

Congresso Brasileiro de Geologia, 28,
1974, Porto Alegre. Anais.

OS MINERAIS PESADOS DE AREIA NA FOZ DO RIO DOCE ✓

JOSÉ MOACYR VIANNA COUTINHO* ✓

ABSTRACT

This study intends to point possible source areas for recent sediments laid around Rio Doce mouth. The Barreiras sediments, outcropping west of the beach zone, carry as heavy minerals; anatase, andaluzite, monazite, rutil, sillimanite, tourmaline, zircon, whereas the recent sands typically exhibit the association kyanite, epidote, staurolite, garnet, hornblende, sillimanite, zircon.

The tertiary Barreiras and the recent sands must have been fed by different source areas or, alternatively, by different levels of the exposed source body. Nearly all recent sediment in the Rio Doce deltaic zone derives from a pre-cambrian area near the coast line.

There still remain doubts about the correct interpretation of facts such as: 1) abnormal fall in the concentration of hypersthene and garnet whenever kinzigites, charnockites and adjoining sands are compared, 2) abnormal increase of epidote and specially, hornblende, a relatively scarce mineral in pre-cambrian source rocks and a exceptionally abundant heavy mineral in concentrates from recent sands.

OBJETIVO

No estudo, especialmente de minerais pesados, objetivou-se apontar as áreas-fontes dos sedimentos recentes da foz do Rio Doce.

Podem ser considerados áreas-fonte potenciais:

1. Sedimentos terciários da Formação Barreiras, ocorrendo imediatamente a oeste e em contato com o Recente. A formação é drenada pelo Rio Doce, alguns de seus afluentes e numerosos rios e riachos que se encaminham para o Oceano Atlântico, a leste.

2. Pré-cambriano próximo: unidade kinzigítica. Faixa de Cristalino, composta essencialmente de kinzigitos e charnockitos e, por isso, enriquecido de certos minerais pesados; biotita, granada, sillimanita, hiperstênio. Aflora imediatamente a oeste do Barreiras e é drenado pelo Rio Doce e seus afluentes.

3. Pré-cambriano distante: unidade biotita gnáissica. Faixa de Cristalino, composta essencialmente de biotita gnaisses e mica xistos, e por isso, enriquecida de determinados minerais pesados; biotita, hornblenda, epidoto, turmalina e, presumivelmente, cianita e estaurolita. Aflora a oeste da unidade kinzigítica e é também drenado pelo Rio Doce e seus afluentes.

Ambas as unidades pré-cambrianas foram estudadas em trabalho a parte do mesmo autor.

* IG/USP

MÉTODOS EMPREGADOS E TRABALHOS EFETUADOS

Análise das frações separadas

O pesquisador recebeu as amostras em frações previamente separadas. A rotulagem obedeceu a critério do coletor, ou seja, sequência de suas iniciais seguidas do número da amostra e código de sistema de coleta; 01 para amostras superficiais, 02 para amostras de profundidade e 04 para amostras de canal. As amostras 02, recolhidas em tubos plásticos, eram adicionalmente, acrescidas das letras A a E, indicando profundidades decrescentes.

Normalmente cada amostra era subdividida em 4 frações: 1ª leves, granulação 62-125 micra, 2ª leves, granulação 125-250 micra, 3ª pesados, granulação 62-125 micra e 4ª pesados, granulação 125-250 micra. Todavia parte das amostras foi entregue com frações pesadas apenas e nas granulações 62-125 e 125-250, raramente também nos intervalos 62-177 e 177-250 micra. Pequena parte ainda foi recebida em um só intervalo granulométrico; 62-250 micra. Outro pequeno grupo de amostras apresentava granulações em intervalos menos espaçados; 62-125-177-250 ou 62-88-125-177-250.

Todas as frações foram obtidas pelo processo clássico de peneiramento e separação em bromofórmio. Não houve preocupação de se medir ou pesar as quantidades de leves e pesados separados, não se podendo destarte informar os numerosos índices (*index number*). Os coletores observaram no campo alguns níveis superficiais bastante ricos de minerais pesados, emprestando tom escuro à areia. Uma avaliação visual rápida de várias amostras coletadas em vários metros de tubos indica que os pesados se concentrariam ao redor de 1%.

As localizações de todas as amostras aqui estudadas, acham-se em mapa anexo.

As frações foram analisadas por método exclusivamente óptico (Fleet, 1926). Em cada deslocamento da lâmina na platina do microscópio, os minerais eram identificados e contados separadamente, por espécies.

As frações leves compreendem especialmente quartzo e feldspatos mas, nas tabelas, foram-lhes incorporados também os valores encontrados para micas já que estas são de difícil separação ao bromofórmio, concentrando-se irregularmente nos pesados, ou, mais freqüentemente, nos leves.

As frações pesadas reúnem minerais opacos, semi-opacos e transparentes. Dada a premência de tempo, não se analisou a fração opaca, que requeria demorada manipulação em separador eletromagnético e métodos especiais de reconhecimento. Ao microscópio petrográfico de luz transmitida, foram apenas somadas as quantidades de opacos e, em seguida relacionadas em tabela com as de pesados transparentes. De quando em quando era tentada a observação à luz refletida, no mesmo preparado utilizado para a determinação de transparentes. Assim, é possível informar da existência mas não as proporções dos diversos minerais opacos.

Para o exame dos minerais transparentes leves, uma pequena quantidade de material contendo 400 a 700 grãos se finos, ou 200 ou 500 grãos, se grossos, é colocada sobre lâmina e imersa em líquido de índice 1,544. Para este líquido, não há necessidade de se colocar laminula, o que envolveria tempo adicional de manipulação. Com uma ponta de estilete, o líquido pode ser misturado aos grãos e espalhado para formar rapidamente superfície plana, funcionando como laminula. Aqueles minerais, nestas condições, com diafragma fechado e polarizadores descruzados, facilmente se diferenciam por seus relevos; quartzo com relevo fraco superior ao líquido, linha de Becke fina e colorida em uma posição de extinção; feldspato potássico, relevo inferior, tom róseo em linha de Becke nítida e brilhante: micas, relevo superior em linha de Becke muito nítida e brilhante. Haverá sempre dificuldades em diferenciar plagioclásios ou cordieritas não geminados. A última especialmente, em trabalho de rotina, é de identificação impraticável. Entretanto, o número de cordieritas identificadas seguramente em preparados piloto foi considerado irrisório (entre 0 e 1%) e por isso, o mineral não se encontra relacionado nas tabelas. Material leve também inclui esporadicamente, agregados finos de substâncias argilosas, cloríticas, serpentinicas ou sericiticas e ainda, microorganismos opalinos ou carbonáticos, fragmentos de concha, etc.

A fração pesada foi analisada da mesma maneira, alterando-se o líquido de imersão para o índice 1,640 que separa convenientemente dois grupos de minerais pesados transparentes. O examinador rapidamente se acostuma com o relevo de grãos minerais em toda a gama de in-

dices, imersos no novo líquido. Mesmo assim há a necessidade freqüente de se recorrer a processos mais demorados de identificação óptica; exame de inclusões, clivagem, alteração, cor, pleocroísmo, anisotropia, elongação, extinção e, por vezes, caráter e sinal óptico. Não foi considerada conveniente a mudança de líquidos de imersão para índices mais elevados. Entretanto, quando havia suspeita da existência de xenotima ou monazita, foi por vezes útil imergir o material em líquido de índice alto (1,74 a 1,78) que separa com facilidade aqueles minerais de outros de índice ainda mais elevados (zircão, titanita). Para líquidos de índices superiores a 1,65 torna-se mais necessária a colocação de laminula, em virtude da formação de gotas semi-esféricas de alta tensão superficial. A distinção entre xenotima e monazita é igualmente efetuada por observação de seus índices em relação ao líquido 1,74 e estudo de birrefringência (bem mais alto para xenotima).

Os líquidos manipulados pertencem a baterias Cargille do Departamento de Mineralogia e Petrologia. Os três índices aqui utilizados poderiam ser obtidos com os líquidos:

- n = 1,54; óleo de cravo ou mistura de nujol + monobromonaftaleno.
- n = 1,64; nujol + monobromonaftaleno ou Aroclor 1254.
- n = 1,74; iodo metileno.

Erros experimentais

Os preparados foram montados com apenas parte das amostras separadas o que, desde já introduz certa margem de erro. Os números obtidos são uma porcentagem numérica que não pode ser convertida em porcentagem de área, volume ou peso, sem o conhecimento adicional das variações de tamanho, formas e peso específico, entre espécies minerais e em uma mesma espécie. Como a intenção da investigação foi a de analisar mineralogicamente e obter valores numéricos relativos, não houve necessidade de se converter os valores obtidos em porcentagens de área, volume ou peso. A porcentagem numérica por si só já é um parâmetro útil para o fim a que se destina.

No começo do trabalho microscópico foram efetuados alguns testes para verificar a exatidão de medidas e contagens. Valores muito discrepantes, em até mais de 100%, foram registrados para quase todos os minerais, quando um mesmo preparado era examinado por diferentes operadores, ou, quando dois preparados de uma mesma amostra eram examinados por um só operador. Para minimizar os efeitos da primeira situação, estabeleceu-se como norma o exame de preparados por um só operador, neste caso, o mais experiente. Entretanto não se eliminaram as variações encontradas entre os diversos preparados. Estes erros diminuiriam para valores mais admissíveis se aumentasse consideravelmente o número total de grãos contados para, por exemplo, 1000. Mas a operação multiplicaria em 3 a 5 vezes o exíguo tempo disponível para a pesquisa, o que foi considerado inexecutável. A informação vale como ressalva para interpretações de *trend analysis* futuras.

De acordo com cálculo de erros prováveis (Galehouse, in Carver, 1971) considerando-se 100 o número total de grãos contados em um preparado, uma contagem de 20 grãos (20%) para determinada espécie mineral admite um erro de 8,0 para um grau de confiança de 95,4%. Isto é, tem-se 95,4% de confiança em que a proporção verdadeira esteja entre 12 e 28% (erro relativo de 28,6%). Contagens de menos de 5% para a espécie admitem erros de mais de 100%. Aumentando o número total de grãos contados para 300, a contagem de 60 grãos (20%) para uma espécie mineral admite um erro de 14,0 no mesmo grau de confiança de 95,4%, isto é, tem-se 95,4% de confiança em que a contagem real esteja entre 46 e 74 (erro relativo de 23%).

As contagens no presente estudo variaram geralmente entre 100 e 300 grãos, admitindo-se desta maneira, que as variações de erros não sejam muito grandes ao se sucederem as amostras. Considerando-se entretanto espécies isoladas, devem-se admitir erros, de mais de 100% para minerais em proporções abaixo de 5%, erros de 30 a 60% para minerais com proporções em torno de 10%, erros de 20 a 30% para minerais em proporções em torno de 20% e erros de 10 a 20% para minerais em proporções em termo de 50%.

Tabelas e Figuras

Inicialmente foram relacionados em tabela os valores obtidos para minerais leves e

[illegible]

Sedimentos Recentes – Amostras Superficiais – Fração 125 - 250 μ [illegible]

TABELA 4
Médias do Barreiras e Recente Superficial nas Frações
Fina (62-125 μ) e Grossa (125-250 μ)

	BARREIRAS		RECENTE SUPERFICIAL	
	FINA	GROSSA	FINA	GROSSA
Pesos				
Transparentes				
Anatásio	8,3	7,2	0,2	0,1
Andaluzita	4,5	19,4	0,2	0,3
Apatita	0,0	0,0	0,0	0,0
Clorita	0,1	0,1	5,7	6,2
Cloritóide	0,0	0,0	0,0	0,0
Corindão	0,0	0,0	0,0	0,0
Diopsídio	0,0	0,0	0,2	0,2
Epidoto	0,0	0,0	4,4	4,8
Epinitio	0,0	0,1	0,0	0,0
Estaurolita	0,1	0,0	2,4	5,1
Granada	0,1	0,1	2,4	4,4
Hipersifínio	0,0	0,0	0,6	0,5
Hornblenda	0,9	0,4	42,7	55,3
Monazita	5,4	5,7	2,7	1,0
Rutilo	2,0	3,3	1,8	0,7
Sillimanita	7,2	16,3	6,6	9,5
Titanita	0,0	0,0	1,2	0,7
Tremolita	0,0	0,0	0,8	1,1
Turmalina	6,2	17,4	2,0	3,5
Xenotima	0,0	0,0	0,1	0,1
Zircão	65,7	29,8	26,0	6,5
Nº pes. transp. contados	4.890	2.445	22.755	15.544
Leves				
Quartzo	87,0	88,1	73,3	90,1
Feldspato	0,0	0,0	19,8	7,4
Biotita	13,0	11,9	5,5	1,6
Moscovita	0,0	0,0	1,4	0,9
Relações Minerais:				
UE	73	50	30	11
SEI	19	43	70	89
100 UE/SEI	384	116	43	12
Zr/Hb	72,4	74,5	60,9	11,7
Qz/Fd	∞	∞	3,7	12,7
Qz/Mi	6,7	7,4	10,6	36,0

Uma delas é o bem conhecido índice ZTR (Hubert, 1962). Nas tabelas anexas este índice é indicado em UE e reúne também os minerais ultra-estáveis zircão-turmalina-rutilo, fornecendo índice de maturidade mineralógica para a areia. As outras relações são: SEI, reunindo os minerais semi-estáveis e instáveis comuns dos sedimentos; $100 \times \text{UE/SEI}$ que é uma relação idealizada tanto para fornecer índice de maturidade mineralógica como para visualizar, se possível, o sentido de progressão de sedimentação (especialmente no Barreiras); $100 \times \text{Zr/Hb}$, relação que exerceria o mesmo papel, com melhor aplicação para o Recente. Entre os minerais leves tentou-se a relação Qz/Fd também indicativa de maturidade mineralógica, distinta para as duas formações. A relação Qz/Mi deve apenas mostrar em mapa, os sítios de descarga preferencial de micas em areias do Recente. A relação Op/Trp (opacos/transparentes) foi acrescentada para informar a quantidade total de minerais pesados contados e para tentar uma outra forma de distinção entre Barreiras e Recente.

Finalmente foi construído o gráfico conforme a Figura 4 mostrando variações de frequência para os principais minerais e suas relações ao longo do Rio Doce, desde Colatina, no Cristalino, até a foz, em Regência e Povoação. O gráfico foi estendido com 10 análises de amostras até 50 km da foz, em alto mar. Este último trecho foi subdividido em duas partes. A 1ª abrange 6 análises (RD1-2DC, RD65-3vv, RD67-2vv, RD67-3vv, perfil marítimo 83 e 286). A 2ª parte agrupa 4 análises (RD24-3DC, RD32-3vv, RD49-4vv e RD71-1vv), espalhadas a 50 km da costa enquanto o 1º grupo reúne análises a cerca de 10 km da costa dos extremos N ao S do delta levantado.

RESULTADOS OBTIDOS

Descrição dos minerais

Resumem-se aqui, alfabeticamente, os aspectos morfológicos das diferentes espécies minerais encontradas nas frações arenosas do Recente e Barreiras.

Anatásio - encontrado quase exclusivamente no Barreiras onde pode ultrapassar 30% dos pesados transparentes. Quase sempre em cristais com base retangular fornecendo boa figura de interferência uniaxial (-). Cor azul ou pardo amarelada, bem visível sob forte iluminação, já que seus altos índices escurecem sensivelmente os contornos. A origem autógena deste mineral é seguramente indicada por seu hábito idiomórfico e ocorrência em formação antiga. Alguns grãos

raramente encontrados no Recente devem ser clásticos, transportados do Barreiras.

Actinolita - ver tremolita

Allanita - ver epidoto

Andaluzita - como o anatásio, é mineral praticamente restrito ao Barreiras onde aparece como clástico em todas as amostras, concentrando-se caracteristicamente nas frações grosseiras. Reconhecida com facilidade pelas formas irregulares retangulares ou, mais frequentemente, arredondadas, transparência, índices próximos de 1,64, pleocroísmo em róseo para X (muito nítido em grãos espessos). Não se detectou a variedade quastolita ou outra qualquer, rica de inclusões. Estas, quando presentes, são em geral fileiras de cavidades contendo líquido e gás. O aparecimento esporádico de andaluzita no Recente constitui indício de contaminação com material do Barreiras, geralmente próximo.

Apatita - mineral raro e confinado ao Recente. Clástico. A escassez deve ser atribuída à solubilidade e baixa dureza do mineral. Pode ser confundido com barita, topázio e andaluzita, deles se distinguindo por sua forma redonda ou oval, alongação (-) e ocasional detecção de caráter uniaxial (-). Inclusões são raras.

Anfibólio - ver hornblenda e tremolita.

Aragonita - provável componente de carapaças de microrganismos e fragmentos de conchas que contaminam os resíduos recolhidos em fundo de mar e desembocadura de rios, praias e planícies próximas ao mar. Normalmente tem hábito fibroso, produzindo figuras de interferência próprias de agregado.

Augita - ver diopsídio.

Barita - mineral autógeno, encontrado apenas em amostras de poços profundos escavados em planícies de inundação e pantanos no Recente. Aparece em grãos de formas altamente irregulares ou tendendo a losangular. Distinguida opticamente por sua transparência, índices próximos a 1,64, caráter biaxial, extinção simétrica (em grãos losangulares) e distribuição de cores de interferência sugerindo hábito plácido e clivagens dissecadas. A barita deve as formas irregulares provavelmente à forma dos interstícios em que foi originalmente cristalizada como cimento.

Biotita - mineral clástico muito comum em certos horizontes de pesados, mas também contaminando frações leves do Recente ou Barreiras. Em alguns locais chega, juntamente com a moscovita, a constituir o único material pesado. Aparece em grãos plácidos de contorno irregular ou arredondado, quase sempre jazendo sobre ótima clivagem e, nestes casos, apresentando isotropia e ausência de pleocroísmo. A figura de interferência uniaxial (-) (ou biaxial de 2V pequeno) confirma a diagnose. A cor transmitida pode ser parda ou verde sujo, quando o mineral está fresco. Entretanto é bem mais frequente uma das formas de alteração; hidrobiotita, vermiculita, clorita, *bauerita* (placa opalina limonítica). Nos primeiros dois casos o mineral conserva certa birrefringência (verificada apenas na figura de interferência) e, macroscopicamente, aparece em plaquetas prateadas confundindo-se com moscovita. Cloritizado, o mineral passa a esverdeado claro, pardo claro, alaranjado ou sépia, tornando-se quase isotrópico ou formando agregados microcristalinos. *Baueritizada* a biotita torna-se parda ou incolor, isotrópica, observando-se frequentemente impregnação de limonita que a deixa quase opaca. No Barreiras só foram encontradas formas arredondadas, transformadas em agregado clorítico pardo alaranjado ou ainda, *bauerita*.

Brookita - mineral extremamente raro, possivelmente confinado ao Barreiras, onde deve ser autógeno. Cor amarela, laranja ou pardo, índices muito altos, fracamente pleocróico, estriado. Dispersão fortíssima não permite que o mineral se extinga ou forneça figura de interferência definida.

Calcita - provável componente de microrganismos e fragmentos de concha onde é reconhecida por forte birrefringência e figura uniaxial (-). A distinção com aragonita pode ser tentada com líquidos de índice de refração 1,67 (no de calcita = 1,658 Ny, Nz de aragonita = 1,680, 1,685). Em algumas raras amostras de poços profundos, a falta de estruturas orgânicas faz supor ser o mineral formado em cimento.

Cianita - mineral clástico muito comum e característico do Recente. Praticamente inexistente no Barreiras do Rio Doce podendo se supor então que seu aparecimento em preparados do Barreiras se deva a contaminação em laboratório. A maior parte das cianitas observadas são facilmente reconhecidas por seu hábito alongado e freqüente contorno retangular de vértices abrandados. Também, por linhas internas de clivagem quase normais ao alongamento. Altos índices (Nx e Nz=1,72-1,73). Parte dos grãos alongados cai sobre clivagem 100 e dão baixa birrefringência, extinção oblíqua (Z;c=30°) e figura de bicatriz aguda quase centrada. Outra parte pode cair sobre clivagem 010 e, neste caso, o grão prismático produz birrefringência mais alta e extinção quase reta. Normalmente é incolor com inclusões esparsas mas pode aparecer carregado de material carbonoso a ponto de quase não transmitir luz. Observaram-se alguns prismas fortemente deformados por torção sem fratura, o que atesta maleabilidade do mineral.

Clorita - ver biotita.

Cloritóide - Mineral clástico, muito raro, encontrado em alguns preparados. Reconhecido por altos índices, cor esverdeada clara, várias clivagens, baixa birrefringência e caráter óptico biaxial.

Cordierita - Mineral clástico de presença confirmada no Recente. Sua freqüência é porém ignorada devido à difícil diferenciação de quartzo e plagioclásio. Tipicamente incolor, arredondado, com geminações divergentes e fitas de alteração sericitica.

Corindon - Mineral clástico muito raro. Ocorre tanto no Barreiras, como no Recente. Forma grãos irregulares pouco desgastados, incolores, com raras inclusões. Reconhecido por altos índices (No=1,77) e caráter uniaxial (-).

Diopsídio - Mineral clástico raro e adstrito ao Recente. Forma grãos irregulares ou algo alongados, quase sempre muito corroídos por solução, dando pontas serrilhadas. Reconhecido pelos índices (Nz=1,68-1,72) e forte extinção inclinada (Z;c=42-48°), linhas de clivagem interna, fibrosidade e inclusões. Incorpora-se nesse ítem, juntamente com o diopsídio, verde claro a incolor, também a augita, piroxênio mais raro nos sedimentos e reconhecido por aquelas propriedades ópticas e cor de transparência pardo claro.

Dumortierita - Curioso mineral clástico encontrado em apenas um preparado do Barreiras. Forma grãos prismáticos estriados, fortemente pleocróicos em violeta ou carmim. Distinguem-se da turmalina por absorver luz mais intensamente na direção de alongamento, e maior índice.

Enstatita - ver hiperstênio.

Epidoto - Mineral clástico comum apenas no Recente. Em geral forma grãos angulares idiomórficos ou ainda, irregulares ou sub-arredondados, aproximadamente equidimensionais. Caracterizado pelos índices altos (Nz=1,70-1,78) e figura de interferência biaxial geralmente com dispersão. Aqui se incluem, além do epidoto comum, também as formas menos férreas de: clinozoisita (incolor) e zoisita (incolor a róseo), ambas menos birrefringentes e menos comuns que o epidoto, bem como, ocasionalmente, a allanita, parda.

Espinélio - Mineral clástico raramente encontrado, tanto no Barreiras como no Recente. Ocorre em grãos irregulares, desgastados, isotropos. Só foram reconhecidos como espinélio os grãos verdes (pleonasto) mas é possível que alguns grãos incolores tenham sido incorretamente contados como granada.

Estaurolita - Mineral clástico bastante comum no Recente e, praticamente ausente no Barreiras do Rio Doce. Pode aparecer tanto em grãos idiomórficos (prismas truncados por pirâmides), achatados em (100) como em grãos irregulares quebrados, raramente arredondados. Geminação é comum. Caracterizado por fraca birrefringência, caráter biaxial com alto 2V, leve dispersão, altos índices (Nz=1,746 e pleocroísmo característico) incolor (X) a amarelo alaranjado (Z), raramente amarelo palha ou pardo avermelhado. As inclusões são comuns, esparsas ou concentradas podendo deixar o mineral quase opaco. Neste caso, ao contrário da regra citada em Krumbein e Petijohn, o hospedeiro tem cor mais clara que a usual.

Fibrolita - ver sillimanita.

Granada - A variedade almandina é clástica, relativamente comum em frações pesadas, especialmente as grosseiras, do Recente. Sua freqüência entretanto, é menor que a esperada em vista da abundância de kinzigitos altamente granatíferos, que ocorrem próximo, e rocha fonte potencial. Grãos arredondados por abrasão são raros ou inexistentes. Quase sempre forma grãos irregulares, angulosos, com fraturas côncavas e cantos agudos. São também freqüentes os grãos de formas bizarras e com superfícies picotadas em retângulos ou losângulos, ou ainda cobertas de mosaico de facetas ou montículos arredondados. Estes aspectos são sugestivos de instabilidade e solução após deposição. Apresenta altos índices, isotropia e cor rósea clara transmitida em grãos de 125 a 250 micra. Pode entretanto aparecer também em grãos incolores ou, num outro extremo, em cor rósea muito carregada, até quase vermelho.

Feldspato - Constituinte clástico sempre presente na fração leve, especialmente a fina, de sedimentos recentes. No Barreiras é praticamente inexistente. Alguns raríssimos grãos encontrados em lâminas de Barreiras poderiam derivar de contaminação de laboratório. O feldspato é mineral útil no sentido de que informa sobre a maturidade mineralógica do sedimento. Sua ausência no Barreiras indica aquela condição. Entretanto não se pode atualmente informar se o desaparecimento se deve a causas anteriores ou posteriores à deposição. A primeira alternativa é bem provável já que não se encontram corpos de feldspato caulinizado, nos preparados. Em areias recentes, com provada contribuição do Barreiras, o feldspato potássico aparece em formas esqueléticas, límpido, sugerindo cristalização autígena em cimento. Mas o caso requer exame mais cuidadoso pois poderia se tratar de formas de dissolução. Em casos normais o feldspato é facilmente reconhecido em lâmina por sua forma angulosa a sub-angulosa, turbidez, clivagens, geminação e índices inferiores ao líquido de montagem (1,544). O último caso corresponde ao tipo mais abundante, potássico (microclínio ou ortoclásio). Na forma menos freqüente, de plagioclásio, o mineral pode ocorrer com composições desde oligoclásio sódico até labradorita, esta, muito rara. O plagioclásio requer cuidado especial já que alguns termos (oligoclásio-andesina) têm índices superpostos aos de quartzo.

Hastingsita - ver hornblenda.

Hematita - Mineral opaco clástico ou autígeno, relativamente comum no Recente ou Barreiras. Reconhecido à luz refletida por brilho metálico ou terroso, cinzento avermelhado.

Hiperstênio - Mineral clástico encontrado em pequena proporção e apenas no Recente. Outro mineral esperado com maior freqüência dada a larga distribuição de rochas charnockíticas próximas. Tem aspecto microscópico variado, desde grãos prismáticos estriados, incolores (estatita, mais raro) até formas tendendo à prismáticas, irregulares e por vezes altamente corroídas (hiperstênio, mais comum). Como hiperstênio, apresenta pleocroísmo característico, fraco ou forte, dependendo do teor ferro e espessura do grão (X = rosa, Y = amarelo, Z = verde). O hiperstênio se caracteriza ainda pela fraca birrefringência, altos índices (Nz=1,67 a 1,73), extinção reta, e, algumas vezes, pela ocorrência de inclusões placóides pardas, orientadas transversalmente ao alongamento do hospedeiro. Este último tipo parece origem em norito, antes, que em charnokito. Alguns grãos se encontram totalmente alterados em agregado fibroso com plaquetas pardas.

Hornblenda - É o clástico mais abundante e característico das frações pesadas do

Recente, onde atinge normalmente valores entre 40 e 80%, especialmente nas frações grosseiras. Raramente encontrado em preparados do Barreiras (contaminação de laboratório?). Constitui por isso, índice seguro de proveniência da amostra. Sua origem só pode ser atribuída a denução recente do Cristalino, embora seja difícil localizar áreas atuais pré-cambrianas suficientemente ricas de hornblenda. Para explicar sua abundância no sedimento será necessário imaginar um mecanismo de seleção e concentração especiais. Englobam-se aqui, no ítem hornblenda, todos os tipos de clino-anfíbios coloridos. Caracterizam-se por forma prismática controlada por clivagens, extinção inclinada em ângulos de 0-20° e pleocroísmo em tons de verde (pequena parte dos grãos pode produzir pleocroísmo em pardo ou verde-azul). A intensidade da cor é muito variável, desde quase incolor (tremolita-actinolita, cummingtonita) passando por verde médio, a mais comum, até verde escuro, quase opaco em grãos espessos. As formas menos coloridas, aproximando-se de tremolita mostram menores índices de refração e, algumas vezes, forte estriação transversal (partição 001). As mais coloridas e escuras costumam mostrar características de hastingsita ou ferro-hastingsita: 2V (-) pequeno e dispersão. Não foi observado qualquer grão de anfíbio sódico típico. Os tipos são semelhantes aos encontrados em granodioritos gnaissosos, granitos e charnockitos, próximos. Ressalta-se que, em sedimentos, as hornblendas parecem em geral apenas desgastadas mecanicamente. Em apenas algumas ocorrências em poços, as hornblendas apresentam-se com forte corrosão química, caracterizada por terminações profundamente denteadas.

Ilmenita - é o clástico opaco mais comum de areias recentes ou terciárias. Caracterizado por fraco magnetismo, brilho metálico preto e formas tendendo a placóides, mais ou menos desgastadas. É freqüente a ocorrência de ilmenita incluindo finas placas retilíneas transparentes (rutilo?) que parecem dividi-la em setores quando observada em luz transmitida. Comumente se encontra parcialmente alterada em leucóxênio.

Leucóxênio - mineral opaco formando agregado terroso, refletindo em cor branca. Encontrado em formas autígenas, desenvolvidas preferencialmente sobre opacos titanados (ilmenita) ou constituindo corpos inteiros de origem desconhecida.

Limonita - mineral opaco terroso, amarelo a pardo em luz refletida. Mineral bastante comum, possivelmente autígeno (alteração de máficos), especialmente no Barreiras.

Magnetita - mineral clástico opaco, pouco abundante. Fortemente magnético, brilho metálico cinzento e formas irregulares ou octaedros achatados ou arredondados.

Marcassita - mineral autígeno, opaco, amarelo, desenvolvido em agregados dentro e sobre o que se presume ser fragmentos vegetais em determinados níveis de poços no Recente.

Monazita - mineral clástico especialmente abundante no Barreiras onde pode constituir até 50% dos pesados transparentes mais grosseiros. Está presente em quantidades restritas e de distribuição irregular também no Recente. Um aumento anormal de sua quantidade nas areias recentes pode indicar contribuição do Barreiras (ver poço PRD 2 gráfico 3). Aparece quase invariavelmente em grãos equidimensionais bem arredondados, de cor transmitida amarelo claro, fracamente pleocróico e altos índices de refração ($N_z = 1,84$) e birrefringência. Confunde-se com zircão, epidoto e xenotima. Do primeiro se diferencia pelo hábito, cor e pleocroísmo. Do segundo, pelo tom de cor amarela e por índices mais altos, bem como por ser biaxial de 2V (+) pequeno. Do terceiro só pode ser diferenciada seguramente pela determinação de índices embora um operador bem treinado possa avaliar para a xenotima, uma birrefringência maior e relevo variável em montagens de líquido 1,64.

Microclínio - ver feldspato.

Moscovita - mineral clástico, constituinte comum de frações leves ou pesadas do Recente, onde pode se concentrar excepcionalmente, embora sempre em quantidades subordinadas às de biotita. Facilmente diagnosticada pela correta interpretação do hábito e clivagem placóide, transparência, baixa cor de interferência na direção normal às placas e figura biaxial (-) bem centrada.

Ortoclásio - ver feldspato.

Pirita - mineral opaco ocasionalmente encontrado em amostras do Recente como clástico arredondado. Em agregados espinhosos é mais freqüente e, certamente autígeno. Reconhecido pela cor de reflexão amarelo, latão e parateado.

Piroxênio - ver diopsídio e hiperstênio.

Plagioclásio - ver feldspato.

Pleonasto - ver espinélio.

Quartzo - mineral clástico dominante em qualquer fração leve, tanto do Barreiras como do Recente. Tem formas variadas, normalmente sub-angulosas. Entretanto, pequena porção de muitas amostras do Recente exibem quartzo em forma perfeitamente arredondada em contraste com os demais grãos do mesmo preparado. Uma explicação para o fenômeno se basearia na contribuição de sedimentos retrabalhados (Barreiras) mas não existem outras evidências mineralógicas nos mesmos preparados, que suportassem a idéia. Possivelmente o quartzo redondo proviria de áreas mais afastadas do cristalino. Facilmente reconhecido pela transparência, índices e caráter óptico uniaxial (-). Alguns grãos podem ser turvos e outros, ricos de inclusões, especialmente agulhas de sillimanita. Não foi encontrada qualquer evidência de crescimento secundário mesmo nos grãos de deposição mais antiga (Barreiras).

Rutilo - mineral clástico encontrado em pequenas quantidades, tanto no Barreiras, onde é mais comum, como no Recente. Em fragmentos prismáticos, profundamente estriados. Facilmente identificado por altíssimo relevo (que o deixa por vezes quase opaco), altíssima cor de interferência, extinção reta e cores de absorção: amarela, laranja, vermelho ou pardo. O pleocroísmo também é característico, absorvendo com mais intensidade na direção do prisma e estrias. Algumas variedades pardo acinzentadas, muito escuras, podem ter sido confundidas com outro mineral (columbita?).

Serpentina - forma raros agregados de difícil identificação.

Siderita - mineral autígeno, comum em amostras recolhidas do interior de poços no Recente. Apresenta-se como agregado espinhoso em geral fortemente limonitizado, quase opaco. Difícilmente identificada. É necessário observar variações de relevo em cantos agudos mais transparentes, sob forte iluminação polarizada. Neste caso observa-se que um índice fica próximo a 1,64 e o outro é mais alto. Em certas frações grosseiras o mineral oferece exame mais fácil quanto mais límpido. Aparece então, em prismas terminados por romboedro escalonado, ligeiramente estreitados na cintura. O mineral ocorre em cristais isolados mas é muito mais comum em interpenetrações de dois indivíduos (semelhante a geminado de estaurolita), três indivíduos ou ainda maior número, criando-se assim o aspecto de agregado espinhoso. O mineral deve sua cristalização a condições possivelmente especiais de solubilização de carbonatos (microorganismos) e de minerais máficos (granada, hornblenda?).

Sillimanita - mineral clástico comum, tanto no Recente como no Barreiras, o que atesta sua grande estabilidade, não muito reconhecida na literatura especializada. Forma grãos quase sempre prismáticos muito alongados, incolores, fortemente birrefringentes, extinção reta e com relevo fraco no líquido de montagem 1,64. Um dos índices, N_x , é apenas levemente superior ao líquido. As inclusões não são comuns. Algumas vezes o prisma parece dividido transversalmente por fratura reta que permite a extinção de duas metades em posições levemente diferentes. Uma forma comum de mineral é a fibrosa (fibrolita) ocorrendo em tufos e agregados subparalelos de prismas muito finos.

Titanita - clástico raro e restrito ao Recente. Grãos arredondados de alto índice e forte birrefringência e dispersão.

Turmalina - mineral clástico de frequência irregular, por vezes muito abundante em preparados do Barreiras. Aparece, em quantidades restritas, no Recente. O mineral apresenta hábitos e cores divergentes conforme a ocorrência. No Barreiras são mais comuns os grãos de turmalina parda, relativamente claros, bem arredondados. Turmalina verde em prismas idiomórficos e terminados, são típicos do Recente. Aparentemente a turmalina do Barreiras tem origem em rocha-fonte longínqua e sofreu processo de dissolução e descoloração parcial, intraestratal. A turmalina do Recente, pelo quase invariável idiomorfismo, até mesmo com facetas terminais, deve provir de rochas-fonte do Cristalino próximo. Entretanto ainda não foram encontradas aqui rochas portadoras de turmalina o que constitui uma questão de difícil solução atualmente. O mineral apresenta inclusões esparsas embora tenham sido verificados, no Recente, grãos com grande número de inclusões tornando o hospedeiro quase opaco. As formas coloridas em azul, amarelo, vermelho, ou ainda bi-coloridas (pardo e verde) foram também encontradas em quantidades muito restritas, sempre no Recente. O mineral é facilmente identificado pelos índices $N_o = 1,65 - 1,70$, caráter óptico uniaxial (-) e pleocroísmo com forte absorção na direção normal ao prisma. Esta última propriedade bem como alongação (-) e extinção reta, a diferencia da horn-blenda, nos casos em que o mineral é alongado.

Tremolita - mineral clástico ocorrendo em pequena quantidade no Recente. Assim foram classificados os anfíbólios incolores ou fracamente coloridos (actinolita). O mineral tende a ser mais idiomórfico (prismas) que a hornblenda. Caracteriza-se por limpidez, birrefringência média, extinção quase reta (face de descanso 100), alongação positiva e índices próximos, mas inferiores a 1,64. Inclusões são esporádicas.

Xenotima - mineral clástico raro, encontrado tanto no Barreiras como no Recente. Acompanha zircão e monazita, com os quais se confunde (ver monazita). Os grãos podem ser arredondados e corroidos ou pirâmide-prismáticos arredondados. Em um caso foi observado cristal excepcionalmente bem cristalizado em prisma e pirâmide, sem desgaste de arestas. Comumente apresenta tonalidade muito levemente amarelada transparente, ou pode ser completamente incolor, assemelhando-se mais ao zircão.

Zircão - mineral clástico muito comum nas frações finas de concentrados, tanto no Recente como do Barreiras, aqui, em enormes proporções. Nas frações grossas sua quantidade diminui radicalmente (Fig. 1 e 2). Mineral caracterizado por hábito prismático terminado em pirâmide, transparência, altos índices e alta birrefringência. O zircão do Barreiras tipicamente forma grãos prismáticos alongados e arredondados, muito lípidos e transparentes, com poucas inclusões e heterogeneidades. No Recente o mineral é bem mais variado em hábito e morfologia interna. Predominam os cristais prismáticos quebrados. Podem ser lípidos mas são muito comuns os tipos turvos, até opacos, os fissurados radialmente, os zonados e os ricos de inclusões. Alguns são pardos e, raramente, róseos, mas não pleocróicos. O mineral, pelas características acima, parece indicar que a área fonte de alimentação do Barreiras era bem mais distante que a alimentadora do Recente.

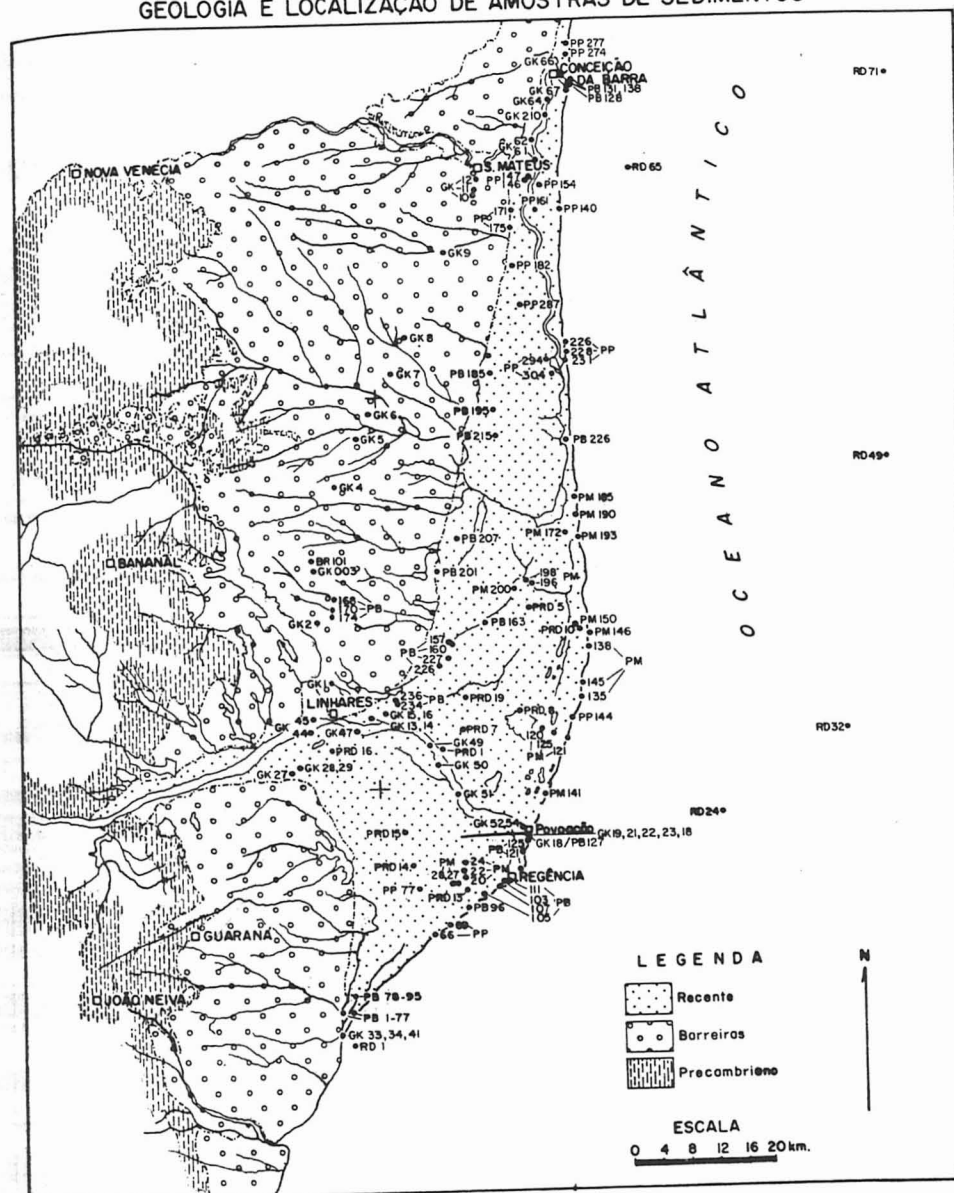
Zoisita - ver epidoto.

Interpretações

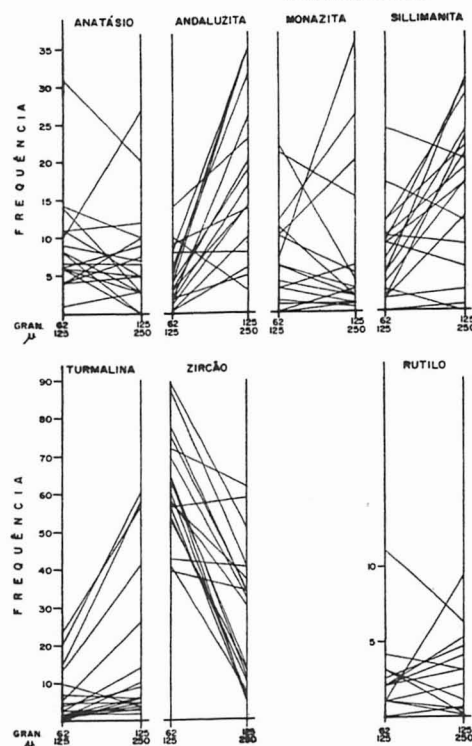
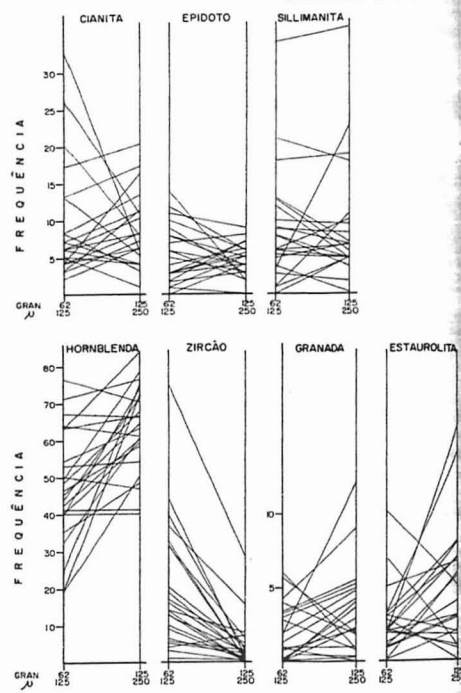
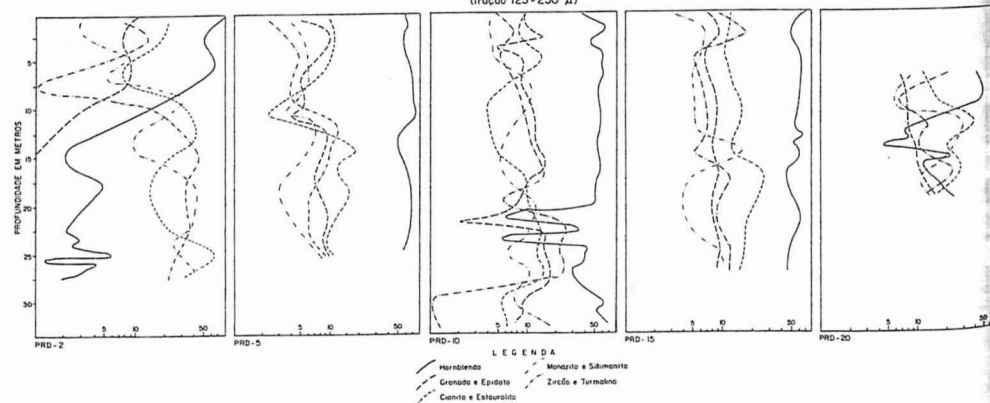
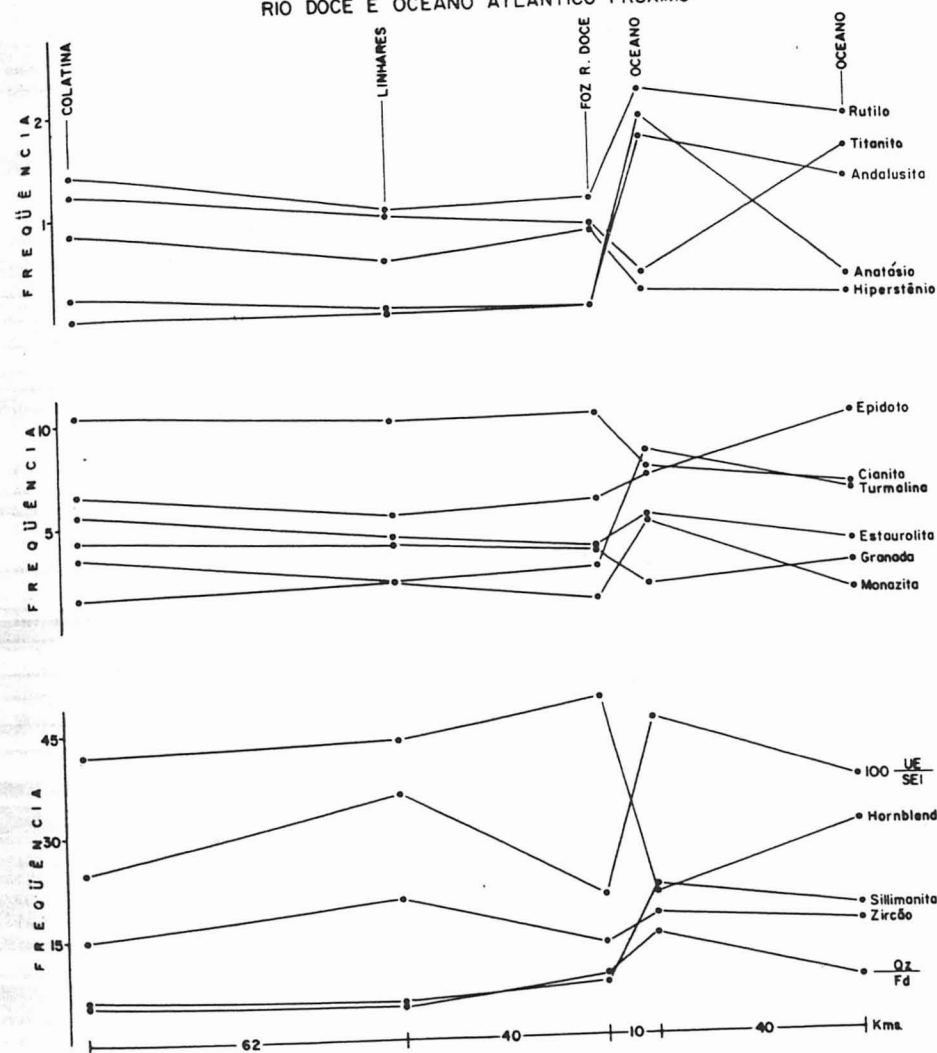
Relações Barreiras-Recente

O exame das Tabelas e, especialmente a das médias finais (Tab. 4), evidencia claramente notáveis distinções entre as formações Barreiras e Recente. O Barreiras é caracterizado pela associação de minerais frequentes: anatásio, andaluzita, monazita, rutilo, sillimanita, turmalina, zircão, enquanto o Recente se caracteriza pela associação: cianita, epidoto, estaurolita, granada, hornblenda, sillimanita, zircão. Além disso o feldspato está ausente no Barreiras, sendo frequente no Recente. O mineral mais comum no Barreiras é o zircão (30% na fração grossa) decrescendo sua concentração, substancialmente, no Recente. Por outro lado, o mineral mais frequente no Recente é a hornblenda (55% na fração grossa), mas praticamente inexistente em qualquer granulometria do Barreiras.

FOZ DO RIO DOCE GEOLOGIA E LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS



Seria talvez admissível pensar numa fonte alimentadora de sedimentos para as duas formações. A diversidade atual seria então causada pelo amadurecimento mineralógico e geológico dos sedimentos mais antigos do Barreiras. O anatásio, claramente autígeno seria gerado pela destruição de minerais titaníferos. Soluções intra-estratais se responsabilizariam pela caulização de feldspatos e destruição dos pesados feríferos menos estáveis (epidoto, hornblenda).

Fig. 1 - RELAÇÃO FREQUÊNCIA - GRANULAÇÃO (BARREIRAS)
(18 amostras dispersas)Fig. 2 - RELAÇÃO FREQUÊNCIA - GRANULAÇÃO (RECENTE)
(24 amostras dispersas)Fig. 3 - FREQUÊNCIA DE PESADOS EM POÇOS PROFUNDOS
(fração 125-250 µ)Fig. 4 - FREQUÊNCIA DE PESADOS AO LONGO DO
RIO DÔCE E OCEANO ATLÂNTICO PRÓXIMO

da, estaurolita, granada) e resultante concentração de ultra estáveis (zircão, rutilo, turmalina). Discute-se muito na literatura recente sobre a importância de soluções intra-estratais como

causa de diversificação de minerais. No caso atual, há evidências favoráveis e desfavoráveis. Assim, p.ex., as curvas de frequência \times profundidade (Fig. 3) para diversos minerais do Recente (especialmente os mais solúveis) são erráticas e não mostram sinais de decréscimo regular em profundidade, invalidando de certo modo a tese de solução intra-estratal. Contraditoriamente, alguns minerais semi-estáveis, comuns no Recente; epidoto, estaurolita, granada e outros insalubres de solução, formas esqueléticas, atestando uma forma de dissolução intra-estratal incipiente. É certo porém que o mineral dominante do Recente, a pouco estável hornblenda, quase nunca mostra evidências de dissolução. Resta ainda informar a presença obrigatória e comum da andaluzita detritica no Barreiras e sua ausência no Recente (salvo contaminação).

Conclui-se que o Barreiras e o Recente devem ter contado com diferentes fontes alimentadoras ou, alternativamente, diferentes condições de exposição do corpo alimentador; segundo esta última hipótese seria possível explicar a ausência, p.ex., de estauroлита e granada no Barreiras terciário por intensificação de processos intempéricos no regolito alimentador àquela época. Para explicar a abundância de andaluzita no Barreiras, e sua extinção no Recente poder-se-ia imaginar que, no Terciário, foi totalmente erodido um nível do Cristalino rico em rochas andaluzíticas (metamorfismo de baixa pressão). Uma última hipótese, fonte alimentadora do Barreiras representada por sedimentos pré-terciários retrabalhados, não encontra suporte nos conhecimentos geológicos de campo.

Pequenas áreas do Recente, contíguas ao Barreiras, mostram feições intermediárias entre as duas formações no que diz respeito à mineralogia. O fato é discutido adiante.

De qualquer modo, quase todo o sedimento recente é derivado de fonte independente e, mineralogicamente, bem diversa do Barreiras. Tudo indica que esta fonte deva ser o Pré-cambriano mais interior, drenado pelo Rio Doce, como a seguir se discute.

Fonte dos sedimentos recentes do Delta

Nas Tabelas e Figura 4, podem ser comparadas as análises mineralógicas de sedimentos do Recente superficial do Delta, com médias de análises de amostras recolhidas em vários perfis no fundo do Rio Doce, desde Colatina até a foz, num percurso de, pelo menos, 150 km.

As similaridades são altamente sugestivas de ligações genéticas. As proporções minerais em Colatina, em pleno Cristalino, e no Recente superficial do Delta, apresentam as mesmas ordens de grandeza nas seqüências idênticas. Acresce ainda notar que as composições tornam-se mais e mais parecidas a medida que a sedimentação progride rumo leste para a foz. Assim é que, a análise do sedimento na foz do Rio Doce é perfeitamente comparável ao da média do Recente superficial, especialmente quanto ao teor de hornblenda.

Conclui-se portanto que os sedimentos do Recente do Delta do Rio Doce provêm em sua quase totalidade de áreas-fonte situadas no Cristalino a oeste.

Assumindo esta conclusão como provada, restaria explicar certas anomalias mineralógicas observadas. A listagem abaixo compara valores aproximados, médios, recalculados para os principais minerais pesados não micáceos e não opacos no Pré-cambriano e no Recente. A análise do Pré-cambriano foi extraída de outro trabalho do autor nestes Anais e inclui amostragem ao longo do Rio Doce e regiões próximas até Governador Valadares.

	Pré-cambriano	Recente*	* média de frações
Apatita	6,5	pr	
Cianita	0,0	6,0	
Diopsídio	13,0	pr	
Epidoto	1,5	4,5	pr presente
Espinélio	pr	pr	
Estauroлита	0,0	4,0	
Granada	35,5	3,5	
Hipertênio	25,0	0,5	
Hornblenda	9,5	49,0	
Monazita	0,0	2,0	
Olivina	pr	0,0	
Rutilo	1,5	1,5	
Sillimanita	3,0	8,0	
Titanita	1,5	1,0	
Tremolita	pr	1,0	
Turmalina	pr	3,0	
Zircão	3,0	16,0	
	100,0	100,0	

A classificação seletiva evidentemente explica a concentração nos sedimentos de minerais ultra-estáveis ou semi-estáveis cianita, estauroлита, monazita, rutilo, sillimanita, turmalina, zircão. Alguns deles são muito raros no Cristalino e outros nem mesmo foram encontrados em seções delgadas.

A mesma seleção também explica parcialmente a brusca queda de concentração e eventual desaparecimento de outros menos estáveis ou instáveis; apatita, diopsídio, granada, hiperstênio, olivina, titanita.

Algumas interrogações ainda persistem. É difícil entender as quedas de concentrações em mais de 1.000% dos abundantes hiperstênios e granadas do Cristalino, ao passarem estes minerais para os sedimentos contíguos, mesmo considerando a granada um mineral instável, e o hiperstênio talvez mais ainda. Não se compreende também a elevação de teor do mineral instável epidoto.

Acima de tudo é difícil explicar o mecanismo que levou à espetacular concentração do mineral instável hornblenda, pesado característico dos sedimentos recentes. Uma explicação possível para o fenômeno hornblenda (e talvez epidoto) residiria na amostragem imperfeita do Cristalino. É provável que numerosas áreas de anfibolito intemperizável não tenham sido amostras por efeito de ausência de afloramentos frescos. Poderia também ocorrer que a maior massa de hornblenda tenha sido carregada de áreas mais ricas de rochas anfibolíticas a montante de Governador Valadares. Segundo mostra a Figura 4, a hornblenda é mineral que tende a se concentrar à medida que o Rio Doce caminha de Colatina até a foz. Seria admissível que, a partir de um baixo teor, à altura de Governador Valadares, por diminuição de outros minerais mais instáveis, tenha a hornblenda finalmente se concentrado nas altas proporções em que se encontra no Delta.

Variações nos sedimentos recentes

Os resultados de análises de minerais pesados e relações minerais mostram que os sedimentos recentes do Rio Doce receberam esporadicamente, contribuições de material do Barreiras. Algumas análises mineralógicas de amostras do Recente, recolhidas em pontos próximos (até 5 km) do contato com o Barreiras, mostram claramente a mistura, através de um ou vários dos seguintes característicos; a) aparecimento, em proporção anômala, de minerais típicos da associação Barreiras: anatósio, andaluzita, monazita, rutilo, sillimanita, turmalina, zircão; b) diminuição de teor, até quase desaparecimento, de hornblenda; c) aumento da relação Qz/Fd.

As áreas superficiais em que o fenômeno foi observado, próximas ao contato do Barreiras-Recente, parecem mostrar que o contacto Barreiras-Recente não é realmente tectônico como se tem sugerido, e sim, erosional.

O mesmo fenômeno de mistura expresso entre outras características pela diminuição do teor relativo de hornblenda é também ressaltado pelas análises de amostras a partir de 9 km de profundidade dos poços PRD-2 e PRD-20 (Fig. 3), escavados no Recente, próximos ao contato com o Barreiras. Estes poços confirmam que a mistura, ocorria também em época mais remota. Nos poços escavados a mais de 2 km do contato Barreiras a linha de frequência da hornblenda é mais constante (com pequena perfuração entre 20 e 25 m no poço PRD-10).

Igualmente o fundo do Oceano Atlântico até 50 km a E da costa, entre as Lat do extremo N e S do Delta, mostram, segundo análises de amostras RD, algumas evidências de contribuição de Barreiras. O fato, atestado por um ou vários dos característicos atrás citados, também foi observado em leve proporção em areias superficiais da praia atual. Mas é muito evidente quando se observa a Figura 4, mostrando leve mas nítido incremento de associações do Barreiras logo após a dejeção na foz do Rio Doce. No caso em foco, é provável que a contribuição tenha se efetuado por correntes carregando material, do sul ou do norte, de locais onde o Barreiras está sendo diretamente erodido pelo mar.

BIBLIOGRAFIA

- FLEET, W. J. - 1926 - Petrological notes on the old red sandstone of the West Midlands. *Geological Magazine*, London, 63:505-16.
 CARVER, R. E. - 1971 - Procedures in sedimentary petrology. New York, Wiley Interscience.
 HUBERT, J. F. - 1962 - A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla., 32:440-50.