. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(4-supl.):204-215. doi: 10.25249/0375-7536.200737S4204215.
- Luz A.B. & Lins F.A.F. (eds.). 2005. Rochas & Minerais Industriais - Usos e Especificações. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 1ª ed., 727 p.
- MA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 1980. LEI Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.
- Marques C.S.S., Uhlein A., Oliveira G.D., Uhlein G.J., Sial A.N., Alvarenga C.J.S. 2015. Geologia e quimioestratigrafia isotópica do Grupo Vazante em Lagamar (MG). *Geonomos*, **23**(1):26-41. doi: 10.18285/geonomos.v23i1.659
- McClellan G.H. & Kauwenberg S.J. 1990. Mineralogy of sedimentary apatites. *In: Notholt A.J.G. & Jarvis I. (eds.). Phosphorite research and development. Geological Society, London, Special Publications*, **52**:23-31. doi: 10.1144/GSL.SP.1990.052.01.03
- McDonough W.F. & Sun S.S. 1995. The composition of the earth. *Chemical Geology*, **120**(3-4):223-253. doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-4
- Misi A., Azmy K., Kaufman A.J., Oliveira T.F., Sanches A.L., Oliveira G.D. 2014. Review of the geological and geochronological framework of the Vazante sequence, Minas Gerais, Brazil: Implications to metallogenic and phosphogenic models. *Ore Geology Reviews*, **63**:76–90. doi: 10.1016/j.oregeorev.2014.05.002
- Moreira D.S. 2015. *Estratigrafia, petrografia e mineralização de potássio em siltitos verdes (verdetes) do Grupo Bambuí na região de São Gotardo, Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 125 p.
- Moreira D.S., Uhlein A., Fernandes M.L.S., Mizusaki A.M., Galéry R., Delbem I.D. 2016. Estratigrafia, petrografia e mineralização de potássio em siltitos verdes do Grupo Bambuí na região de São Gotardo, Minas Gerais. *Geociências*, **35**(2):157-171.
- Mourão M.A.A. 1995. *A unidade fosfática da Formação Sopa-Brumadinho, Supergrupo Espinhaço (região de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais): petrografia, geoquímica e considerações genéticas*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.

- Nelson G.J., Pufahl P.K., Hiatt E.E. 2010. Paleooceanographic constraints on Precambrian phosphorite accumulation, Baraga Group, Michigan, USA. *Sedimentary Geology*, **226**(1-4):9-21. doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.02.001
- Nogueira G.M.S. 1993. *Enquadramento estratigráfico, sedimentologia e evolução geoquímica do depósito fosfático de Lagamar, MG – Formação Vazante – Proterozóico Médio*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 134 p.
- Papineau D. 2010. Global biogeochemical changes at both ends of the Proterozoic: insights from phosphorites. *Astrobiology*, **10**(2):165-181. doi: 10.1089/ast.2009.0360
- Pimentel M.M., Rodrigues J.B., DellaGiustina M.E.S, Junges S., Matteini M., Armstrong R. 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, **31**(4):345-357. doi: 10.1016/j.jsames.2011.02.011
- Pinto C.P. & Silva M.A. 2014. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000*. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, CODEMIG e Serviço Geológico do Brasil, CPRM.
- Pomerol C., Lagabrielle Y., Renard M., Guillot S. 2013. *Princípios de Geologia: técnicas, modelos e teorias*. 14ª ed., Bookman. Porto Alegre. 1052 p. ISBN: 9788565837750
- Pufahl P.K. 2010. Bioelemental Sediments – Chapter 20. In: James N.P. & Dalrymple R.W. (eds.). *Facies models 4*. Canada: Geological Association of Canada. p. 477-503.
- Pufahl P., Abram M.B., Moraes Filho J.C., Brilhante J.R., Porto C.G., Pinho J.M.M. 2016. Correlação preliminar de rochas sedimentares fosfáticas do Grupo Bambuí, Bacia do São Francisco, nas regiões de Campos Belos nos Estados de Tocantins/Goiás e Lagamar, em Minas Gerais. In: Abram M.B., Cunha I.A., Almeida R.C. (orgs.). *Projeto Fosfato Brasil - Parte II*. CPRM. p. 606-620.
- Riggs S.R. 1986. Proterozoic and Cambrian phosphorites - Specialist studies: Phosphogenesis and its relationship to exploration for Proterozoic and Cambrian Phosphorites. In: Cook P.J. & Shergold J.H. (eds.). *Phosphate deposits of the world: Proterozoic and Cambrian phosphorites*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. v. 1, p. 352-368. ISBN: 9780521619219
- Rocha-Araújo P.R. 1988. *Les Phosphorites D'age Proterozoïque Moyen de Rocinha (Minas Gerais, Brésil): Genèse et évolution d'un gisement de phosphate tectonisé et métamorphisé au Brésilien (≈600 Ma)*. Thèse de doctorat, Université de Droit, D'aix Marseille. 232 p.
- Rocha-Araújo P.R., Flicoteaux R., Parron C., Trompette R. 1992. Phosphorites of Rocinha mine; Patos de Minas (Minas Gerais, Brazil): genesis and evolution of a middle Proterozoic deposit tectonized by Brasiliano Orogeny. *Economic Geology*, **87**(2):332-351. doi: 10.2113/gsecongeo.87.2.332
- Rodrigues J.B., Pimentel M.M., Buhn B., Matteini M., Dardenne M.A., Alvarenga C.J.S., Armstrong R.A. 2012. Provenance of the Vazante Group: New U-Pb, Sm-Nd, Lu-Hf isotopic data and implications for the tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt. *Gondwana Research*, **21**(2-3):439-450. doi: 10.1016/j.gr.2011.07.017
- Sanches A.L. 2012. *Fosforitos Neoproterozóicos dos Grupos Vazante (MG) e Una (BA): Origem, Idades e Correlações*. Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, 158 p.
- Signorelli N., Pinho J.M.M., Tuller M.P., Baptista M.C., Brito D.C. (org.). *Relatório do Projeto Paracatu-Vazante I - Escala 1:100.000*. BH: CPRM. Programa Geologia Brasil, (no prelo).
- Souza A.E. & Fonseca D.S. 2009. Fosfato. In: Rodrigues A.F.S. (coord.). *Economia Mineral do Brasil*. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, p. 546-568.
- USGS - United States Geological Survey. 2014. *Phosphate Rock Statistic and Information*. Reston, U.S. Geological Survey. Disponível em [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\\_rock/](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/). Acesso em 23/3/2018.