

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DO PORTO DE NATAL NO ESTUÁRIO DO RIO POTENGI, MUNICÍPIO DE NATAL/RN**

Amauri Azevedo Chaves (*), José Beldson Elias Ramos, Leão Xavier da Costa Neto, Marcondes Mendes de Souza
*Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN, amaurialvirubro@yahoo.com.br

RESUMO

Desde a antiguidade o homem vem fazendo uso dos recursos naturais, sendo que na maioria das vezes tem desconsiderado a finitude desses, na medida em que desmata a vegetação nativa, polui o ar, provoca erosão, assoreia e polui os rios. Além de não utilizar estratégias sustentáveis como forma de planejamento ambiental para os resíduos sólidos gerados. Esse estudo teve como objetivo caracterizar quimicamente e granulometricamente o sedimento proveniente do canal dragado do Porto de Natal no estuário do Rio Potengi, município de Natal/RN, de forma a estudar a possibilidade de sua utilização na indústria ceramista. Reduzindo a extração da argila continental como matéria-prima mineral, bem como eliminando os impactos ambientais adversos na disposição final do material dragado em áreas do oceano denominadas de "bota-fora". Inicialmente foi definido um procedimento para coleta das amostras do canal de dragagem no estuário do Rio Potengi, no município de Natal/RN, no qual foram escolhidos 33 locais de coletas entre a foz do Rio Potengi e o Porto de Natal. As respectivas amostras foram analisadas quimicamente por Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX) utilizando-se o espectrômetro de energia dispersiva EDX-720 da Shimadzu, granulometricamente pelo programa "Sistema de Análise Granulométrica - SAG" desenvolvido pelo Departamento de Geologia/Lagemar da Universidade Federal Fluminense (UFF) e pela quantificação de perda ao fogo (PF). Pode-se verificar que os sedimentos de fundo do canal do estuário do Rio Potengi, que são periodicamente retirados mediante a dragagem para melhoria do transporte marítimo, revelaram-se ser uma areia argilosa de granulação média com cascalho esparsos com propriedades químicas compatíveis para sua aplicação na indústria cerâmica, mediante atendimento aos pré-requisitos exigidos nas normas, por agregar-lhes valor econômico, contribuindo para reduzir os impactos ambientais adversos gerados pela disposição final do material dragado nas áreas oceânicas chamadas de bota-fora e pela redução da extração da argila continental como matéria-prima mineral para os produtos cerâmicos.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentos, Composição Química, Granulometria, Dragagem, Transporte Marítimo

ABSTRACT

Since ancient times, man has been making use of the natural resources, and for the most part he has disregarded the finitude of these, as he deforests the native vegetation, pollutes the air, causes erosion, buries and pollutes the rivers. In addition to not using sustainable strategies as a form of environmental planning for the solid waste generated. This study aimed to chemically and granulometrically characterize the sediment coming from the dredged channel of the Port of Natal in the Potengi River estuary, Natal / RN, in order to study the possibility of its use in the ceramist industry. Reducing the extraction of the continental clay as a mineral raw material, as well as eliminating the adverse environmental impacts in the final disposal of the dredged material in areas of the ocean called "kick-off". A procedure was initially established for the collection of samples from the dredging channel in the Potengi River estuary, in Natal / RN, in which 33 collection sites were chosen between the mouth of the Potengi River and the Port of Natal. The samples were chemically analyzed by X-Ray Fluorescence Spectroscopy (FRX) using the Shimadzu EDX-720 dispersive energy spectrometer, granulometrically by the program "SAG Analysis System" developed by the Department of Geology / Lagemar of the University Federal Fluminense (UFF) and by the quantification of fire loss (PF). It can be verified that the bottom sediments of the channel of the Potengi River estuary, which are periodically removed by dredging to improve sea transport, have proved to be a sandstone medium-grained with sparse gravel with compatible chemical properties for its application in the ceramic industry, by meeting the prerequisites required by the standards, by adding economic value to them, contributing to reduce the adverse environmental impacts generated by the final disposal of the dredged material in the oceanic areas called boot-off and by the reduction of clay extraction as a raw material for ceramic products.

KEY WORDS: Sedimentation, Chemical Composition, Granulometry, Dredging, Maritime Transport

INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos o homem vem fazendo uso dos recursos naturais, sendo que na maioria das vezes tem desconsiderado a finitude desses, na medida em que desmata a vegetação nativa, polui o ar, provoca erosão, assoreia e



polui os rios, dentre outras, além de, não utilizar estratégias sustentáveis como forma de planejamento ambiental para os resíduos sólidos gerados.

Segundo Franco (2000) compreende-se por planejamento ambiental como sendo “todo esforço da civilização na direção da preservação e conservação dos recursos ambientais de um território, com vistas à sua própria sobrevivência”. Essa lógica expõe a aplicação racional do conhecimento científico humano ao processo de tomada de decisões para otimização da utilização dos recursos naturais com a finalidade de preservar o meio ambiente obtendo o máximo de benefícios para a sociedade.

Além disso, o planejamento ambiental para resíduos sólidos é apontado como sendo fundamental para o desenvolvimento econômico e social, equilibrando a utilização dos recursos mediante práticas sustentáveis, visando a gestão de conflitos entre conservação ambiental, extração de matérias-primas com o crescimento populacional e tecnológico. Podendo nesse sentido contribuir para reduzir problemas ambientais e aumento da melhoria de vida antrópica, tanto urbana quanto rural (SANTOS, 2004).

O crescimento das áreas urbanas e o intenso processo de industrialização tem contribuído para a constituição de uma crise ambiental mediante a exclusão de moradia adequada para grande número de pessoas e disponibilidade de saneamento no contexto de: distribuição de água potável, tratamento de esgoto, coleta dos resíduos sólidos e construção de galerias pluviais, o que tem comprometido a manutenção dos recursos naturais como: a água, o solo, a vegetação nativa e o ar (BRAGA, 2005).

Conforme relata Correa (2008) diversos estudos acadêmicos, teses e dissertações, tem destacado que muitos problemas socioespaciais vêm ocorrendo tanto no mundo assim como no Rio Grande do Norte (RN), principalmente devido à urbanização constante associada ao desenvolvimento do capitalismo e da ausência de um saneamento ambiental adequado, como por exemplo a destinação precária dos resíduos sólidos, nas cidades. O poder público funciona como agente regulador e minimizador desses problemas, entretanto, o desenvolvimento de uma política de preservação ao meio ambiente não tem sido prioridade entre as ações do poder público.

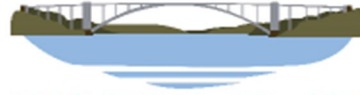
Para esse autor as cidades vêm passando por transformações no interior de suas estruturas urbanas, que têm feito surgir uma infinidade de problemas socioespaciais, principalmente ligados à economia e ao ambiente. As regiões estuarinas são ecossistemas que se caracterizam pela grande importância tanto para as civilizações humanas quanto para o equilíbrio ecológico. Dentro de uma perspectiva histórica, esses ecossistemas funcionaram como porta de entrada de toda a colonização e desenvolvimento de um país. Proporcionando a possibilidade de comunicação através do transporte marítimo e concentrando um grande número de atividades humanas que aí encontram condições favoráveis ao seu estabelecimento.

Segundo Carrascoza (2011) os estuários desempenham um papel de suma importância ecológica, apresentando altas concentrações de nutrientes transportados pelos rios e um habitat protegido que cria condições para o desenvolvimento de diversas espécies. Além de servir como berçário para outras tantas que desempenham papel determinante na cadeia alimentar marinha. Os estuários ainda servem de caminho para espécies aquáticas que passam uma parte das suas vidas nos rios e outra parte no mar.

Para Correa (2008) o estuário do Rio Potengi é um dos principais corpos hídricos do RN. A crescente ocupação das suas margens proporciona uma forte pressão e uma grande diversidade de atividades antropogênicas. No entorno do mesmo estão instaladas diversas indústrias, tais como as que atuam nos setores têxtil, de bebidas, de baterias, de confecções e de alimentos. Todas essas atividades interferem no estuário, provocando impactos no meio ambiente e pondo em risco o meio ao seu redor.

Dessa forma, a vulnerabilidade específica dos ecossistemas estuarinos deve-se, principalmente, à sua localização que permitiu ao longo do tempo a intensa ocupação de suas margens, servindo como receptor do escoamento das mercadorias pelo transporte marítimo. Diante dessa intensa movimentação de cargas, existe a necessidade de realizar obras de dragagem que é uma técnica de engenharia utilizada para remoção de materiais, solo, sedimentos e rochas do fundo de corpos de água (CARRASCOZA, 2011).

De acordo com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2016) as obras de dragagem objetivam remover os sedimentos que se encontram no fundo do corpo d'água para permitir a passagem das embarcações, garantindo o acesso ao porto. Na maioria das vezes, a dragagem é necessária quando da implantação do porto, para o aumento da profundidade natural no canal de navegação, no cais de atracação e na bacia de evolução. Também é necessária sua realização periodicamente para alcançar as profundidades que atendam o calado das embarcações.



O RN não tem tido um contexto diferente no ambiente estuarino no Rio Potengi, objeto deste estudo, uma vez que esse estuário vem sendo contaminado por uma variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas, provenientes da atividade antrópica, e não se tem estudos de planejamento ambiental para esse ecossistema, no contexto de resíduos sólidos bem como sobre a dragagem desses resíduos.

Portanto, justifica-se esse estudo pela necessidade de, periodicamente, ocorrer à redução do volume de sedimentos no interior do estuário, proporcionando profundidades compatíveis para navegação em quaisquer níveis d'água, uma vez que a navegação marítima no interior de rios geralmente apresenta dificuldades de acesso, devido ao assoreamento provocado pelo volume de sedimentos que se depositam nestes ecossistemas. No caso do estuário do Potengi, o regime hidráulico e as características geométricas da sua embocadura também influenciam no seu assoreamento.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo caracterizar quimicamente e granulométricamente o sedimento proveniente do canal dragado do Porto de Natal no estuário do Rio Potengi, município de Natal/RN, de forma a estudar a possibilidade de sua utilização na indústria ceramista. Reduzindo a extração da argila continental como matéria-prima mineral, bem como eliminando os impactos ambientais adversos na disposição final do material dragado em áreas do oceano denominadas de “bota-fora”.

METODOLOGIA UTILIZADA

Inicialmente foi definido um procedimento para coleta das amostras do canal de dragagem no estuário do Rio Potengi, no município de Natal/RN, no qual foram escolhidos 33 locais de coletas entre a foz do Rio Potengi e o Porto de Natal que tem 3,5 km, divididos em 11 linhas perpendiculares as margens do rio e 300 m equidistantes. Em cada linha foram definidos 3 pontos de coleta: uma na margem direita, uma no centro e uma na margem esquerda do rio, todas 80 m equidistantes, conforme mostra a figura 01. Utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS), com datum WGS 84, foram identificadas as coordenadas UTM (Zona 25S) de cada estação de amostragem.

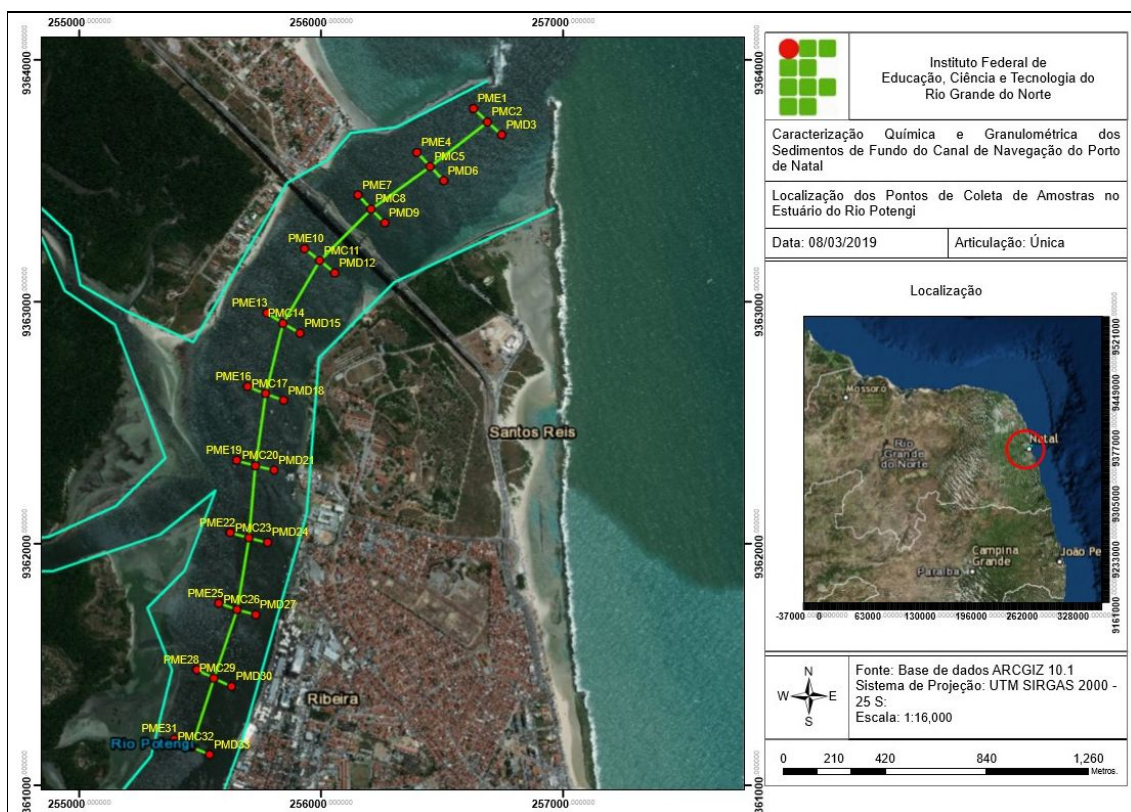
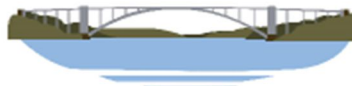


Figura 01 - Localização dos pontos de coleta de amostra no estuário do Rio Potengi. Fonte: Autor do Trabalho.



Para validação do processo, as coletas foram realizadas no mês de julho de 2017 e repetidas, conservando as condições dos locais de coleta, no final de agosto de 2017. O critério para escolha dos pontos de coleta foi baseado nos mapas do plano diretor para as obras de dragagem ao longo do principal canal de navegação de acesso ao Porto de Natal (VITAL, 2008). Para o deslocamento ao ponto de amostragem foi utilizado a embarcação da praticagem do Porto de Natal (figura 02a). A amostragem foi realizada com o auxílio de uma draga Van Veen (figura 02b) confeccionada em aço inoxidável e, posteriormente, os sedimentos foram espalhados em uma bandeja para acondicionamento em sacos plásticos. Os equipamentos necessários para coleta eram lavados com a própria água corrente do estuário.



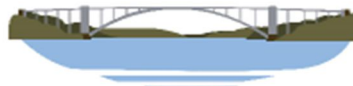
Figura 02 - Lancha da praticagem do Porto de Natal (a) e draga Van Veen utilizadas na amostragem (b). Fonte: Autor do Trabalho.

As amostras foram coletadas a uma profundidade entre 6,5 a 14,5 metros, com aproximadamente 3 kg cada amostra, identificadas e processadas no laboratório de processamento mineral e resíduos do Campus Natal-Central do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). As amostras foram secadas em estufa a 100° C por 24 h, posteriormente foram desaglomeradas manualmente com o auxílio de pistilo e almofariz. Foram homogeneizadas, quarteadas, pesado 100g de cada amostra utilizando uma balança eletrônica de precisão e adicionadas na parte superior da pilha de 6 (seis) peneiras com malhas de <0,063; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; e 2mm respectivamente. Em seguida, ligou-se o agitador de peneiras por 10 minutos e após esse tempo procedeu-se com o peneiramento manual afim de quantificar granulometricamente cada ponto de coleta. Posteriormente, as amostras foram novamente homogeneizadas, quarteadas e passadas em peneira com malha de 200 Mesh (ABNT nº 70, abertura de 0,074 mm). Após o peneiramento, as amostras foram embaladas em sacos plásticos e examinadas quimicamente no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais (LCEM), que é vinculado ao Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As respectivas amostras foram analisadas quimicamente por Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX) utilizando-se o espectrômetro de energia dispersiva EDX-720 da Shimadzu, analisadas granulometricamente pelo programa “Sistema de Análise Granulométrica - SAG” desenvolvido pelo Departamento de Geologia/Lagemar da Universidade Federal Fluminense (UFF) e pela quantificação de perda ao fogo (PF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises utilizando o programa “Sistema de Análise Granulométrica - SAG” indicam a presença de areias de granulação média, fina, grossa e muito grossa. Em relação à seleção dos grãos, as amostras se dividem em: pobremente selecionada, moderadamente selecionada e bem selecionada. A assimetria ficou distribuída entre: negativa, muito negativa e aproximadamente simétrica. Quanto a curtose, encontramos amostras variando entre mesocúrtica, platicúrtica, leptocúrtica e muito leptocúrtica.

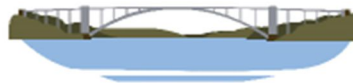
No quadro 01, constata-se que as amostras PMD 9, PMC 17, PMC 20, PMD 21, PME 22, PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PME 28, PMC 29 e PME 31 apresentam areia de granulação fina. Já as amostras PME 10, PMC 11, PME 13, PMC 14, PMD 15, PMD 18, PME 19, PMD 27, PMD 30 e PMD 33 tem areia média. As amostras que apresentaram areia grossa são: PMD 3, PME 4, PMC 5, PMD 6, PME 7, PMC 8, PMD 12, PME 16 e PMC 32. Apenas duas amostras, PME 1 e PMC 2, tiveram areia muito grossa na sua composição.



Quadro 01 - Resultados das análises de classificação granulométrica dos sedimentos de fundo do canal de dragagem do Porto de Natal-RN.

Fonte: Autor do Trabalho.

Amostra	Classificações Sedimentológicas					
	Média	FOLK				Shepard
		Granulometria	Grau de Seleção	Curtose	Assimetria	
PME 1	Areia Muito Grossa	Areia com Cascalho	Pobremente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Muito Negativa	Areia
PMC 2	Areia Muito Grossa	Areia com Cascalho	Moderadamente Seleccionada	Platicúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PMD 3	Areia Grossa	Areia com Cascalho	Moderadamente Seleccionada	Platicúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PME 4	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 5	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PMD 6	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Muito Leptocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PME 7	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PMC 8	Areia Grossa	Areia com Cascalho	Pobremente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 9	Areia Fina	Areia	Moderadamente Seleccionada	Platicúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PME 10	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PMC 11	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Muito Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 12	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PME 13	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Platicúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 14	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Pobremente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 15	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PME 16	Areia Grossa	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 17	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Platicúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 18	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Pobremente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Positiva	Areia
PME 19	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 20	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Muito Negativa	Areia
PMD 21	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PME 22	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Bem Seleccionada	Muito Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 23	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Muito Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 24	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PME 25	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia



PMC 26	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Muito Leptocúrtica	Assimetria Muito Negativa	Areia
PMD 27	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Pobremente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PME 28	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMC 29	Areia Fina	Areia	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 30	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Pobremente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia
PME 31	Areia Fina	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Muito Negativa	Areia
PMC 32	Areia Grossa	Areia com Cascalho	Moderadamente Seleccionada	Leptocúrtica	Assimetria Negativa	Areia
PMD 33	Areia Média	Areia com Cascalho Esparso	Moderadamente Seleccionada	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Areia

Na classificação granulométrica proposta por Folk (1954), observamos que a maioria das amostras apresentaram diâmetro médio de areia com cascalho esparso, foram elas: PME 4, PMC 5, PMD 6, PME 7, PME 10, PMC 11, PMD 12, PME 13, PMC 14, PMD 15, PME 16, PMC 17, PMD 18, PME 19, PMC 20, PMD 21, PME 22, PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PMD 27, PME 28, PMD 30, PME 31 e PMD 33. Apenas cinco amostras apresentaram areia com cascalho, foram elas: PME 1, PMC 2, PMD 3, PMC 8 e PMC 32. Conforme mostra a figura 03, as amostras PMD 9 e PMC 29 foram as únicas que tiveram o diâmetro médio classificado apenas de areia. Já na classificação granulométrica de Shepard (1954), todas as amostras são classificadas na classe de grãos de areia (figura 04).

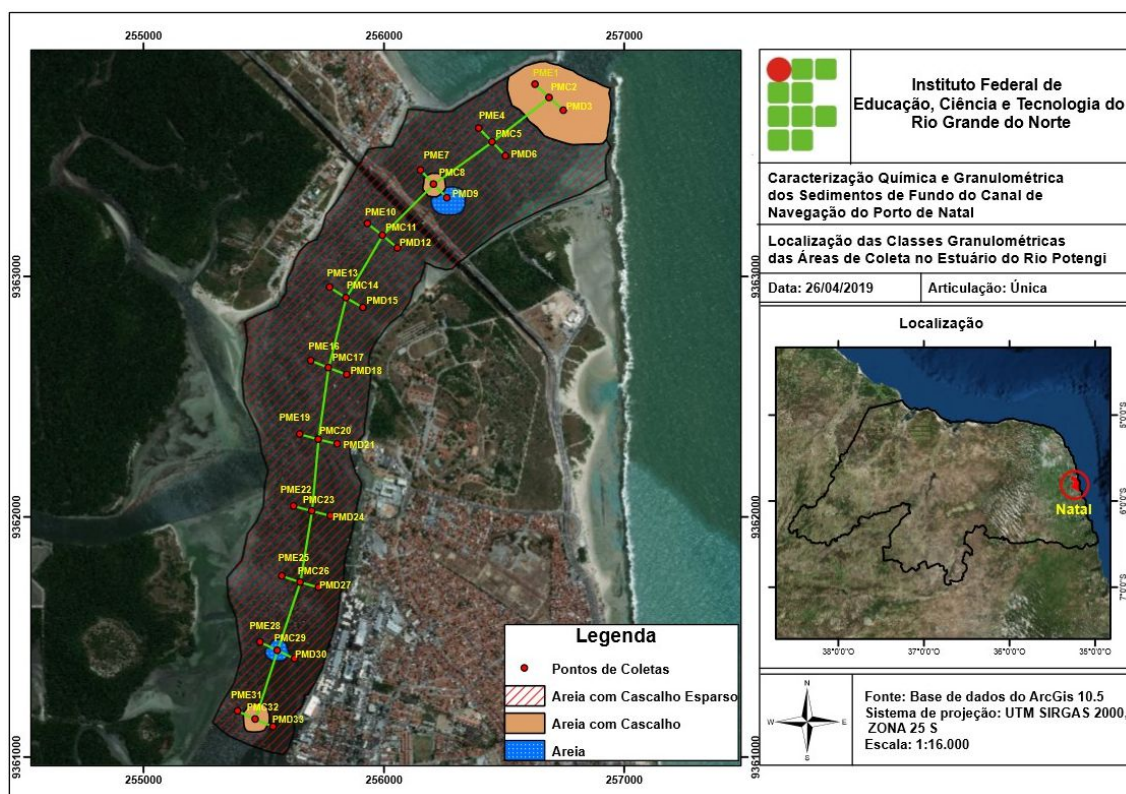
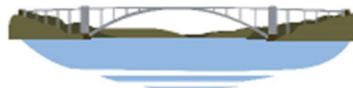


Figura 03 - Localização das classes granulométricas nas áreas de coleta no Rio Potengi. Fonte: Autor do Trabalho.

Nos parâmetros estatísticos, a maioria das amostras mostraram-se ser moderadamente seleccionada, foram elas: PMC 2, PMD 3, PME 4, PMC 5, PMD 6, PME 7, PMD 9, PME 10, PMC 11, PMD 12, PME 13, PMD 15, PME 16, PMC 17, PME 19, PMC 20, PMD 21, PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PME 28, PMC 29, PME 31, PMC 32 e PMD 33. As amostras que apresentaram a característica de ser pobremente seleccionada foram: PME 1, PMC 8, PMC 14, PMD 18,



PMD 27 e PMD 30. Já a amostra PME 22 foi a única que apresentou ser bem selecionada. A curtose indicou que as amostras PME 1, PMC 5, PME 7, PMC 8, PME 10, PMD 12, PMD 15, PME 16, PMD 18, PME 19, PMD 27, PME 28, PMC 29, PMD 30 e PMD 33 são mesocúrtica. As amostras PMC 2, PMD 3, PMD 9, PME 13 e PMC 17 foram platicúrtica. As amostras PME 4, PMC 14, PMC 20, PMD 21, PMD 24, PME 25, PME 31 e PMC 32 tiveram resultado de leptocúrtica. E as amostras PMD 6, PMC 11, PME 22, PMC 23 e PMC 26 foram muito leptocúrtica. Por fim, na análise da assimetria, as amostras PMD 3, PME 4, PMC 8, PMD 9, PMC 11, PMD 12, PME 13, PMC 14, PME 16, PMC 17, PME 19, PMD 21, PME 22, PMC 23, PMD 24, PME 28, PMC 29 e PMC 32 apresentaram ter assimetria negativa. Já as amostras PMC 2, PMC 5, PMD 6, PME 7, PME 10, PMD 15, PME 25, PMD 27, PMD 30 e PMD 33 são aproximadamente simétrica. As amostras PME 1, PMC 20, PMC 26 e PME 31 tiveram a assimetria muito negativa. E a única amostra que apresentou assimetria positiva foi a PMD 18.

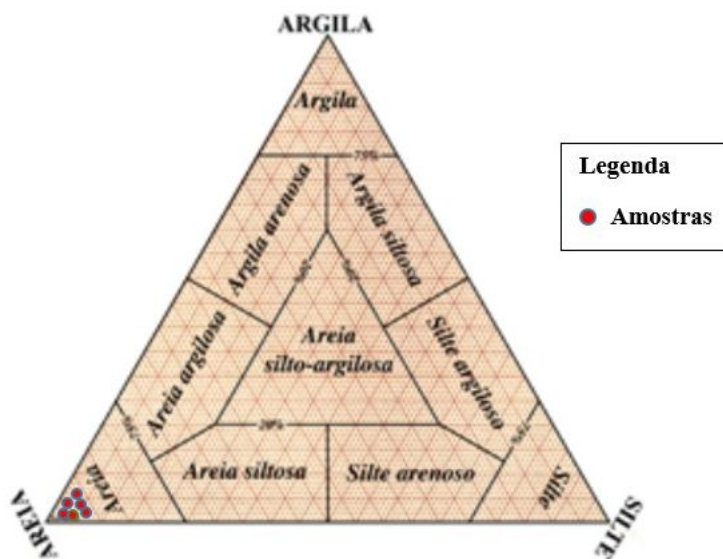


Figura 04 - Localização das amostras na classe de grãos de areia no Diagrama de Shepard (1954). Fonte: Autor do Trabalho.

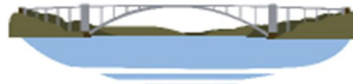
Os resultados das análises por Espectroscopia de Fluorescência de Raios X (FRX), dos sedimentos de fundo do canal de dragagem do Porto de Natal, constataram que na sua composição química havia concentrações significativas dos elementos Silício (Si), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe); com médio teor de Alumínio (Al), zircônio (Zr), Cloro (Cl), Potássio (K), Estrôncio (Sr) e Sódio (Na); e baixo teor nos demais elementos, a exemplo do Enxofre (S), Bromo (Br), Rubídio (Rb), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Tálcio (Ti), Germânio (Ge), Ítrio (Y), Zinco (Zn), Crômio (Cr), Samário (Sm), Ouro (Au), Bário (Ba) e Cobre (Cu).

Na tabela 01, verificou-se que a composição química dos óxidos apresenta concentrações significativas de SiO₂ (70% a 87%) nas amostras PME 1, PMC 2, PMD 3, PME 4, PMC 5, PMD 6, PME 7, PMC 8 e PME 10; de Al₂O₃ (6% a 8%) nas amostras PME 7, PMD 9 e PMC 11; para Fe₂O₃ (4% a 9%) nas amostras PMD 6, PMD 9 e PMC 11; e para CaO (acima de 15%) nas amostras PMD 9 e PMC 11. Podemos constatar médio teor de K₂O, ZrO₂, Na₂O, SO₃, SrO, Cl e MgO; e baixo teor nos demais óxidos como o Br, Rb₂O, MnO, TiO₂, Y₂O₃, GeO₂, ZnO, Cr₂O₃, Sm₂O₃ e CuO, cujos percentuais foram inexpressivos para o estudo.

Tabela 01 - Resultados das análises de óxidos (FRX) (% em massa) para as amostras PME 1 a PMC 11 dos sedimentos de fundo do canal de dragagem do Porto de Natal-RN.

Fonte: Autor do Trabalho.

Óxido	PME 1	PMC 2	PMD 3	PME 4	PMC 5	PMD 6	PME 7	PMC 8	PMD 9	PME 10	PMC 11
SiO ₂	81,11	80,14	78,73	73,65	86,90	70,01	83,65	79,48	31,04	80,28	51,76
Al ₂ O ₃	4,87	5,50	4,19	5,32	5,03	5,87	6,10	4,90	8,39	5,47	7,31
Fe ₂ O ₃	2,37	3,38	3,12	3,51	2,65	4,01	2,22	2,48	9,52	3,09	5,11
CaO	3,95	5,19	3,57	3,26	2,40	9,22	2,15	3,82	27,22	2,26	15,70
K ₂ O	1,78	1,27	1,57	2,08	1,63	1,75	1,88	1,37	2,12	2,02	1,84
ZrO ₂	2,06	-	2,61	3,29	-	1,64	1,74	2,17	2,54	1,64	5,30
Na ₂ O	1,76	-	-	2,13	-	-	-	-	6,47	-	2,95
SO ₃	0,87	0,79	0,81	0,92	0,58	0,95	0,81	0,85	1,76	0,76	1,65



SrO	0,75	0,61	0,73	0,96	0,41	1,42	0,55	0,44	1,36	0,52	1,83
Br	0,21	0,12	0,27	0,26	0,13	0,22	0,15	0,16	0,13	0,20	0,13
Rb ₂ O	0,27	0,28	-	-	0,21	0,20	0,24	0,22	0,08	-	0,14
Cl	-	2,05	3,53	3,93	-	3,48	-	3,02	7,49	3,03	4,84
MgO	-	0,57	0,37	-	-	0,70	-	0,38	1,77	0,45	1,33
MnO	-	0,10	-	-	0,08	0,06	-	-	0,11	0,11	0,06
TiO ₂	-	-	0,34	0,50	-	0,47	0,25	0,41	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GeO ₂	-	-	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,06
Sm ₂ O ₃	-	-	-	0,19	-	-	0,27	0,31	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PF	6,33	7,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Observamos na tabela 02 que a composição química dos óxidos apresenta concentrações significativas de SiO₂ (62% a 77%) nos postos de coleta PMD 12, PME 16 e PME 19; de Al₂O₃ (7% a 14%) nos locais de amostragem PME 13, PMC 14, PMD 15, PME 16, PMC 17, PMD 18, PME 19, PMC 20, PMD 21 e PME 22; para Fe₂O₃ (7% a 15%) nos pontos PME 13, PMC 14, PMD 15, PME 16, PMC 17, PMD 18, PMC 20 e PMD 21; e para CaO (16% a 28%) nas amostras PME 13, PMC 14, PMD 15, PMC 17, PMD 18, PMC 20 e PMD 21. Podemos constatar teor médio de K₂O, ZrO₂, SO₃, SrO, Cl e MgO; e teores baixos nos demais óxidos como o Br, Rb₂O, MnO, TiO₂, Y₂O₃, GeO₂, ZnO, Cr₂O₃ e Sm₂O₃, cujos percentuais são insignificantes para este estudo. Os elevados teores de fundentes observados nas amostras PMD 18, PMC 20 e PMD 21, óxido de ferro (Fe₂O₃ acima de 12%), que somado aos demais fundentes existentes (MgO e K₂O), chegam a 19,63%, é um excelente indicador para o aproveitamento na indústria ceramista (SANTOS, 2017). Visto que além de justificar a queima da argila em baixa temperatura entre 900 a 950° C, contribui para reduzir a absorção de água e a porosidade aparente das peças cerâmicas; bem como contribui para aumentar a sua resistência mecânica.

Tabela 02 - Resultados das análises de óxidos (FRX) (% em massa) para as amostras PMD 12 a PME 22 dos sedimentos de fundo do canal de dragagem do Porto de Natal-RN.

Fonte: Autor do Trabalho.

Óxido	PMD 12	PME 13	PMC 14	PMD 15	PME 16	PMC 17	PMD 18	PME 19	PMC 20	PMD 21	PME 22
SiO ₂	77,37	47,45	46,46	57,92	61,79	41,25	41,27	64,80	25,51	32,26	46,74
Al ₂ O ₃	4,47	8,15	9,26	8,28	8,31	10,15	12,50	7,44	11,38	13,61	9,49
Fe ₂ O ₃	4,40	6,85	6,85	7,24	6,79	8,25	11,61	5,49	13,73	14,95	5,43
CaO	5,15	18,20	17,62	15,65	6,61	22,49	20,61	6,02	28,03	22,28	9,33
K ₂ O	1,99	1,91	1,97	2,11	2,73	1,93	1,97	2,42	1,94	2,17	2,29
ZrO ₂	1,23	3,11	4,43	3,0	5,75	6,65	5,26	4,37	8,64	6,29	9,91
Na ₂ O	-	3,73	2,64	-	-	2,74	-	2,48	3,45	-	5,31
SO ₃	0,86	1,36	1,49	1,52	1,14	1,67	1,93	1,11	2,20	2,68	1,96
SrO	0,68	1,79	2,0	2,18	1,12	2,50	2,38	0,99	2,65	2,54	0,89
Br	0,23	0,13	0,15	0,23	0,14	0,16	0,21	0,14	0,19	0,19	0,08
Rb ₂ O	-	0,11	-	-	-	-	-	0,19	-	0,18	-
Cl	3,11	5,56	5,29	-	4,31	-	-	3,69	-	-	6,67
MgO	0,36	1,40	1,76	1,26	1,01	1,94	1,96	0,79	1,92	2,51	1,61
MnO	0,09	0,10	0,07	-	0,09	0,08	0,11	0,09	0,13	0,12	0,08
TiO ₂	-	-	-	0,61	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	0,17	-	-	0,17	0,14	0,15	-	0,19	0,21	0,18
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	0,07	-	-	-	0,04	-	0,04	-	0,04	0,04	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	0,03
PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Conforme mostra a tabela 03, aferimos que os óxidos que apresentam concentrações significativas continuam sendo o SiO₂ (53% a 78%) nas amostras PME 31, PMC 32 e PMD 33; o Al₂O₃ (10% a 16%) nos pontos PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PMD 27, PME 28 PMC 29, PMD 30, PME 31 e PMD 33; para Fe₂O₃ (16% a 21%) nos locais de amostragem



PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PMD 27, PME 28 PMC 29 e PMD 30; e para CaO (17% a 24%) nas amostras PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PMD 27, PME 28 PMC 29 e PMD 30. Com teor médio temos o K₂O, ZrO₂, SO₃, SrO e MgO; e dispõe de teores baixos nos demais óxidos como o Br, Rb₂O, MnO, Y₂O₃, ZnO e Cr₂O₃. As amostras PMC 23, PMD 24, PME 25, PMC 26, PMD 27, PME 28, PMC 29 e PMD 30 exibiram elevados teores de fundentes, óxido de ferro (Fe₂O₃ acima de 16%), que somado aos fundentes MgO e K₂O chegaram a 23,28% em média. Corroborando como ótimo indicador para o aproveitamento desse material pela indústria ceramista.

Tabela 03 - Resultados das análises de óxidos (FRX) (% em massa) para as amostras PMC 23 a PMD 33 dos sedimentos de fundo do canal de dragagem do Porto de Natal-RN.

Fonte: Autor do Trabalho.

Óxido	PMC 23	PMD 24	PME 25	PMC 26	PMD 27	PME 28	PMC 29	PMD 30	PME 31	PMC 32	PMD 33
SiO ₂	30,68	31,85	33,09	32,27	33,09	32,23	32,53	33,18	52,67	78,19	61,65
Al ₂ O ₃	15,21	15,02	14,78	16,23	15,22	14,75	15,66	15,90	13,08	5,25	10,0
Fe ₂ O ₃	18,77	15,59	16,97	20,51	19,02	19,84	18,94	17,40	10,38	3,63	8,64
CaO	23,10	22,03	16,81	17,83	23,59	19,27	18,24	21,80	7,22	4,21	11,83
K ₂ O	2,57	2,19	2,63	2,43	2,38	2,49	2,45	2,18	2,99	1,57	3,25
ZrO ₂	2,70	5,35	4,58	3,28	-	-	3,62	2,29	3,15	1,85	1,99
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	5,39	-	-
SO ₃	2,30	2,53	2,89	2,49	2,03	3,34	3,71	2,01	1,53	1,20	1,13
SrO	1,70	2,32	1,38	1,94	1,52	1,26	1,67	2,36	1,52	0,67	-
Br	0,17	0,20	0,13	0,19	0,21	0,18	0,21	0,23	0,17	0,22	0,18
Rb ₂ O	0,15	0,19	0,15	-	0,14	0,13	-	-	0,21	-	0,25
Cl	-	-	3,74	-	-	3,51	-	-	-	3,21	-
MgO	2,32	2,36	2,61	2,37	2,59	2,72	2,64	2,29	1,36	-	0,81
MnO	0,18	0,14	0,16	0,19	0,17	0,18	0,16	0,16	0,12	-	0,10
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	0,12	0,19	-	0,16	-	-	0,12	0,14	0,20	-	-
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	-	0,06	-	-	0,11
Cr ₂ O ₃	-	-	0,05	0,06	-	0,06	0,05	-	-	-	0,06
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,20	9,72

Foi realizado, também, a análise de perda ao fogo, no laboratório de processamento mineral e resíduos do Campus Natal-Central do IFRN, que consiste na calcinação de uma amostra de massa conhecida, em nosso caso, o restante da amostra utilizada na determinação da composição química. Esta análise foi utilizada para se ter uma ideia aproximada da quantidade de matéria volátil ou não volátil presente na amostra. Os resultados mostraram que os índices obtidos de perda ao fogo foram muito parecidos, pois as amostras utilizadas, para esta análise, sob a mesma faixa de temperatura na perda ao fogo variaram de 6 a 10%. No entanto, a temperatura de queima utilizada neste trabalho foi de 950° C. Essa faixa percentual da perda ao fogo encontrada está situada no intervalo de 6% a 15% que é específico para matérias-primas argilosas de cerâmica estrutural.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que os sedimentos de fundo do canal do estuário do Rio Potengi, que são periodicamente retirados mediante a dragagem para melhoria do transporte marítimo, revelaram-se ser uma areia argilosa com propriedades químicas compatíveis para sua aplicação na indústria cerâmica, mediante atendimento aos pré-requisitos exigidos nas normas, por agregar-lhes valor econômico, contribuindo para reduzir os impactos ambientais adversos gerados pela disposição final do material dragado nas áreas chamadas de bota-fora e pela redução da extração da argila continental como matéria-prima mineral para os produtos cerâmicos: tijolos, telhas, lajes, tubos, blocos e etc.

Os resultados granulométricos indicaram a presença de areias de granulação média com cascalho esparso. Com moderado grau de selecionamento, com dispersão tipo mesocúrtica ou leptocúrtica e assimetria negativa ou aproximadamente simétrica. Já as análises das composições químicas mostraram a existência de muitos óxidos fundentes que são um excelente indicador para o aproveitamento na indústria ceramista tendo em vista que contribui para reduzir a absorção de água e a porosidade aparente das peças cerâmicas; bem como contribui para aumentar a sua resistência mecânica.



Recomenda-se que para complementar as análises desse material na expectativa de ser incorporado na produção de produtos cerâmicos e comprovar a possibilidade de sua utilização deve-se analisar a questão da salinidade no sedimento, elaborar as análises químicas do SCP, índice de plasticidade (IP), análises térmicas (TGA e DTA) e analisar a morfologia utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) com análise e mapeamento por espectrômetro de energia dispersiva (EDS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Dragagem**. Brasília: 2016. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/portal/MeioAmbiente_Dragagem.asp. Acesso: 19 de outubro de 2016.
2. BRAGA, Benedito. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
3. CARRASCOZA, Lígia Soares. **Hidrocarbonetos alifáticos em sedimentos de fundo do estuário do rio Potengi, grande Natal (RN): implicações ambientais**. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
4. CORREA, Tatiana de Lima. **Impactos geoquímicos e sócio-ambientais no estuário do rio Potengi – região metropolitana da grande Natal/RN**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/Prodema, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
5. FOLK, R.L. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature**. Journal of Geology, 1954. 62(4):344-359.
6. FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume, 2000.
7. SANTOS, O. C. et al. **Caracterização de sedimento proveniente de dragagem de canais pluviais do município de Salvador-BA visando sua utilização em cerâmica estrutural**. Cerâmica Online. 2017, vol.63, n. 365, pág 99-108. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633652016>>. Acesso em: 28 de novembro de 2017.
8. SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
9. SHEPARD, F.P. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios**. Journal Sedimentary Petrology, 1954. 24:151-158.
10. VITAL, H. **Estudo de Geologia e Geofísica Marinha no Estuário do Rio Potengi entre a Base Naval e sua foz, para a Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN)**. 2008. Disponível em: <http://www.codern.com.br/pdz-plano-de-desenvolvimento-e-zoneamento>. Acesso: 15 de fevereiro de 2018