

CARACTERIZAÇÃO DE MINERAIS PESADOS AO LONGO DO RIO JAGUARIBE-CE: DISTRIBUIÇÃO E PROVENIÊNCIA

Edgar Romeo Herrera de Figueiredo¹; Helenice Vital²; Maria Helena de Freitas Macedo³.

¹Aluno do Curso de Geologia da UFRN; Campus, C.P.1639 Natal-RN 59072-970, bolsista IC da ANP PRH 2,
e-mail: romeoufrn@hotmail.com

²Doutora em Geologia Marinha, Professora do Departamento de Geologia-DG e Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG da UFRN; PRH-ANP 22; Pesquisadora CNPq, e-mail: helenice@geologia.ufrn.br

³Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG da UFRN;
e-mail: mhelena@geologia.ufrn.br

RESUMO

O estudo de distribuição e proveniência utilizando minerais pesados (MP) como traçadores ao longo do Rio Jaguaribe é o objetivo maior deste trabalho. Dentro da assembléia de MP foram identificados: hornblenda, epidoto, biotita, zircão, turmalina, estaurolita, cianita, hiperstênio, sillimanita, andaluzita e rutilo. Destes, apenas 5 contribuem com mais de 80% da assembléia, são eles: hornblenda, zircão, epidoto, biotita e turmalina. A distribuição de MP ao longo do Rio Jaguaribe mostra-se relativamente homogênea desde a nascente até a foz. Visando a melhor compreensão dos efeitos de transporte e regime hidráulico atuantes na área, foram analisadas razões minerais que levaram em consideração a forma, a densidade e a decomposição química seletiva dos principais MP envolvidos. A análise do índice de fracionamento hidráulico pela densidade (O/NO) mostrou forte influência antrópica relacionada a grande quantidade de barragens construídas ao longo de todo o rio, mascarando assim a distribuição normal da assembléia mineral. Já o índice de decomposição seletiva (ZTR/H) mostrou-se relativamente homogêneo com um pico mais proeminente na confluência com o Rio Banabuiú. Por fim o índice de fracionamento hidráulico pela forma (E/HT) mostrou valores maiores que a média nas proximidades da nascente e um pico nas amostras da região de Aracati.

ABSTRACT

A provenance study using heavy minerals as tracers was carried along the Jaguaribe River (CE). The heavy minerals identified were hornblende, epidote, biotite, zircon, tourmaline, staurolite, kyanite, hypersthene, sillimanite, andalusite, and rutile. Only 5 of them contributed with more than 80% of heavy mineral assemblage. They are: hornblende, zircon, epidote, biotite and tourmaline. The heavy mineral distribution along the Jaguaribe River was homogeneous from the source until the mouth. Looking for a better understanding of the processes controlling the mineral variability, mineral ratios that reflect differences in the grain shape, density and selective chemical decomposition were performed. The analyses from these ratios indicate that hydraulic fractionation by density (O/NO) show a high anthropogenic influence, related to the great amount of dams built along all the river. The selective chemical decomposition (ZTR/H) was homogenous with the most prominent peak on the confluence of Banabuiú. The shape-fractionation index (E/HT) shown amount little high than de medium value taken on the source and a peak on the Aracati samples.

Palavras-Chave: proveniência, minerais pesados

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como principal objetivo a realização de estudos de distribuição e proveniência de associações de minerais pesados ao longo do Rio Jaguaribe. Neste estudo foram levados em consideração os aspectos fisiográficos e climáticos da área fonte bem como os processos envolvidos durante o transporte e regime hidráulico, que possam interferir na assembléia de minerais pesados observadas. Esta pesquisa está inserida nos objetivos do projeto de encomenda CRNOBORO, (FINEP/ PETROBRAS) (intitulado: Distribuição dos sedimentos cenozóicos nas Bacias Pernambuco-Paraíba, Potiguar e Ceará como Função da Epirogênia Cenozóica da Província Borborema), e tem o intuito de realizar um estudo de proveniência nas principais redes de drenagem da Província Borborema.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ELEMENTOS DA GEOMORFOLOGIA

A área em estudo localiza-se na porção setentrional do nordeste do Brasil, mais exatamente no estado do Ceará com enfoque a bacia do Rio Jaguaribe. As principais vias

de acesso são estradas de pavimentos fixos de capeamento asfáltico. Dentre essas se destaca, a BR-304 que liga Natal a Fortaleza cortando principalmente a porção norte da bacia e ainda a BR-116 que vai desde a porção norte do Ceará, Fortim (Figura 2, foz) até a sul nas proximidades da cidade de Icó, sempre margeando o Rio Jaguaribe. Já nas proximidades da cidade de Orós foram utilizadas as rodovias estaduais CE-153 e CE-284 que serviram de acesso aos municípios de Iguatu e Saboeiro respectivamente. Como acesso a cidade de Tauá, (Figura 1 - nascente) foram utilizadas estradas carroçáveis e na porção final a BR-020.



Figura 1 – Nascente do Rio Jaguaribe (Tauá)



Figura 2 - Amostragem na Foz do Rio Jaguaribe(Fortim)

Em termos geomorfológicos as formas de relevo oscilam de montanhosa a suavemente ondulada. A primeira, num sistema de planaltos cristalinos residuais, parcialmente emoldurados por cristas estruturais, como no conjunto de serras próximas as cidades de Jaguaribe, região conhecida como Serra do Pereiro, recebendo diversos nomes locais. A maior fração das áreas cristalinas encontra-se em domínios morfológicos que incluem superfícies dissecadas em cristas estruturais, vales alongados e relevos residuais, além de formas características das chamadas superfícies pediplanos cortadas por cristas e inselbergs. Por sua vez, os tratos mais planos encontram-se nos tabuleiros costeiros nos planaltos sedimentares e nas planícies aluviais, destacando-se a planície do baixo Jaguaribe. A variação da intensidade do período seco é o fator climático preponderante nos processos ecológicos da atual cobertura vegetal, refletindo na sua fitofisionomia e no comportamento das espécies que a compõem. O regime pluviométrico é caracterizado por uma estação bem marcada, concentrada em março/abril, com baixa pluviosidade, raramente ultrapassando os 700 mm/ano. As temperaturas médias anuais são elevadas, em torno de 28 °C com fraca amplitude térmica (entre 1 °C e 2 °C). Segundo Köppen, 1948, o clima da região pode ser classificado como BSw'h', correspondendo ao clima quente, semi-árido. É neste ambiente que a caatinga predomina sendo constituída basicamente pelos gêneros *Aspidosderma* (Pereiro), *mimosa* (Jurema), *Cróton* (marmel eiro), *Cobretum* (Mofumbo), *Cereus* (Mandacaru).

3. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE

O Rio Jaguaribe corta a porção centro-leste do estado do Ceará e parte da porção centro-sul, ocupando uma área de cerca de 74600 km². O padrão de drenagem da bacia é o dentrítico. Entretanto, na foz e proximidades, aparece o padrão anastomótico e, no alto curso do Rio Banabuiú (afluente da margem esquerda), o padrão subdentrítico. O padrão de drenagem paralelo e o subparalelo ocorrem em boa parte do alto curso, assim como o padrão retangular. A sua bacia possui uma forma bastante irregular, apresentando nos altos e médios cursos uma largura média de 220 km enquanto que no baixo curso passa a ter uma largura de 80 km que vai diminuindo de forma gradativa até o mar onde atinge os 40 km de largura. O marco indicativo do km “Zero” do Rio Jaguaribe localiza-se a aproximadamente 4 km do município de Tauá, mais exatamente no encontro dos rios Carrapateira e Truçú (Figura 01). Como principais afluentes da margem esquerda do Jaguaribe aparecem os Rios Palhano, Banabuiú, na margem direita temos os rios Salgado, Bastiões, Conceição, Jucá. As áreas de acumulação de água mais importantes constituem-se nos açudes de Orós, Banabuiú, Castanhão e Cedro.

4. SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

Segundo Cavalcante, 1999 e Formiga, 2001 as rochas do embasamento, que ocorrem separando as faixas Orogenéticas Orós e Jaguaribe, são correlacionadas lito-estratigraficamente ao complexo gnáissico-migmatítico denominado de Complexo Caicó. Esta unidade foi originalmente definida como uma seqüência de gnaisses e migmatitos com intercalações de metarcósios, que encerra uma grande variedade litológica, de elevado grau metamórfico, onde predominam as associações do domínio da fácies almandina-anfibolito e granulito. Associados ocorrem ortognaisses tonalíticos e granodioríticos, bandados e parcialmente migmatizados, e metassedimentos (principalmente pelíticos, com biotita-granada-sillimanita), com raras ocorrências de quartzitos e calciossilicáticas. As Faixas Orós e Jaguaribe são, constituídas por seqüências metavulcânicas, metassedimentos e rochas intrusivas dispostas em faixas contínuas de direção NNE, que próximo às cidades de Icó e Iguatu assumem direção ENE. A Faixa Orós especificamente é composta por metassedimentos, metavulcânicas e metaplutônicas. Os metassedimentos são na sua maioria, pelíticos formados por xistos aluminosos com intercalações de quartzitos, mármore e calciossilicáticas. A seqüência metavulcânica é representada por metavulcânicas ácidas (dacitos, riocacitos, riolitos e tufo ácidos) e em menor proporção, por metavulcânicas básicas (metabasaltos e metaandesitos). Um conjunto metaplutônico recorta a seqüência vulcanossedimentar, sendo composto por vários tipos de ortognaisses, com composição variando de granítica a granodiorítica. Já a Faixa Jaguaribe é composta por uma associação vulcano-plutônica e subordinadamente, por metassedimentos, principalmente xistos e quartzitos. Os quartzitos são finos e puros ou muscovíticos, enquanto os xistos são ricos em muscovita, biotita e granada. As rochas plutônicas são compostas por

augen-gnaisses e corpos dioríticos que ocorrem como diques intrusivos nos gnaisses. As rochas vulcânicas estão representadas por lavas e piroclásticas ácidas de composição predominantemente riolítica. No que diz respeito às coberturas sedimentares destaca-se a Bacia Potiguar que está localizada quase em sua totalidade no Estado do Rio Grande do Norte e uma pequena porção no Estado do Ceará, sendo localizada no extremo leste da margem equatorial brasileira. Matos (1987) propõem sua origem como decorrente de um processo de rifteamento, em resposta a um afinamento crustal atuante na Província Borborema, durante o fraturamento do Gondwana e a formação do Oceano Atlântico. A evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar é apresentada por três estágios tectônicos principais: rifte (Grupo Areia Banca), transicional (Grupo Apodi) e drifte (Grupo Agulha). A assembléia de minerais pesados do Rio Jaguaribe é mais influenciada pelos Grupos Apodi (Fm. Açú) e secundariamente pelo Grupo Agulha (Fm. Tibau). No topo da coluna estratigráfica mais especificamente no final do Terciário até o Quaternário destacam-se os sedimentos do Grupo Barreiras e os depósitos de dunas que destacam-se nas porções litorâneas. O Grupo Barreiras compreende sedimentos arenosos a areno-argilosos de coloração predominantemente avermelhada, devido a cimentação por óxidos de ferro. No conjunto são interpretados como depósitos ligados ao sistema fluvial meandrante. Já os depósitos eólicos (dunas de areias quartzosas) são classificadas basicamente em paleodunas e dunas móveis. As paleodunas são sedimentos eólicos quaternários atualmente fixados pela vegetação, constituídas predominantemente por quartzo em forma de areias quartzosas, bem selecionadas e com grãos arredondados. As dunas móveis referem-se às que se formam atualmente. Estão associadas ao desenvolvimento do litoral atual, e formam extensos cordões paralelos à praia. Recobrem tanto o Grupo Barreiras como os depósitos fluviais recentes.

5. METODOLOGIA

5.1 Trabalhos Prévios

Constou da revisão bibliográfica e análise crítica sobre os aspectos geomorfológicos e sedimentares disponíveis sobre as bacias sedimentares Meso-cenozóicas da Província Borborema (Bacias Potiguar, Pernambuco-Paraíba e Ceará) e coberturas interiores da região, em especial foram analisados os aspectos diretamente relacionados à bacia do Rio Jaguaribe. Consulta a bibliografia especializada sobre estudos de proveniência e caracterização de minerais pesados auxiliaram e serviram de subsídio para o reconhecimento e interpretação das assembléias. Cartas topográficas da SUDENE na escala 1:100000, imagens de satélite (LANDSAT) digitais, além de fotografias aéreas convencionais, foram analisadas com auxílio de softwares de processamento digital de imagens como por exemplo o ER-Mapper 5.2, com o objetivo de selecionar pontos representativos para a coleta de sedimentos ao longo das principais drenagens. Estas ferramentas serviram também para a confecção do mapa de drenagem e vias de acesso assim como o reconhecimento das principais feições geomorfológicas.

5.2 Trabalhos de Campo

Constou na visita aos 16 alvos selecionados na etapa anterior. Estes alvos foram distribuídos de forma a abranger as diferentes litologias que poderiam contribuir com sedimentos, levando-se sempre em consideração a influência dos principais afluentes. Para coleta de amostras na região da foz do Rio Jaguaribe (Fortim) foi utilizado um barco-motor e uma draga pontual. Em locais onde havia a presença de barragens foram coletadas duas amostras, uma antes e outra logo após a barragem.



Figura 03 - Mapa de localização, vias de acesso e pontos de coleta de amostra.

5.3 Trabalhos de Laboratório

Em laboratório foram realizados estudos sedimentológicos tradicionais para caracterização do sedimento. Inicialmente as amostras foram secas, quarteadas e posteriormente peneiradas nos intervalos 1,400 mm, 1,000 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,350 mm, 0,250 mm, 0,170 mm, 0,125 mm, 0,088 mm e 0,062 mm, entretanto, apenas a fração areia muito fina (0,125 a 0,064 mm) foi utilizada para análise de minerais pesados, devido a esta ser uma fração representativa da amostra como um todo. Posteriormente os minerais pesados foram separados utilizando-se o separador Frantz e/ou por gravidade, onde o líquido utilizado foi o bromofórmio. Ao todo foram confeccionadas 31 lâminas correspondentes a 31 amostras coletadas. Foi utilizado como líquido de imersão o balsamo do Canadá, cujo índice de refração (n) é igual a 1,54. Na etapa seguinte foi realizada a contagem de 300 grãos transparentes em cada uma das 31 lâminas através do método de contagem em faixa, que corresponde à seleção de bandas na lâmina, com isso os resultados obtidos foram independentes do tamanho do grão, e foram dados em números de frequência. Paralelamente a estes trabalhos foram realizados ataques

químicos com HCl e H₂O₂ para obtenção de teores de carbonato de cálcio (CaCO₃) e matéria orgânica respectivamente.

6. CARACTERIZAÇÃO DE MINERAIS PESADOS

As amostras como um todo mostram uma média de 90% de minerais leves e 8% de pesados, dentro da qual menos de 10% são de minerais opacos. Várias espécies de minerais pesados transparentes foram identificadas ao longo do rio Jaguaribe, tais como: hornblenda, epídoto, zircão, turmalina, andaluzita, sillimanita, rutilo, granada, biotita, cianita, estauroлита. No entanto, observa-se que algumas assembléias se destacam sobre as outras como é o caso da hornblenda, epídoto, zircão, turmalina, rutilo e biotita que ocorrem em todas as amostras, esta última não ocorrendo apenas em uma das amostras da foz.

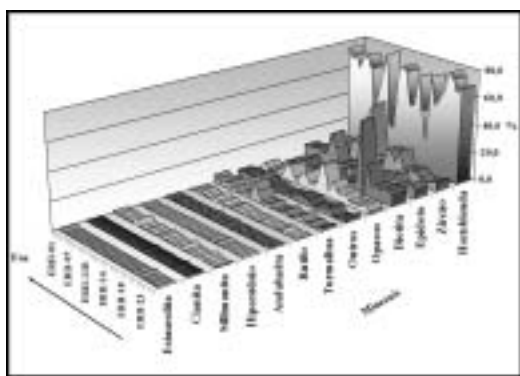


Figura 04 - Distribuição dos minerais pesados ao longo do Rio Jaguaribe.

A hornblenda é o anfibólio mais comum, e mais abundante ao longo de todo o rio. Constitui mais da metade da assembléia dos pesados transparentes. Apresenta formas prismáticas, grãos angulosos a subangulosos, por vezes intemperizados. Normalmente é verde claro à verde escuro. O epídoto ocorre em proporções mais reduzidas, aproximadamente 7% dos minerais transparentes. Valores acima da média são encontrados nas amostras ERH-10A e ERH-10B, 24,2 e 14,4% respectivamente, localizadas nas proximidades de Jaguaruana. Normalmente são equidimensionais, angulosos, bastante intemperizados, evidenciando pleocroísmo característico. A biotita perfaz cerca 7,5% dos transparentes. Mostra-se raramente intemperizada em lamelas de cor marrom escura. As amostras ERH-18 e ERH-28 mostram valores anômalos, 52,7 e 23,8% respectivamente, foram coletadas nas proximidades do Açude Orós. O zircão, turmalina e o rutilo foram combinados para a quantificação da maturidade mineralógica, que variou de 5 a 55% este último valor encontrado nas amostras ERH-12A e 12B nas proximidades de Russas. O zircão constitui em média 11% dos transparentes, podendo chegar a 46% na amostra ERH-12B. Os grãos encontrados vão desde prismáticos, idiomórficos, a fragmentos anedrais arredondados a subarredondados, muitas vezes incolores ou até rosados e amarelados. A turmalina constitui uma média de 3% entretanto pode chegar a atingir 13,6% na

amostra ERH-12A (Russas). É normalmente euédrica prismática de coloração amarelada a caramelada. O rutilo é mais raro e não ultrapassa 1% da assembléia, ocorre desde grãos prismáticos até subarredondados. Assim como o rutilo, a cianita, estauroлита, sillimanita, hiperstênio e andaluzita não ultrapassam 1% em média da assembléia de minerais transparentes.

7. PROCESSOS ATUANTES

Com o intuito de definir o papel de cada um dos processos envolvidos (intemperismo, transporte, condições hidráulicas e diagênese) na geração de assembléias dos minerais pesados, e dessa forma, isolar os efeitos impostos pela fonte daqueles relacionados aos processos de sedimentação, foram utilizadas razões minerais, que são comparativamente imunes a alterações durante o ciclo sedimentar. Inicialmente com o objetivo de eliminar a influência da granulometria, em reposta ao fracionamento hidráulico foi utilizada apenas a fração areia muito fina (0,125mm a 0,063mm). As razões aqui analisadas visam examinar a influência do fracionamento hidráulico pela forma e densidade dos minerais. O primeiro índice é o de fracionamento pela forma, que é expresso pela relação entre minerais equidimensionais (ex. granada e epídoto) e minerais alongados, prismáticos (ex. piroxênio, hornblenda, turmalina, zircão e rutilo). A razão utilizada aqui é epídoto/(hornblenda+turmalina). O segundo índice é o de fracionamento hidráulico pela densidade e é expresso pela relação entre minerais opacos (peso específico médio = 4,7) e minerais não opacos (peso específico = 3,7). Já a contribuição da decomposição química seletiva à variação dos minerais pesados foi inferida a partir do índice de instabilidade (zircão+turmalina+rutilo)/hornblenda, referidos como E/HT, O/NO e ZTR/H, respectivamente.

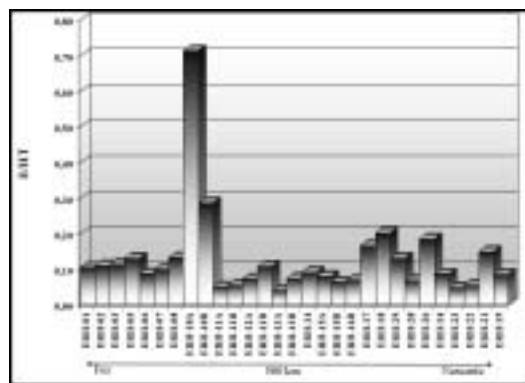


Figura 5 – Índice de fracionamento pela forma E/HT e sua respectiva distribuição ao longo do Rio Jaguaribe.

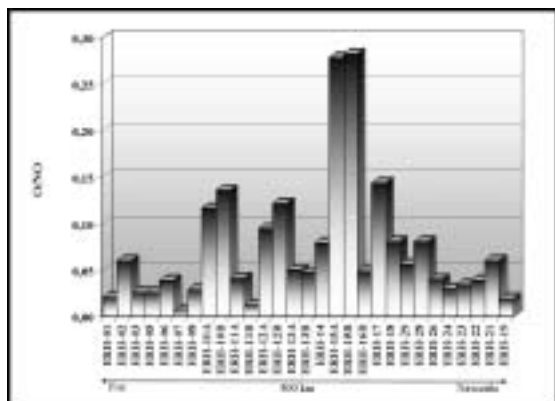


Figura 6 – Índice de fracionamento hidráulico O/NO e sua respectiva distribuição ao longo do Rio Jaguaribe.

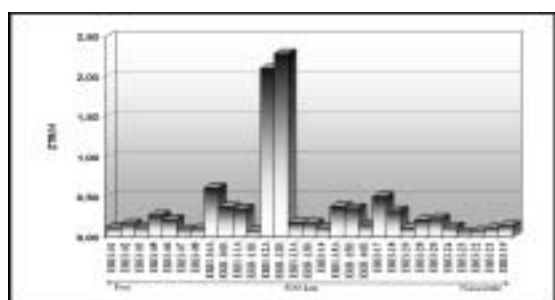


Figura 7 – Índice de decomposição seletiva ZTR/H e sua respectiva distribuição ao longo do Rio Jaguaribe.

A análise das razões supracitadas mostra que a decomposição seletiva (estabilidade mineral), demonstrada pelo índice ZTR/H, como um todo não exerceu um papel significativo na variação de minerais pesados, processo que foi relativamente uniforme ao longo de todo o rio. Especificamente as amostras ERH-12A e ERH-12B, mostraram valores bem fora da média. Sugere-se que o Rio Banabuiú pode ter contribuído com quantidades consideráveis de sedimentos estáveis (zircão, turmalina e rutilo) provocando assim os altos valores observados. Os efeitos do fracionamento hidráulico são observados ao longo de todo o rio. O fracionamento hidráulico pela forma é sugerido pela razão E/HT, que evidencia diferenças significantes, principalmente nas amostras ERH-10A e 10B (aproximadamente 50km da foz). Da mesma maneira, as contribuições do fracionamento hidráulico pela densidade, razão O/NO, apresenta oscilações da nascente a foz. Nota-se que os picos são muito mais acentuados nas amostras coletadas antes das barragens comprovando-se portanto um forte seccionamento hidráulico privilegiando a deposição dos mais densos e transporte dos menos densos.

8. CONCLUSÕES

A assembléia de minerais pesados identificada ao longo do Rio Jaguaribe é relativamente diversificada sendo composta por hornblenda, epídoto, zircão, estauroilita, cianita, opacos, biotita, turmalina, rutilo, sillimanita, hiperstênio. Destes, há um predomínio da hornblenda, epídoto, biotita e zircão que somados, constituem mais de 80% da assembléia. De forma simplificada pode-se dividir a contribuição de sedimentos em três regiões de influência: a primeira, dominada

principalmente por rochas do Complexo Acopiara e Jaguaretama (embasamento) e Grupo Orós Jaguaribe (metassedimentos) e secundariamente por granitídeos (Paleoproterozóicos a Neoproterozóicos) se estendendo desde a nascente até as proximidades do Açude Castanhão. Estas rochas contribuiriam principalmente com hornblenda, epídoto, biotita, zircão, turmalina e subordinadamente com sillimanita, andaluzita, cianita, rutilo. A segunda, caracterizando-se por uma zona de transição que sofre influência tanto das rochas supracitadas quanto dos sedimentos da Bacia Potiguar, que vai do açude Castanhão até as proximidades da cidade de Tabuleiro do Norte. E a terceira dominada pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar, principalmente por arenitos da formação Açu além do Grupo Barreiras e depósitos litorâneos (dunas), que se estendem desde da cidade de Tabuleiro do Norte até a região da foz. Estudos realizados ao longo do Rio Açu-RN mostraram que a contribuição destas seriam mais efetivas com relação a hornblenda, epídoto e zircão. (Silva e Vital, 2000; Souza et al, 2000).

As relações de O/NO, ZTR/H e E/HT evidenciam alguns parâmetros que merecem destaque, como é o caso do O/NO que deixa claro uma importante influência das barragens na assembléia de minerais pesados descaracterizando assim a distribuição normal dos sedimentos. Já a relação ZTR/H mostra uma contribuição significativa do Rio Banabuiú em relação a assembléia de estáveis merecendo portanto estudos mais refinados e específicos. O E/HT mostra um fracionamento pela forma, mais efetivo nas amostras próximas à nascente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos a Agência Nacional do Petróleo, através do PRH-22, pela concessão da bolsa de graduação ao primeiro autor; a UFRN-DG-PPGG pela infraestrutura necessária ao desenvolvimento da pesquisa, e a PETROBRAS pela encomenda do Projeto em que esta pesquisa está inserida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAVALCANTE, J.C. (1999). Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, PPGG – UFRN.
- FORMIGA, L.C.J. (2001). Tectônica Rúptil e sismicidade da área de inundação do açude do Castanhão (CE): Implicações para o risco sísmico. Dissertação de Mestrado, PPGG – UFRN.
- KÖPPEN, W (1948). Climatologia; Con un estudio de los climas de la tierra. Version de Pedro R. Hendrichs. México, Fondo de cultura econômica, 478p.
- MATOS, R.M.D (1987). Sistema de Riftes Cretáceos do NE Brasileiro: In Seminário de tectônica da Petrobras, 1. Rio de Janeiro, atas... PETROBRAS/CENPS/ DEPEX.p. 126-259.
- SILVA, M.G. e VITAL, H. (2000). Provenance of heavy-minerals in the Piranhas-Açu River, NE Brazil. Revista Brasileira de Geociências. 30(3):449-452.
- SOUZA, D.C.; VITAL, H. e FONSECA, V.P. (2000). Stratigraphic significance of heavy minerals in sediments of NE Brazil. Revista Brasileira de Geociências. 30(3):466-469.