

Mineralogia e geoquímica dos elementos do grupo da platina (EGP) nas rochas gabróicas de Candua, Libolo, Angola.

Mineralogy and geochemistry of the platinum-group elements (pge) in gabbroic rocks from Candua, Libolo, Angola

Paulo Francisco Aguiar¹, António Olímpio Gonçalves¹, Marc Campeny Crego², Miguel Bondo³, Eduardo Filemon¹

¹Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro n.º 71, Número de contribuinte 7101005232, Luanda, Angola, email: aguiapaulo@hotmail.com, tonygoncalves72@hotmail.com.

²Museu de Ciências Naturais de Barcelona, Passeig Picasso s/n 08003 Barcelona, Spain.

³Instituto Geológico de Angola (IGEO), Centralidade do Kilamba, igeo@netangola.com.

CITAR COMO:

Aguiar, P. F., A. O. Gonçalves, M. C. Crego, M. Bondo, et al. Mineralogia e geoquímica dos elementos do grupo da platina (EGP) nas rochas gabróicas de Candua, Libolo, Angola. Revista Angolana de Geociências, 2021, 2(1), p. 242-250.

INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 16/10/2020

Aceite: 23/01/2021

*Autor para

correspondência: Paulo Francisco Aguiar (e-mail: aguiapaulo@hotmail.com)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflitos de interesses

Resumo: As rochas gabróicas de Candua, Libolo, são massivas, essencialmente mesocratas, já que os seus M' (índice de cor) situa-se entre 45,7 a 48,8 (portanto no intervalo 35% a 65%), e mostram texturas cumuláticas com plagioclase, clinopiroxenas, anfíbolos, ortopiroxenas, e biotite. São compostas por gabros, doleritos e gabros piroxénico-hornebléndicos, e altos teores de Al_2O_3 (peraluminosa), teores de TiO_2 de moderado a alto, teores baixos de alcalinos (Na_2O+K_2O), e teores médios Fe_2O_3 , sendo classificadas como gabros subalcalinos toleíticos. Apresentam teores altos de Al_2O_3 (peraluminosa) (variando de 10,46% a 17,01%), teores de TiO_2 de moderado a alto (de 0,53% a 1,97%), teores baixos de alcalinos (Na_2O+K_2O) (variando de 0,49% a 9,06%), e teores médios Fe_2O_3 (variando de 6,03% a 20,41%), sendo classificadas como subalcalinas toleíticas. As correlações positivas entre os EGP (Pd versus Pt, Pd versus Pt, Ir versus Pd, Ir versus Rh e Ir versus Pt) indicam que os EGP são particionados numa mesma fase mineral. A relação positiva clara existente entre ΣEGP versus número de Mg, indica que a cristalização fraccionada está envolvida na génese. A saturação em enxofre é evidenciada pelas razões baixas de Cu/Pd, que suportam as altas concentrações de EGP nessas rochas. Os gabros de Candua, Libolo, mostram um incremento nas abundâncias em EGP na ordem $Ir \rightarrow Rh \rightarrow Os \rightarrow Pt \rightarrow Pd \rightarrow Ru$. Os gabros e melagabros piroxénico-hornebléndicos apresentam-se enriquecidos em EGP, enquanto que os microgabros se apresentam com os teores característicos do manto para os EGP.

Palavras-chave: Gabros, Rochas gabróicas, Candua, Libolo, EGP.

Abstract: The Candua, Libolo, gabbros are massive, essentially mesocratic, since their M' (color index) is situated between 45,7 a 48,8% (therefore in the range from 35% to 65%) and show cumulus textures with minerals such as plagioclase, clinopyroxene, amphiboles, orthopyroxenes, and biotite. The rocks of Candua, Libolo, are composed of gabros, dolerites, and pyroxene-amphibole gabbros, with high values of Al_2O_3 (peraluminous) (varying from 10,46% to 17,01%), moderate to high TiO_2 (from 0,53% to 1,97%), low alkalines (Na_2O+K_2O) (varying from 0,49% to 9,06%) and medium values of Fe_2O_3 (variando de 6,03% a 20,41%), so, classified as subalkaline tholeiitic gabbros. The PGE positive correlations (Pd versus Pt, Pd versus Pt, Ir versus Pd, Ir versus Rh and Ir versus Pt) indicate that the PGEs are partitioned into the same mineral phase. The clear positive relationship existing between ΣPGE versus Mg Number, indicates the Fractional Crystallization is involved in the genesis. Sulphur saturation is evidenced by low Cu/Pd ratios, which supports the high PGE concentrations in these rocks. Candua, Libolo, gabbros contain high abundance of platinum group elements (PGE) in the following order: $Ir \rightarrow Rh \rightarrow Os \rightarrow Pt \rightarrow Pd \rightarrow Ru$. Gabbros and pyroxene-horneblende melagabbros are enriched in PGE whereas microgabbros present characteristic concentrations of the mantle for the PGE.

Keywords: Gabbros, Gabbroic rocks, Candua, Libolo, PGE.

INTRODUÇÃO

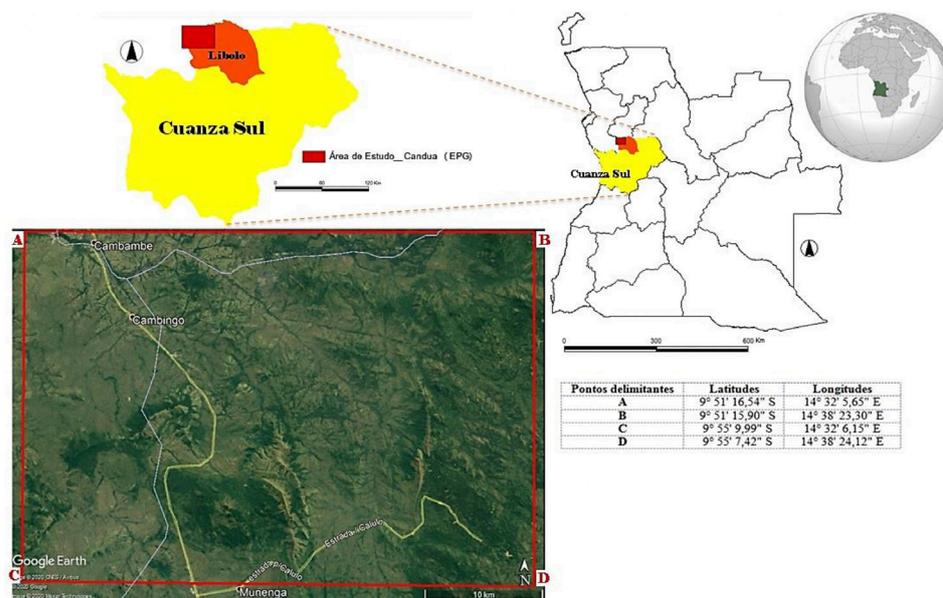
O domínio do Escudo de Angola é atravessado por membros plutónicos de composição alcalina, máfica e ultramáfica. Os membros máficos plutónicos no Escudo, de Angola os quais localizam-se ao longo da faixa norte, central e sudoeste, não receberam atenção em termos de estudos petrológicos e geoquímicos detalhados. Alguns dos trabalhos relevantes são sumarizados aqui. Andrade (1950) refere apenas à ocorrência de diques diabásicos na região entre Calulo e Dondo até ao rio Mucoso. De Araújo (1988), durante a cartografia Geológica à escala 1:100 000-1:250 000, as pequenas intrusões de rochas básicas foram geralmente atribuídas ao complexo gabro-anortositico do Cunene, enquanto intrusões relativamente pequenas (satélites) que se situam a norte e a oeste do referido maciço. Silva et al., 1978, refere-se a rochas doleríticas do Precâmbrico Superior, como tendo sido identificadas em diques a sudoeste do Golungo Alto, na zona de Cariango. Referiu que tais rochas são melanocratas de granularidade média, de textura ofítica. São constituídas por labradorite, tremolite-actinolite, augite, hiperstena, minerais opacos, sericite e apatite. Torquato et al., 1979, refere-se apenas as rochas gabro-anortositicas como as que limitam o Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola. De Carvalho (1980), refere-se ao Complexo gabro-norítico e charnoquítico aflorante na área de estudo como sendo constituído por grandes encraves no seio do Complexo granito-migmatítico que, em alguns casos, atingem mais de uma dezena de quilómetros de extensão. As rochas metabásicas são, fundamentalmente, de natureza gabro-norítica e anfibolítica embora se encontrem, também, gabros quartzíferos, meta-dioritos quartzíferos e granodioritos.

Esses autores e outros como Cruz et al. 1968, e Perevalov et al., 1992 estudam mais detalhadamente rochas máfico-gabróicas noutras regiões do território angolano, referindo a petrografia, geoquímica e geocronologia.

Não obstante os estudos realizados, aspectos relacionados com a composição mineralógica e estudos geoquímicos relacionados com os Elementos do Grupo da Platina (EGP) nessas rochas máficas carecem ainda de aprofundamento, o que constitui o foco objectivo geral desta investigação, cujos objectivos específicos consubstanciam-se em: (1) definir os principais minerais que constituem as rochas máficas de Candua; (2) caracterizar a textura e estrutura características das rochas máficas de Candua; (3) determi-

nar os padrões de abundância e distribuição dos EGP; (4) inferir os aspectos petrogenéticos associados ao ambiente tectónico de formação das rochas máficas de Candua por via das razões de EGP.

Candua é uma vila localizada na comuna de Munenga que pertence ao município de Libolo, província do Cuanza Sul (Figura 1), a qual assenta sobre o Complexo de rochas de granitos do tipo Quibala, o qual é atravessado por sua por um conjunto de cúpulas de rochas máficas.



GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

As rochas gabróicas em estudo estão localizadas na aldeia de Candua pertencente ao município de Libolo. Os corpos plutónicos podem ser acedidos pela Estrada Nacional 120 (EN120) e se encontram no troço Cambambe – Cambingo – Candua. As rochas são distinguidas como gabróico-piroxénicas encontradas no seio e relacionadas com o Complexo de granitos porfiroblásticos do embasamento angolano. Os granitos referidos apresentam algumas zonas híbridas e de profundos processos hidrotermais. Os plutões afloram como apófises em um terreno constituído por inúmeros inselbergs e montanhas.

As rochas gabróicas são essencialmente melanocratas e intensamente invadidas por veios de quartzo na parte central ao passo que na parte periférica vai se diminuindo a acção da rede de veios. Os mesmos estavam implantados em estruturas que detacaram-se direcções de orientação regional nas direcções N-S e NW-SE. Descorrem na área de estudo unidades litológicas que vão desde o Arcaico ao Holocénico (Figura 2). As Unidades do Arcaico são representadas por rochas do Grupo Inferior, compostos por as rochas constituídas por plagiognaisses piroxénicos, anfibolitos, eclogitos, gnaisses cordieríticos e silimaníticos, quartzitos, quartzitos ferruginosos bem como plagiomigmatitos, enderbitos e charnoquitos associados. No escudo de Angola, o grupo Inferior localiza-se no seu sector norte,

entre os rios Kwanza e Longa. Nas proximidades imediatas do horts do Kwanza, verifica-se a seguinte sucessão de rochas: na base, plagiognaisses bipoixénicos, hipersténicos e hipersténicos com biotite e granada; gnaisses piroxénicos com plagioclase e anfíbola que vêm a suceder-se mais para cima por gnaisses anfibolítico-biotíticos e plagiognaisses leucocráticos. O grupo Inferior está representado, essencialmente, por granulitos e gnaisses de composição básica, gabros alterados, anfibolitos, quartzitos, charnoquitos e enderbitos. É vulgar a existência dos gnaisses com piroxena (hiperstena, diópsido), cordierite, granada (piropo) e, mais raramente, silimanite ou biotite (De Araújo et al., 1988). O Grupo Superior do Arcaico Inferior, constituído por rochas metamórficas, tais como gnaisses (biotítico-hornebléndicos, biotítico-hipersténicos, granada-bimicáceos com distena e grafite), anfibolitos, xistos biotítico e bimicáceos, leptitos e quartzitos. Em zonas de ultrametamorfismo, ocorrem os tonalitos, plagiomigmatitos e plagiogranitos (De Araújo et al., 1988).

Ainda ao nível das unidades do Arcaico se manifesta na área de estudo rochas ígneas representadas por rochas intrusivas do Arcaico Tardio, estando representadas por um complexo de rochas granitóides (de granitos a dioritos). Os granodio-

ritos e dioritos encontram-se na parte sudoeste do escudo de Angola, onde se localizam, regra geral, sob a forma de maciços relativamente pequenos na área de contacto das intrusões do Arcaico Tardio com as sequências metamórficas do grupo superior do Arcaico inferior. Dentro deles aparecem, por vezes, relíquias de composição básica, apresentando diversos graus de alteração. Os dioritos típicos são bastante raros, sendo na maioria dos casos dioritos quartzitos com dois minerais máficos, nomeadamente hornblenda e biotite em subordinação. Pela composição química que apresentam, os dioritos quartzitos correspondem às rochas da série sódicas. Os granodioritos predominam em relação às rochas da família diorítica, sendo também estreitamente ligados a eles os tonalitos. A passagem dos granodioritos aos tonalitos realiza-se por diminuição do teor em feldspato potássico e, conseqüentemente, por aumento da percentagem de plagioclase (andesina).

Quanto a composição petroquímica, os tonalitos, quando comparados aos granodioritos típicos, são caracterizados por teores mais baixos de Al_2O_3 e do total de alcalis (inferior a 7%) e predominância de Na_2O sobre K_2O . Os granitos estão largamente desenvolvidos na área do complexo em referência, distinguindo-se variedades autóctones e paraautóctones.

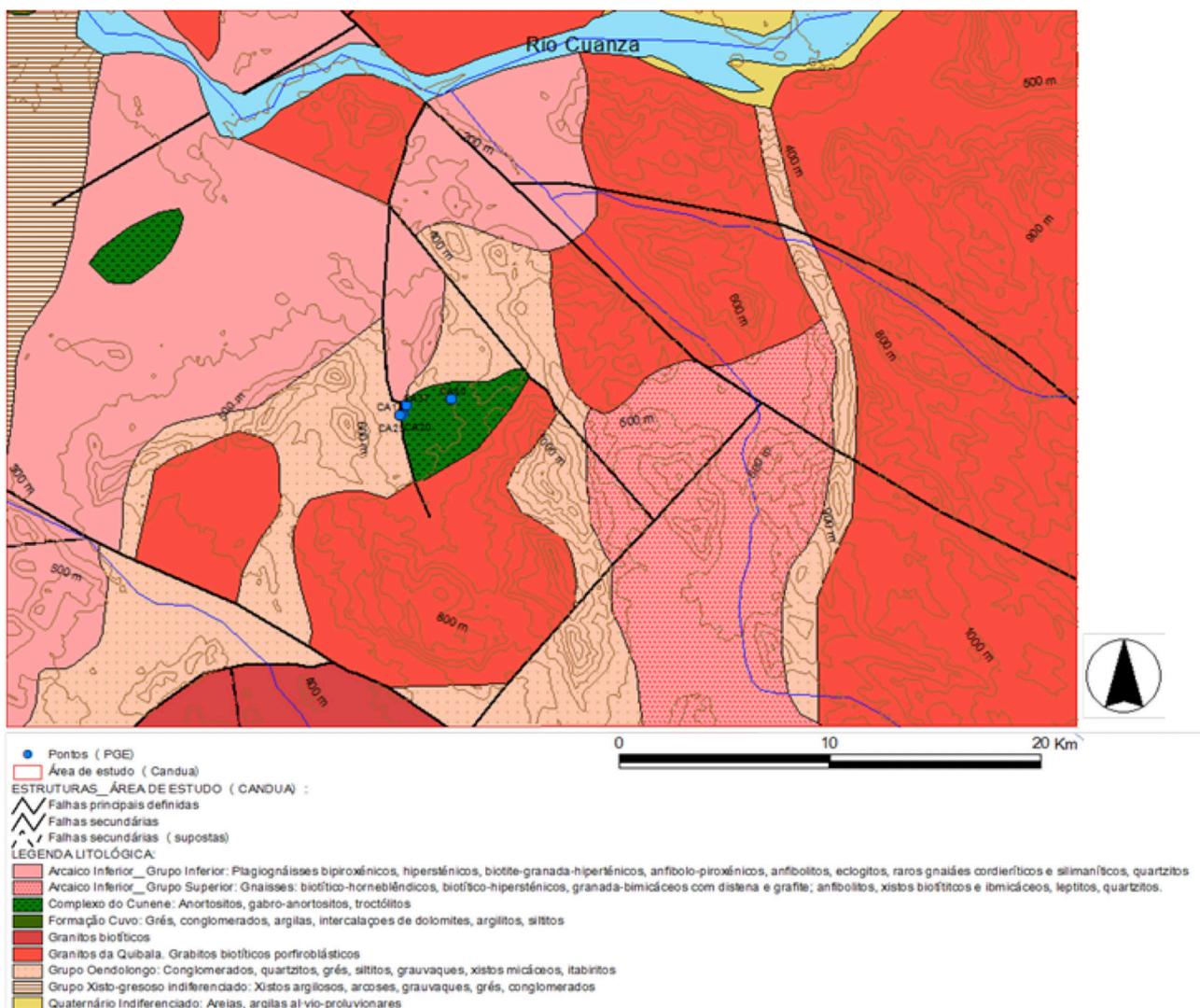


FIGURA 2. Geologia da área de estudo, Aldeia de Candua e arredores. (Adaptado de De Araújo, 1988).

As unidades geológicas que caracterizam o Proterozóico Inferior, relacionadas ao Ciclo Eburneano, ocorrido entre 2600 a 1650 milhões de anos, subdividem-se em rochas terrígenas metamorizadas e rochas intrusivas ígneas.

As rochas ígneas intrusivas são essencialmente granitóides, onde o maior representante são granitos Rochas Graníticas, representadas pelas fácies biotítico-porfiroblástica do Complexo de Granitos da Quibala, e pórfiros, sienitos e dioritos como rochas associadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, as amostras de rochas gabróicas foram colectadas para estudos detalhados de petrografia e geoquímica. Amostras representativas e bem preservadas foram colectadas de NW a SE do corpo plutónico. A tabela 1 mostra as amostras colectadas e suas coordenadas, ao passo que a figura 3 mostra a sua posição no espaço.

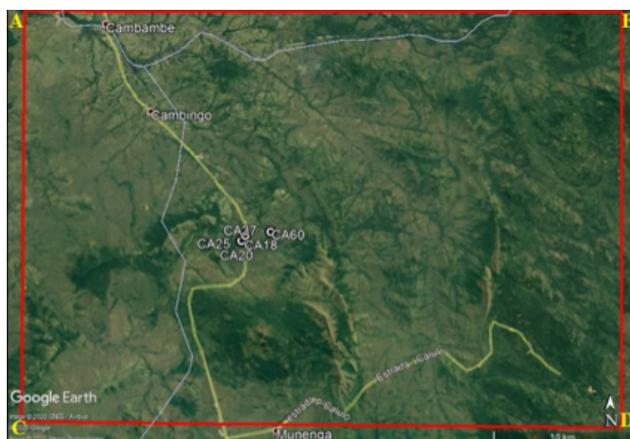


FIGURA 3. Projecção da área de estudo Dondo – Cambambe – Candua e pontos de amostragem.

As amostras foram limpas, etiquetadas e pulverizadas com o auxílio de moinhos.

A área de estudo está delimitada pelos seguintes pontos e coordenadas geográficas:

Pontos delimitantes	Latitudes	Longitudes
A	9° 51' 16,54" S	14° 32' 5,65" E
B	9° 51' 15,90" S	14° 38' 23,30" E
C	9° 55' 9,99" S	14° 32' 6,15" E
D	9° 55' 7,42" S	14° 38' 24,12" E

Estudos Petrográficos

Para obtenção dos resultados petrográficos, foram usados dois tipos de microscópios: microscópio óptico de luz polarizada de marca Leica modelo DM 2500p e microscópio de luz reflectida e transmitida de marca ZEISS Imager AXIOZ4, do Laboratório da Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto. As rochas para serem observadas ao microscópio petrográfico foram sujeitas a uma preparação para a obtenção de secções delgadas de 30 micra ou seja de 0,03 mm.

TABELA 1 - Detalhe das amostras e suas localizações

N.ºO	Amostras	X UTM	Y UTM	Latitude	Longitude
1	CA18	456934	8905287	9°54'10.79"S	14°36'25.79"E
2	CA20	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
3	CA25	456794	8905255	9°54'11.83"S	14°36'21.19"E
4	CA37	457075	8905640	9°53'59.30"S	14°36'30.44"E
5	CA60	458943	8905933	9°53'49.83"S	14°37'31.79"E

Análise Litogeoquímica

Fez-se o estudo quantitativo e qualitativo pela determinação de EGP com 5 amostras (CA18, CA20, CA25, CA37 e CA60) com pelo método 1B1. Tais análises foram realizadas no laboratório Actlabs Namibia (PTY) Ltd. O método foi o ensaio a quente INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) que é sobretudo usado para os EGP e tem como fundamento de que as amostras de até 25 g em tamanho são analisadas usando-se o procedimento do ensaio a fogo com sulfureto de níquel (NiS), medindo todos os EGP e Au. O INAA ou Análise por activação neutrónica é uma técnica analítica que depende a medição de radiação gama induzida na amostra por irradiação com neutrões. A fonte primária para a irradiação é um reactor nuclear. Os limites de detecção dos EGP são os seguintes: Os - 2 ppm, Ir - 0.1 ppm, Ru - 5 ppm, Rh - 0.2 ppm, Pt - 5 ppm, Pd - 2 ppm, Au - 0.5 ppm.

As amostras seleccionadas para as análises químicas por 1B1 foram moídas no Laboratório da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, até atingirem a dimensão de 2 Micras, ideal para a produção da pastilha ou pellet, e foram seleccionadas depois de prévia análise petrográfica, onde as amostras contendo processos hidrotermais mais significantes, processos de substituição ao níveis de minerais máficos, bem como um teor de opacos acentuado foram as preferenciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrografia

Como se pode observar no lançamento no diagrama de Classificação para rochas gabróicas, as amostras das rochas são projectadas no campo dos gabros (por apresentarem predomínio de clinopiroxenas do tipo augite, em relação as ortopiroxenas), e Melagabros piroxénico-hornebléndicos (Figura 4).

Exceptuando as amostra CA18 que se apresenta com textura microfanerítica, consubstanciando-se num dolerito ou microgabro, as demais apresentaram-se com granulação grosseira com paragénese modais de plagioclase (50 vol.%), cpx (30%), hornblenda+biotite (10%), + ortoclase + ortopiroxena (10%), e opacos acessórios. As mesmas apresentam texturas em cumulos, bem como intergranulares e subofíticas (Figura 5 a-h), onde as piroxenas envolvem parcialmente as placas cumuláticas de plagioclases (0,1 mm a 5 mm). Nos gabros com processos de substituição as Opx estão ausentes e as hornblendas são do produto da alteração das piroxenas. Os gabros alterados são caracterizados por alterações de piroxenas a anfíbolas, anfíbolas a biotites as quais, por sua vez, se alteram para os opacos. A presença da hornblenda secundária (verde) é também observada.

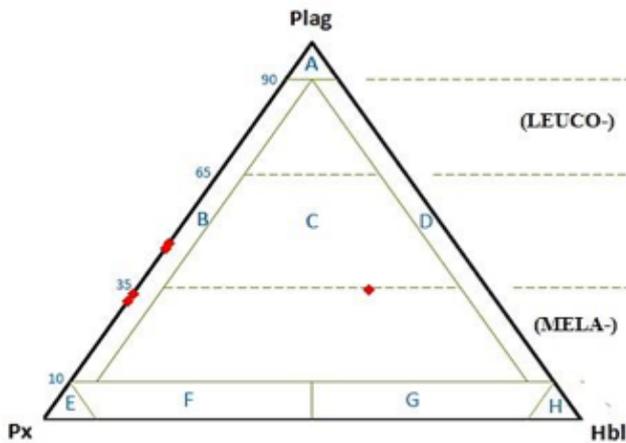


FIGURA 4. Lançamento das amostras no diagrama ternário de rochas gabróicas, segundo a sistemática da IUGS (modificado de Le Bas & Streckeisen, 1991). Legenda: Plag-Plagioclase; Px- Piroxenas; Hbl- Hornblenda; B- Gabro (plag+clinopiroxena); C- Meso e Melano-gabro piroxénico-hornbléndico.

A hornblenda está presente como cristais verdes subédricos, pleocróicos de até 3 mm de tamanho. São vistas pontualmente a passagem da augite a hornblenda verde. As plagioclases ocorrem como ripas tabulares alongadas subédricas de até 2 mm de tamanho com maclas polissintéticas e de carlsbad bem desenvolvidas. Em certos locais, os cristais de plagioclase exibem um zonamento normal (Figura 5 c & d) com núcleos corroídos. Os cristais de Cpx são intersticiais dentro da matriz cumulática das plagioclases. A biotite ocorre como subédrica a anédrica, castanha avermelhada e pleocróica, com dimensões de até 1-2 mm e ocupando sempre regiões intergranulares. Pontualmente a biotite contém inclusões de opacos ao dos planos de clivagem.

Pequenos cristais de biotite anédrica estão presentes em agrupamentos em zonas intersticiais nos gabros. Os Opacos são vistos dispersos nas anfíbolas e piroxenas alteradas (Figure 5 e & f) e como bolhas maiores nos minerais máficos (Figura 5 g & h). A ocorrência euédrica da plagioclase e da hornblenda

(primária) sugerem que estes se cristalizaram juntos com a augite no fundido.

A hornblende (secundária) substituindo a piroxena (Figure 5 c & d) indica a prevalência da pressão parcial alta da H₂O durante a cristalização fracionada.

Geoquímica dos EGP

Tendo em conta o manto primitivo normalizado, a distribuição dos padrões dos EGP (Figura 6, Tabela 2) mostram um enriquecimento de EGPP (Rh+Pt+Pd) e o Cu (90000-200000 ppb com uma média de 91960 ppb) relativamente aos EGPI (Os+Ir+Ru) e Ni (19900-200000 ppb com uma média de 91960 ppb). As amostras estudadas mostram um grande intervalo na variação de Ir e ΣEGP (36,08-179,6 ppb; média de 76,09 ppb; 1,3 a 6,3 vezes maior que o Manto Primitivo=28,5 ppb [Mullen, 1983]). Todos os gabros de Candua, Libolo, são caracterizados por apresentarem uma abundância levemente depletada de Rh (0,2-3,9 ppb com uma média de 1,0 ppb), valores altos de Pd (2-74 ppb com média de 18,6 ppb), Os (1,9 ppb como valor constante), Ru (25-58 ppb com média de 38 ppb) e Pt (4,9 a 58 ppb com média de 15,8 ppb). As concentrações de EGP aumentam na seguinte ordem: Ir>Rh>Os>Pt>Pd>Ru.

TABELA 2 - Concentrações dos Elementos do Grupo da Platina (EGP) dos Grabos de Candua, Libolo.

	CA18- Microgabro	CA20- Gabro	CA25- Gabro	CA37- Gabro	CA60- Melanogabro	Média
Os (ppb)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Ir (ppb)	2,8	0,2	0,09	0,09	0,09	0,7
Ru (ppb)	39	32	25	58	37	38,2
Rh (ppb)	3,9	0,3	0,19	0,19	0,3	1,0
Pt (ppb)	58	6	4,9	4,9	5	15,8
Pd (ppb)	74	7	4	2	6	18,6
Au (ppb)	9,4	2,1	1,5	3,4	2	3,7
Ni (ppm)	200	19,9	19,9	70	150	92,0
Cu (ppm)	190	160	90	190	200	166,0
ΣPGE	179,6	47,4	36,08	67,08	50,29	76,09
ΣEGPI	43,7	34,1	26,99	59,99	38,99	40,754
ΣEGPP	135,9	13,3	9,09	7,09	11,3	35,336
#Mg	42,6	43,7	52,1	58,2	67,8	52,9

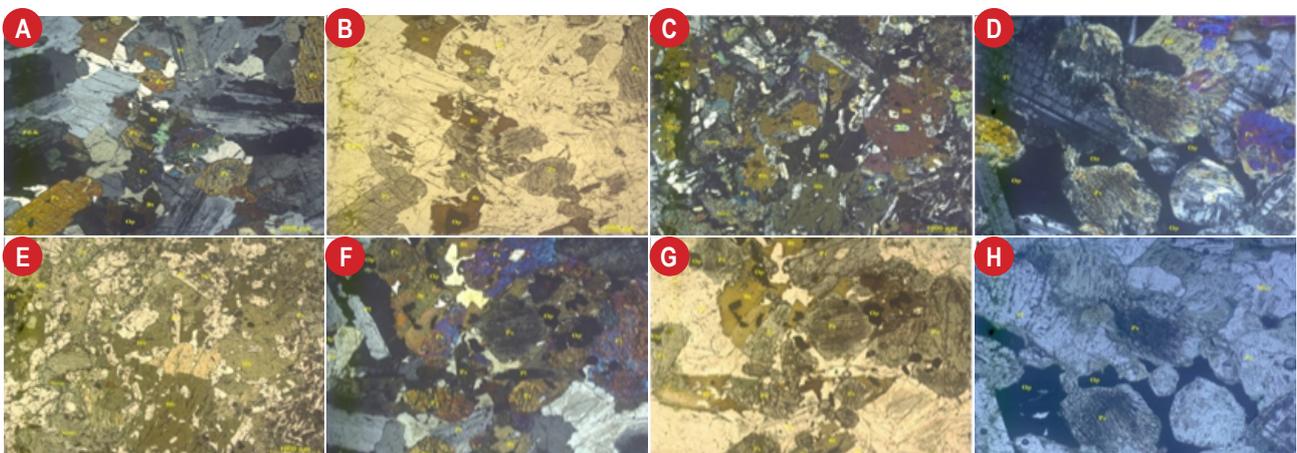


FIGURA 5. Microfotografia das rochas máficas de Candua, Libolo: (a), (b) Agrupamento de cristais euédricos e subédricos de clinopiroxenas, biotite e opacos intersticiais, entre as grandes ripas de plagioclase. (c), (d) Cristais subédricos de clinopiroxenas parcialmente alterados para cristais levemente esverdeados de hornblenda entre cumulos de plagioclases, algumas das quais sericitizadas. São também visíveis cristais de Cpx serpentinizadas, e minerais opacos. (e), (f) Cristais subédricos de clinopiroxenas, biotite e opacos em clusters, entre ripas de plagioclases. As biotites bordejam os minerais opacos. (g), (h) Exsoluções de minerais opacos ao longo dos cristais de Cpx.

É necessário destacar a amostra CA18 que apresenta, no geral, maiores concentrações nos elementos do EGP, exceptuando o Os, com possível valor económico.

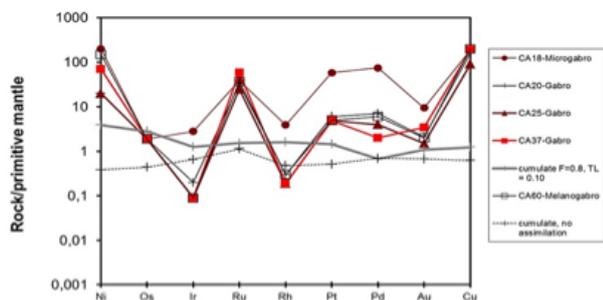


FIGURA 6. O Manto Primitivo normalizando os padrões de distribuição dos Elementos do Grupo da Platina dos gabros e Candua, mostrando uma depleção em IPGE e um enriquecimento em PPGE. São notáveis anomalias negativas proeminentes de Ir e Rh, proeminente anomalia positiva de Ru e anomalias positivas de Pt e Pd, como indicativos de menor grau de fusão parcial.

O Au mostra um intervalo largo de variação que vai de 2,1 ppb a 9,4 ppb, com uma média de 3,7 ppb; e mais alto do que a média do manto primitivo de 1,2 ppb, mostrando uma anomalia positiva nos padrões de distribuição dos EGP. as várias razões dos EGP (Tabela 3) são descritos abaixo.

TABELA 3 - Razões mais importantes dos EGP dos Gabros de Candua, Libolo

	Pd/Pt	Pd/Ir	Cu/Ir	Ni/Pd	Ni/Cu	Cu/Pd	Pd/Ru	Pd/Rh	Ru/Pt	Os/Ir	Ru/Ir	Pt/Pd	Pd/Rh	Pt/V	Pt/Ir
CA18	1,3	26,4	67,9	2,7	1,1	2,6	1,9	19	0,7	0,7	13,9	0,8	19	5,8	20,7
CA20	1,2	35	800	2,8	0,1	22,9	0,2	23,3	5,3	9,5	160	0,9	23,3	0,4	30
CA25	0,8	44,4	1000	5	0,2	22,5	0,2	21,1	5,1	21,1	277,8	1,2	21,1	0,2	54,4
CA37	0,4	22,2	2111	35	0,4	95	0	10,5	11,8	21,1	644,4	2,5	10,5	0,4	54,4
CA60	1,2	66,7	2222	25	0,8	33,3	0,2	20	7,4	21,1	411,1	0,8	20	0,3	55,6
Média	1,0	39	1240	14,1	0,5	35,3	0,5	18,8	6,1	14,7	301,5	1,2	18,8	1,4	43

As razões de Pd/Ir variam em intervalos de 22,2 a 66,7, com uma média de 39. As razões de Pd/Pt estão no intervalo de 0,4 a 1,3 com uma média de 1,0. Razões de Pd/Ru variam de 0 a 1,9, com uma média de 0,5. Razões de Pd/Rh variam em 10,5-23,3, com uma média de 18,8. Razões de Ru/Pt mostram um intervalo de 0,7-11,8 com uma média de 6,1. A razão Ru/Ir varia por um intervalo largo de 13,9 a 644,4 com uma média de 301,5. Essas razões são mais altas do que as respectivas razões do condrito de 1,0 (Pd/Ir), 0,53 (Pd/Pt), 0,79 (Pd/Ru), 2,73 (Pd/Rh), 0,68 (Ru/Pt), 1,28 (Ru/Ir) respectivamente e das razões do manto primitivo de 1,01 (Pd/Ir), 0,53 (Pd/Pt), 0,79 (Pd/Ru), 2,75 (Pd/Rh), 0,67 (Ru/Pt), 0,95 (Os/Ir), 1,27 (Ru/Ir) respectivamente.

Razões de Cu/Pd (Figura 6) sugere que os gabros de Candua, Libolo, são saturados em S, devido ao maior coeficiente de partição do S para o Cu do que para o Pd (Figura 7). Assim, as razões muito baixas do Cu/Pd se situam no intervalo de 2,6-95 com uma média de 35,3, indicando magmas subsaturados em S [Barnes et al, 1993]. As projecções da variação inter-elementar (Figura 8) entre vários EGP mostra, no geral, correlações planas

a positivas boas, indicando que os EGPs são particionados dentro duma mesma fase mineral, apontando para a cristalização fraccionada.

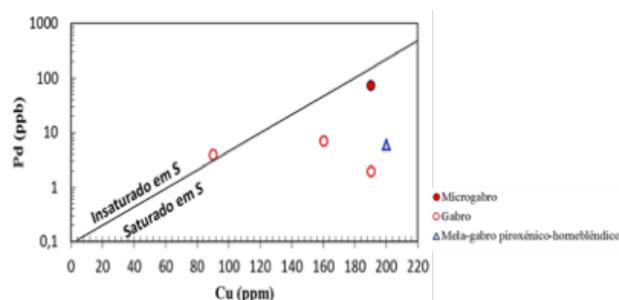


FIGURA 7. Projecção binária entre o Pd versus Cu para as rochas gabróicas de Candua, Libolo.

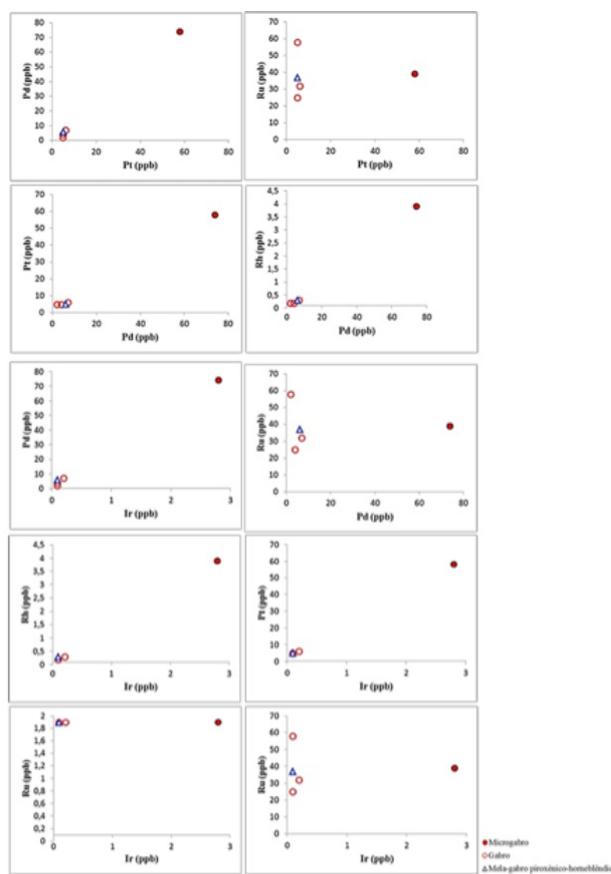


FIGURA 8. Projecção binária interelementar de EGP.

A relação positiva clara (Figura 9) das amostras CA20 (microgabro), CA25 (gabro), CA37 (gabro) e CA60 (melagabro piroxénico-hornblédico), existente entre ΣEGP versus número de Mg também suportam o processo de cristalização fraccionada como o processo magmático importante e responsável pela génese desses gabros. Percebe-se na figura que a amostra CA18 (microgabro) parece não ser cogenética às demais ou foi submetida à um processo de enriquecida tardio.

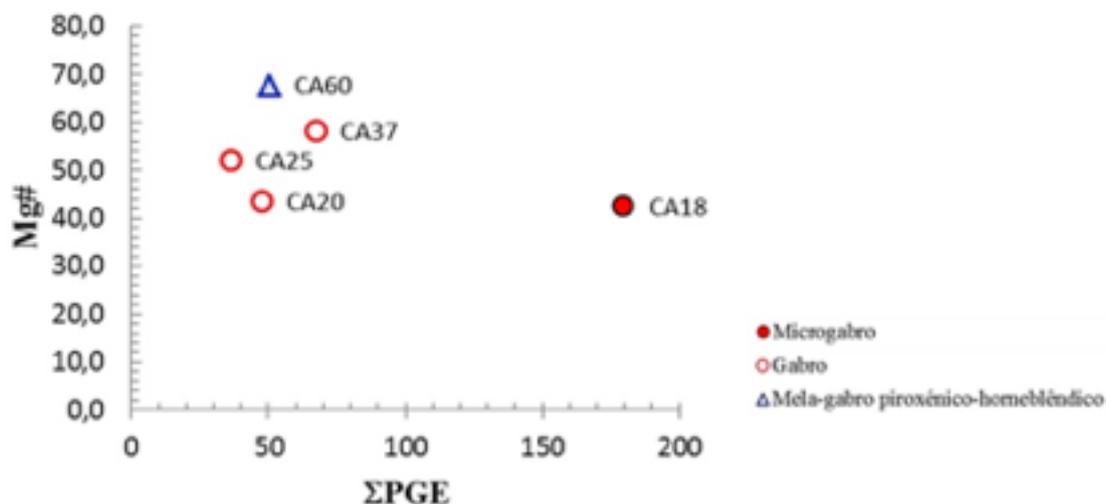


FIGURA 9. Relação entre o número de Mg e o ΣEGP.

Os graus moderados de fusão parcial e cristalização fraccionada são responsáveis pelo fraccionamento dos EGPP relativamente aos EGPI nos magmas máficos. A relação positiva existente entre o número de Mg e os vários EGPs também indica que os minerais máficos primários controlam o fraccionamento dos EGP.

Por outro lado, o diagrama de Cu/Pd vs. Pd, de Barnes et al. (1993), combinado com o diagrama de Ni/Pd vs. Cu/Pt, de Thériault et al. (2000), para as amostras de Candua, revelaram uma discriminação do conteúdo de EGP em relação ao litotipos, estando os gabros e os melagabros piroxénico-hornbléndicos enriquecidos em EGP, enquanto que os microgabros se apresentam com os valores normais do manto em EGP (Figura 10).

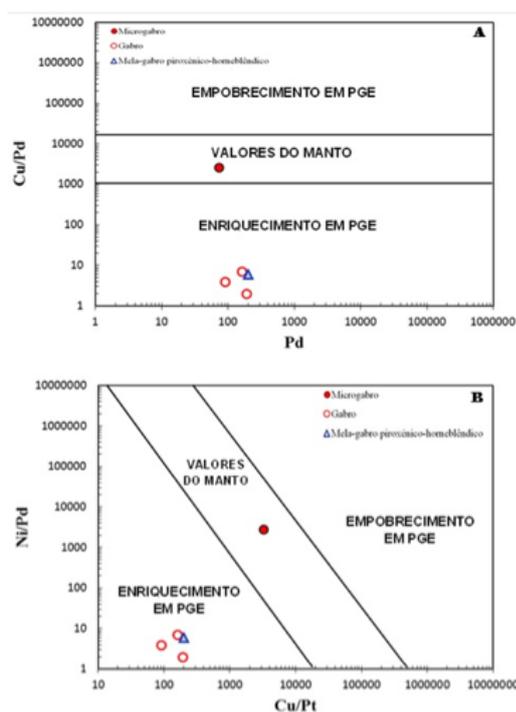


FIGURA 10. Diagramas: A) Cu/Pd vs. Pd (modificado de Barnes et al., 1993); B) Ni/Pd vs. Cu/Pt para as amostras de Candua (modificado de Thériault et al., 2000).

DISCUSSÃO

As evidências petrográficas da Cpx do fraccionamento em baixa pressão (Figure 3 c, d) são os cumulos de cristais de Cpx (em fases alteradas a anfíbolos) e a presença de plagioclase + Cpx. Tal cristalização de Cpx de baixa pressão em ambientes tectónicos oceânicos foi descrito por Flower et al, 1977.

Os estudos petrográficos indicam o predomínio dos cumulos de plagioclase e clinopiroxenas nos gabros inalterados.

A saussuritização das plagioclases, anfíbolos castanhos e verdes, biotites e opacos como produtos de alteração hidrotermal das Cpx, relíquias de Cpx ocupam os espaços intercúmulos. Agrupamentos magmáticos de minerais máficos, piroxenas, anfíbolos e quartzo são observados. A variação no número do magnésio (32 a 55), textura cumulática e outras projecções discriminantes geoquímicas indicam cristalização fraccionada como um processo magmático dominante para a geração dessas rochas gabróicas. A presença de Opx acessória nas amostras, são indicativos de um magma de natureza toleítica. O índice de diferenciação (D.I.) indica que essas rochas gabróicas são do estágio tardio de diferenciação de um magma basáltico.

As correlações positivas entre os EGP (Pd versus Pt, Pt versus Pd, Ir versus Pd, Ir versus Rh e Ir versus Pt) nas amostras de microgabros, gabros e melagabros de Candua, indicam que os EGPs são fraccionados numa mesma fase mineral. A relação positiva clara existente entre ΣEGP versus número de Mg, para as rochas máficas de Candua (sobretudo, gabros e melagabros) indica que a cristalização fraccionada está envolvida na génese. A saturação em enxofre é evidenciada pelas razões baixas de Cu/Pd, que suportam as concentrações de EGP nessas rochas. A segregação dos sulfuretos e a sua separação como um líquido imiscível a partir do magma silicático é requerido para a lixiviação de todos os EGPs disponíveis e formar um depósito económico. Nos gabros de Candua,

Libolo, os EGPP (7,09-135,9 ppb) são enriquecidos 3,0 a 3,8 vezes mais do que EGPI (27-60 ppb). O enriquecimento dos EGPP com anomalias positivas de Os, Ru, Pd e Pt podem se dever ao seu comportamento incompatível.

As anomalias relativamente positivas da Pt quando comparadas com o Rh e Ir, identificadas nos microgabros, gabros e melagabros de Candua, são feições comuns em muitas rochas máficas que ocorre devido ao comportamento divergente da Pt e Pd durante o seu fracionamento inicial nos magmas e também devido aos seus coeficientes de particionamento similares. Autores como Sai-Hong Yang et al. (2018) e Subramanyam et al. (2015), referenciam situações de estudo similares.

O carácter toleítico (tendência de enriquecimento em ferro) das rochas de Candua, e a tendência de diferenciação tardia derivado pelo D.I. também suportam a prevalência de alta fugacidade do oxigénio em relação a baixa, onde o Rh e o Pd são fracionados sulfuretos de baixa temperatura normalmente como elementos incompatíveis calcófilos.

Os conteúdos altos do Σ EGP e razões variáveis dos Pd/Ir e Pd/Pt dos gabros de Candua, Libolo, comparados com as abundâncias do manto primitivo (Σ EGP = 28,5 ppb) claramente não são característicos do MORB primitivo. Os gabros de Candua, Libolo, mostram um incremento nas abundâncias em EGP na ordem Ir→Rh→Os→Pt→Pd→Ru.

O enriquecimento dos EGPP, para as amostras de microgabro, gabros e melagabro de Candua sobre os EGPI é atribuída ao seu comportamento incompatível durante a fusão parcial já que o sulfureto intersticial é preferencialmente incorporado na fase líquida, resultando nas altas razões de Pd/Ir (Sai-Hong Yang et al., 2018). As razões dos EGP tais como Pt/Ir, Pd/Ir e Pd/Pt, para o caso de Candua são devidas ao metassomatismo induzido por fluídos hidrotermais.

CONCLUSÕES

1.As rochas gabróicas de Candua, Libolo, estão compostas por plagioclase e clinopiroxenas como fases minerais essenciais com hornblendas e biotites secundárias.

2.Os padrões de abundância e distribuição dos EGP também suportam a cristalização fracionada como processo magmático dominante para a génese destes gabros sob regime moderado de fusão parcial.

3.O enriquecimento em Ru nos gabros de Candua, Libolo, deve-se ao seu comportamento incompatível semelhante aos EGPP como o Pd, ao passo que o enriquecimento do Os é observado devido a adição de fluídos que tomaram lugar durante a implantação das estruturas em diaclases presentes na área. Os conteúdos baixos de EGP, padrões fracionados de EGP com enriquecimento EGPP sobre EGPI, altos conteúdos de Ru, interlação positiva de EGP e saturação em enxofre indicam fusão parcial do manto.

4.Os gabros registam a seguinte sequência de abundância dos EGP: Ir→Rh→Os→Pt→Pd→Ru. Por isso, aventa-se que o EGPI fracionado e os padrões das razões de EGPP e EGP (Pd/Ir and Pd/Pt) indicam possíveis assinaturas de uma crosta oceânica primitiva.

5.Os litotipos gabros e melagabros piroxénico-hornbléndicos apresentam-se enriquecidos em EGP, enquanto que os microgabros se apresentam com os valores normais do manto em EGP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, M. MONTENEGRO. *Estado actual dos conhecimentos sobre as rochas ígneas de Angola. Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*. <http://hdl.handle.net/10316.2/37967>. Accessed: 14-Apr-2020 01:34:04. *Publicações do Museu Mineralógico e Geológico, N.º 27. Memórias e Notícias. Coimbra Tipografia da Atlântida. 1950.*
- [2] BARNES S.J., COUTURE J.-F., SAWYER E.W., BOUCHAIB C., NICKEL - *Copper Occurrence in the Belleterre-Anglier Belt of the Pontiac Subprovince and the Use of Cu-Pd Ratios in Interpreting Platinum-Group Element Distributions, Econ. Geol.*, 1993, 88,1402-1418.
- [3] CRUZ, A. G.; SIMÕES, M. C. *Estudo Petrográfico da região de Impulo - Chongoroi*. 1968.
- [4] DE ARAÚJO, A.G., PEREVALOV, O.V., JUKOV. R.A. *Carta Geológica de Angola. Escala 1:1000 000*. 1988. Instituto Nacional de Geologia. Angola.
- [5] DE CARVALHO, H. *Breves Considerações de Natureza Geológica e de Cronologia Absoluta sobre as Rochas do Soco Antigo (Arcaico) de Angola. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XXII, 1980-1981.*
- [6] FLOWER M.F.J., ROBINSON P.T., SCHMINCKE H.-U., OHNMACHT W., *Magma Fractionation Systems Beneath the Mid-Atlantic Ridge at 36-37°N, Contrib. Mineral. Petrol.*, 1977, 64, 167-195.
- [7] LE BAS, M. J. & STRECKEISEN, A. L. (1991). *The IUGS systematics of igneous rocks (On behalf of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks). Journal of the Geological Society, London, Vol. 148, pp. 825-833. Printed in Northern Ireland.*
- [8] MAIER, W.D., BARNES, SARAH-JANE. *Pt/Pd and Pd/Ir ratios in mantle-derived magmas: A possible role for mantle metasomatism. 2004 Geological Society of South Africa*
- [9] PEREVALOV, O. V., VOINOVSKY, A. S., TSELIKOVSKY, A. F., AGUEEV, Y. L., POLSKOI, F. R., KHÓDIREV, V.L., KONDRÁTIEV, A. I. *Geologia de Angola (Notícia Explicativa da Carta Geológica à Escala 1:1.000.000) - Luanda, 1992*
- [10] SAI-HONG YANG, BEN-XUN SU, XIAO-WEN HUANG, DONG-MEI TANG, KE-ZHANG QIN, YANG BAI, PATRICK ASAMOAH SAKYI, MELESSE ALEMAYEHU. *Platinum-Group Mineral Occurrences and Platinum-Group Elemental*

Geochemistry of the Xiadong Alaskan-Type Complex in the Southern Central Asian Orogenic Belt. Minerals. Received: 7 August 2018; Accepted: 23 October 2018; Published: 1 November 2018

- [11] SILVA, A. F. & FERNANDES, N. A. – *Geologia Da Região Do Cariango (Angola), Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa, 1978, 21, Pp.27-59.*
- [12] SUBRAMANYAM, K.S.V., REDDY, U.V.B., BALARAM, V., ROY, PARIJAT. *Petrography and Geochemistry (Trace, Ree And PGE) of Pedda Cherlo Palle Gabbro-Diorite Pluton, Prakasam Igneous Pro-*

vince, Andhra Pradesh, India. Open Geosci. 2015; 7: 264–288. Doi 10.1515/Geo-2015-0014

- [13] THERIAULT, R., BARNES, S.-J., SEVERSON, M. J. *Origin of Cu-Ni-PGE Sulfide Mineralization in the Partridge River Intrusion, Duluth Complex, Minnesota. Economic Geology 95(5):929-943. DOI: 10.2113/gsecongeo.95.5.929. 2000.*
- [14] TORQUATO, J. R., FERREIRA DA SILVA, A. T., CORDANI, U. G., KAWASHITA K. *Evolução Geológica do Cinturão Móvel do Quipungo no Ocidente de Angola. Academia brasileira de Ciências. 1979.*

