

Physical and mineralogical characterization of sediments dredged from the access channel of the Port of Rio Grande-RS

Caracterização física e mineralógica dos sedimentos dragados do canal de acesso do Porto de Rio Grande-RS

Article Info:

Article history: Received 2023-01-16 / Accepted 2023-02-20 / Available online 2023-02-24

doi: 10.18540/jcecv19iss1pp15428-01e



Mélory Maria Fernandes de Araujo

<https://orcid.org/0000-0002-8552-8407>

Universidade Federal do Rio Grande-FURG, Brasil

mmfa.eh@gmail.com

Ana Carolina Nunes da Silva

<https://orcid.org/0000-0002-9225-4029>

Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Brasil

carolnunes.honorato@gmail.com

Diego de Freitas Fagundes

<https://orcid.org/0000-0003-3495-2061>

Universidade Federal do Rio Grande-FURG, Brasil

dffagundes@gmail.com

Resumo

O Porto localizado na cidade de Rio Grande no extremo sul do Brasil, conta com diversas operações de dragagens de forma sazonal ao longo de sua história. As dragagens de manutenção são constantes na região e consistem na retirada de uma grande quantidade de sedimentos a fins de evitar o assoreamento do canal. Embora exista um planejamento visando otimizar as operações de dragagem o melhor entendimento dos processos de sedimentação no Porto do Rio Grande é de extrema relevância. O presente trabalho buscou caracterizar o comportamento dos sedimentos dragados nas operações de dragagem de manutenção no canal de acesso realizada durante o ano de 2019. Através da determinação de características físicas e mineralógicas destes sedimentos por granulometria a laser, análise de difração de raio-x e microscopia de varredura eletrônica. Tendo como resultados a classificação para o sedimento de areia sílica, sendo que as frações do material presente tiveram os percentuais de 44,29% de areia, 51,96% de silte e 3,75% de argila. Através do difratograma pode-se visualizar a presença de minerais no sedimento tais como, quartzo, k-feldspato, illita e caulinita. E a partir da realização da microscopia de varredura eletrônica foi possível ver alguns poros na estrutura, caracterizados como caminhos preferenciais para a movimentação da água.

Palavras-chaves: Dragagem. Sedimentos. Mineralogia. Características geotécnicas. Microscopia de varredura eletrônica

Abstract

The Port located in the city of Rio Grande in the extreme south of Brazil, has had several seasonal dredging operations throughout its history. Maintenance dredging is constant in the region and consists of removing much sediment to prevent the channel from silting up. Although there is planning to optimize dredging operations, a better understanding of the sedimentation processes in the Port of Rio Grande is fundamental. The present work sought to characterize the behavior of the sediments dredged in the maintenance dredging operations in the access channel during 2019. By

determining the physical and mineralogical characteristics of these sediments by laser granulometry, x-ray diffraction analysis, and scanning electron microscopy. As result, the classification for the silica sand sediment, and the fractions of the present material had percentages of 44.29% of sand, 51.96% of silt, and 3.75% of clay. Through the diffractogram, it is possible to visualize the presence of minerals in the sediment such as quartz, k-feldspar, illite, and kaolinite. And from the performance of scanning electron microscopy, it was possible to see some pores in the structure, characterized as preferential paths for the movement of water.

Keywords: Dredging. Sediments. Mineralogy. Geotechnical characteristics. Scanning electron microscopy.

1. Introdução

A compreensão do processo de sedimentação corrobora tanto em áreas de engenharia e economia, quanto em termos de ciência, corresponde a importância ambiental de estuários e a relevância socioeconômica de portos inseridos em um cenário global. Os processos hidrodinâmicos são determinantes para a caracterização de um sistema como retentor ou exportador para a zona costeira (Dyer, 1995). Deste modo, pode-se dizer que diversas variáveis meteorológicas, hidrológicas e oceanográficas podem ser responsáveis por criar situações favoráveis à deposição de sedimentos no ambiente ou à remoção dos pacotes sedimentares. O processo de sedimentação acaba ocasionando o processo de assoreamento em rotas de navegação, sendo um processo próprio e duradouro de maneira geral nos portos do mundo.

O Porto de Rio Grande localizado na cidade de Rio Grande, localizada no extremo sul do Brasil, conta com um complexo portuário de grande relevância econômica. Seu canal de acesso conta com diversas operações de dragagem de forma sazonal ao longo de sua história. Segundo Silva (2019) as taxas de assoreamento para o Porto do Rio Grande com base em dados de 2009 a 2014, para o canal externo (julho/2010 a fevereiro/2014) o valor foi igual à 2.792.000 m³/ano, já para o canal interno (dezembro/2009 a junho/2011) 2.541.500 m³/ano e o canal do Porto Novo (2013/2014) de 215.000 m³/ano. Portanto, as dragagens periódicas de manutenção, bem como dragagens de alargamento e aumento da profundidade dos canais navegáveis, se tornaram essenciais para o sistema de navegação, tornando assim o transporte aquaviário em um sistema de transporte seguro.

No período de junho de 2009 e julho de 2010, o Porto do Rio Grande passou por diversas intervenções de engenharia como a dragagem de aprofundamento do Canal Interno e do Canal Externo, modificações do traçado e do prolongamento dos Molhes da Barra. A última dragagem de manutenção ocorreu no ano de 2019, foram realizadas a retirada de aproximadamente 16 milhões de metros cúbicos de sedimentos depositados no canal de acesso, essa operação realizada visou o aumento do calado de 12,8 m para 14 m, ampliando a capacidade do Porto no recebimento de navios de até 365 m de comprimento.

Portanto, embora exista um planejamento visando otimizar as operações de dragagem, os conhecimentos acerca das características dos sedimentos dragados ainda são de extrema importância para compreender os processos de sedimentação no local. Os estudos de alternativas para a disposição inadequada de material dragado em alto mar ou em terra e reutilização de sedimentos dragados tentam minimizar os impactos ambientais e evitar os lançamentos inadequados desse rejeito. Através de análises como a de microscopia de varredura eletrônica é possível observar os aspectos morfológicos dos minerais presentes em um solo. A caracterização mineralógica dos solos vem a corroborar com a análise do comportamento físico deste, de modo que seja possível encontrar um uso adequado, visto que tais características são consequência do processo geológico de cada solo e por isso apresentam resultados distintos. E a utilização de difração de raio x é de extrema importância para a determinação da composição mineralógica dos solos, servindo como uma ferramenta nos estudos da estrutura dos solos. Neste contexto, o presente trabalho busca caracterizar os sedimentos dragados no canal de acesso do Porto de Rio Grande, através da determinação de características físicas e mineralógicas destes sedimentos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudos está inserida na bacia hidrográfica de Pelotas. O Porto do município de Rio Grande localiza-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, localizando-se no baixo estuário da Lagoa dos Patos. por sua vez é considerado o Porto mais meridional do Brasil e é o único Porto marítimo do Estado do Rio Grande do Sul. Segundo Möller et al., (1996), a hidrodinâmica do estuário é controlada pela combinação dos efeitos causados pela ação do vento local sobre superfície da água (mecanismo de elevação/rebaixamento), pela ação do vento não-local agindo na região costeira e pela descarga dos rios na região norte da laguna.

Silva (2019) afirma que o canal de acesso se estende até a região costeira adjacente, e apresenta um processo de assoreamento acentuado, justificando assim a realização das dragagens de manutenção. O sedimento utilizado neste estudo foi retirado do canal de acesso do Porto durante a operação de dragagem de manutenção realizada no ano de 2019. A Figura 1 apresenta o local do estudo e pontos de retirada do material, sendo eles os trechos 4A e 4B.

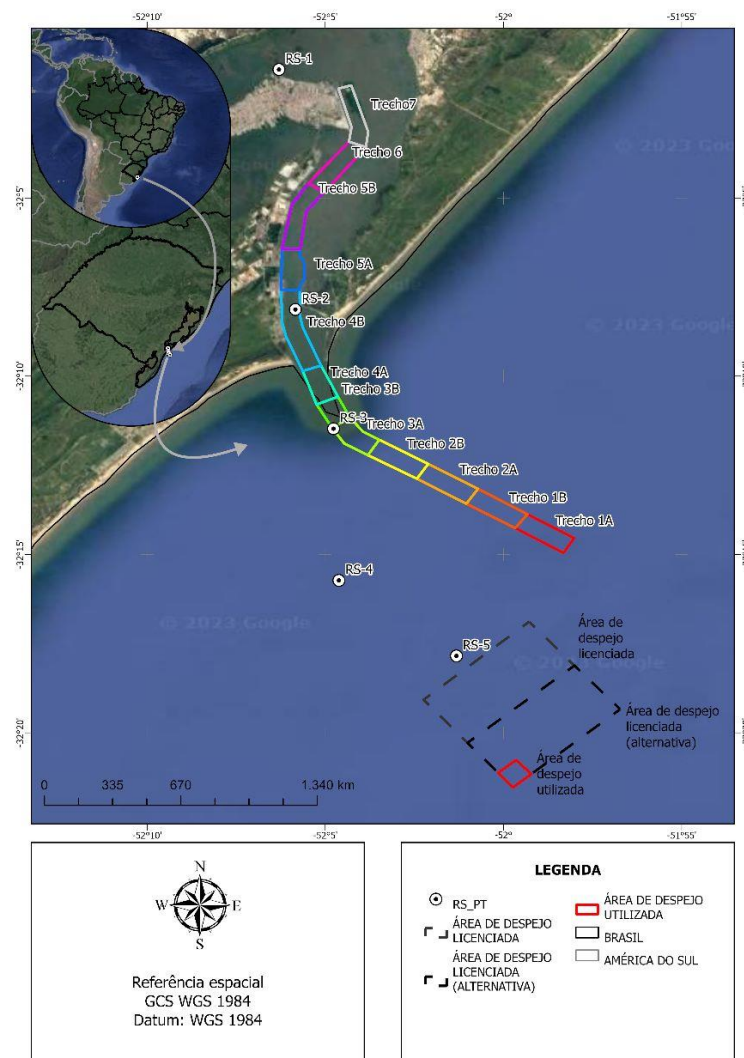


Figura 1 - Localização dos pontos coleta dos sedimentos.

2.2 Etapas de Caracterização do sedimento

Análise Granulométrica e Limites de Atterberg: A primeira análise realizada para caracterizar o sedimento foi realizada a análise granulométrica, feita no Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande, utilizando o granulômetro a laser. Este aparelho busca agilizar a determinação do tamanho das partículas do solo. Nesta metodologia adotada observou as exigências de quantitativo de amostra e de critérios operacionais necessários para o funcionamento do granulômetro. A quantidade de amostra foi de 0,5 gramas de solo e as velocidades de agitação e bombeamento da amostra obedeceram aos critérios estabelecidos de 80% presentes no manual de funcionamento do aparelho. Para obter os parâmetros estatísticos a classificação foi utilizada a metodologia de Folk & Ward (1957) e foram aplicados via software Sysgran®, o qual é específico para análises sedimentológicas, assim como a classificação do sedimento do ponto de vista de tamanho do grão e composição foi obtida por meio do diagrama de Shepard. A classificação realizada pelo diagrama de Shepard (1954) baseia-se no percentual entre as frações granulométricas, sendo utilizado um diagrama trilinear.

Cada solo pode apresentar diferentes consistências em função da sua umidade. O teor de umidade é a razão entre o peso de água contida no sedimento e o seu peso seco dessa amostra. O sedimento tem consistência de um fluido viscoso quando a sua umidade é superior o limite de liquidez (LL). O seu estado plástico, quando pode ser moldado, é quando a umidade é superior ao limite plasticidade (LP) e inferior ao LL. Já o estado semissólido é definido entre o limite de contração (LC) e o LP. Por fim, o estado sólido, quando o material perde umidade sem variar de volume, e se dá quando a umidade é inferior ao LC. o Índice de Plasticidade (Ip) é o valor da subtração entre os limites de plasticidade e de liquidez.

Todos esses parâmetros permitem representar os teores de umidade do solo assim como sua consistência quando este é submetido a uma variação de umidade. Portanto, para este estudo estes parâmetros foram determinados seguindo as normas que descrevem os ensaios, tais como: a NBR 7180 (ABNT, 2016) para determinação do LP e a NBR 6459 (ABNT, 2016) para o LL. Também foi analisado o índice de atividade coloidal (Ia), que é a relação entre o LP e a porcentagem de solo inferior a 2 micras. O Ia mostra a capacidade dos argilominerais contidos na fração argilosa dos solos de conferir plasticidade ao mesmo. O índice de atividade coloidal também é um indicativo um indicativo dos prováveis tipos de argilomineral presentes no sedimento. Para a determinação do teor de matéria orgânica executada seguiu-se a metodologia descrita na norma técnica NBR 13600 (ABNT, 1996). Para estes ensaios as análises com água destilada e água salgada.

Análise de Difração de Raio X – DRX: Para a execução do ensaio de difração de raios X foram as amostras de sedimento foram analisadas no intervalo de ângulo 2θ de 2° a 60° ao passo de $0,02^\circ$ por segundo. O intervalo estipulado permitiu difratar tanto os minerais de alto ângulo como os de baixo ângulo, típico dos argilominerais esperados para essas amostras de sedimento. Para as análises por difração de raios X, foi utilizado um difratômetro da marca Siemens (BRUKER AXS), modelo D-5000 (Θ - 2Θ). O difratômetro possui um tubo de ânodo fixo de Cu ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), operado a 40 kV e 25 mA no feixe primário e monocromador curvo de grafite no feixe secundário, em um intervalo angular de $2,3$ a 32° em passo de $0,002$ por 2s utilizando-se fendas de divergência e anti-espalhamento de 2 mm e 0,2 mm no detector. Para o tratamento de dados da amostra utilizou-se o software Origin 2019 Graphing & Analysis, versão 9.65, aplicando as técnicas quantitativas que estabelece a intensidade dos pontos entre os ângulos de difração.

Análise de microscopia de varredura eletrônica (MEV): O ensaio foi executado no Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul -FURG. O procedimento para análise das amostras foi executado pela técnica responsável pela utilização do equipamento. O ensaio consiste em pegar uma parcela da amostra do sedimento completamente seco, sem umidade, e colocar em cima de um amostrador. Assim que o material é colocado no amostrador ele vai para um aparelho de vácuo onde é banhado com uma camada de ouro, por aproximadamente 30 min. Após esse procedimento a amostra é colocada no Microscópio Eletrônico de Varredura, em modo alto e baixo vácuo, Jeol, JSM - 6610LV.

3. Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta o comportamento da distribuição das partículas. A curva em verde representa o comportamento dos sedimentos finos passantes. Hartmann (1996) destacava a predominância do material de tamanho fino (silte e argila), localizado a oeste da margem do canal de acesso do Porto, conectado com o fluxo de água doce, assim como a leste da margem, o predomínio de grãos com granulometria maiores, considerado como areia muito fina. A classificação para o sedimento analisado encontrada no diagrama de Shepard foi de areia siltica, conforme visto na Figura 3, sendo que as frações do material presente nesta amostra tiveram os percentuais de 44,29% de areia, 51,96% de silte e 3,75% de argila.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os resultados de Villwock et al (2021), o qual em seu estudo observou o comportamento sedimentológico em diferentes setores das margens da Ilha do Terraplano, localizada próxima ao Porto. Os resultados apresentados pelos autores indicam que nas margens da Ilha os sedimentos se apresentavam pela classificação do diagrama de Shepard como Areia Siltica; Areia Siltico-Argilosa e Areia argilosa, apresentando baixa porcentagem de argila em todos os pontos analisados.

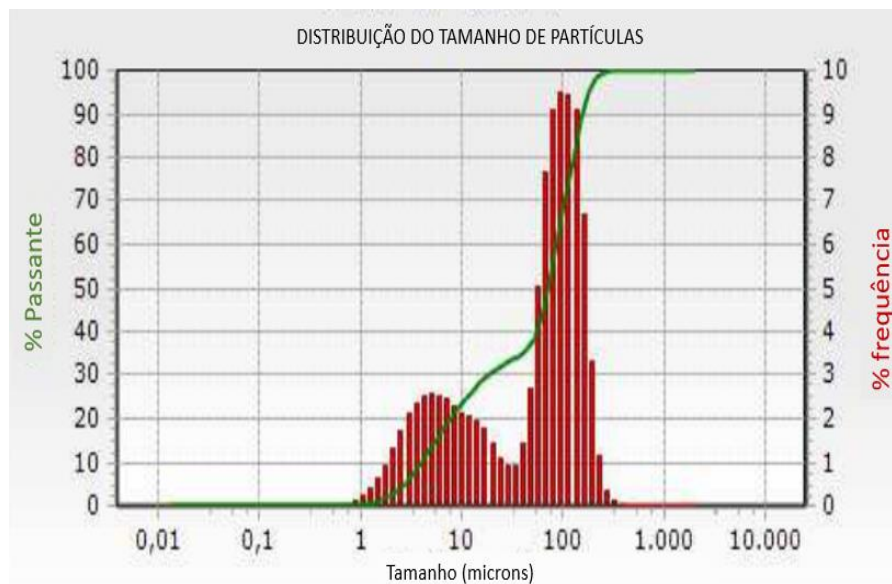


Figura 2 - Resultado da curva que representa o comportamento dos sedimentos finos passantes.

Os ensaios de limite de plasticidade e de liquidez foram divididos em: amostra com água destilada e com água salgada e são apresentados na Tabela 1. Os valores encontrados para as duas amostras mostraram uma concordância, pois os valores de LL foram de 43% e 40%, sendo que durante o ensaio de Casagrande os pontos onde se fechou as ranhuras foram muito semelhantes. Os valores de LP também foram próximos e as umidades variaram entre 20% e 24%.

Os resultados de $IP > 15\%$ em ambas as condições de ensaio (com água destilada e água salgada), caracterizando o material como altamente plástico. Os valores de Ia foram de 0,88 e 0,47 portanto, indicando a presença predominante de argilominerais 1:1.

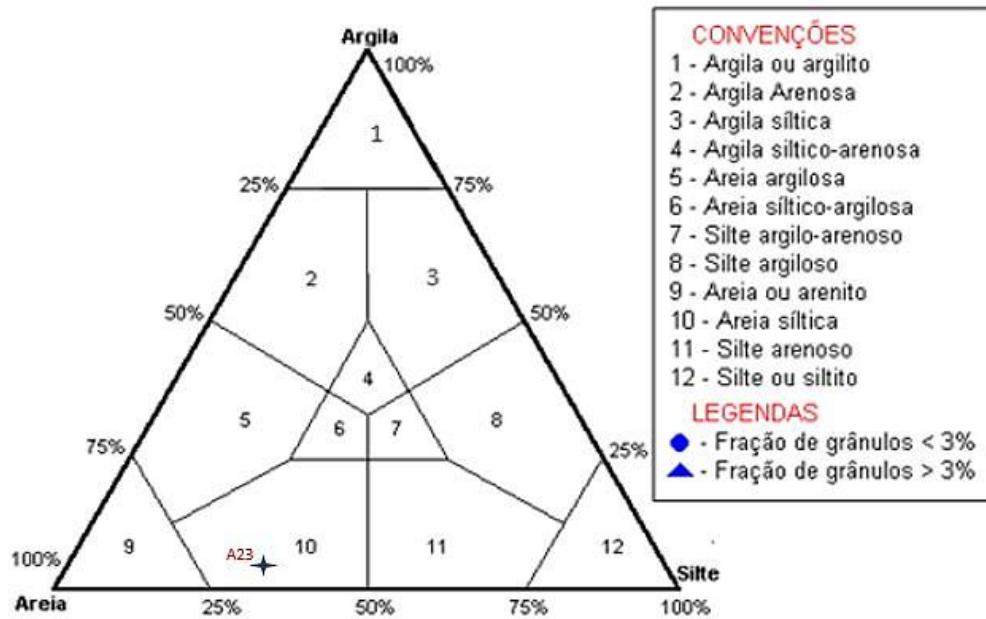


Figura 3 - Resultado de análise sedimentológica através da classificação do diagrama de Shepard (1954).

Tabela 1. Limites de Atterberg, índice de plasticidade e índice de atividade coloidal. Adaptado de Araujo (2021).

	Com água destilada	Com água salgada
Cu	53,21	53,21
CC	0,05	0,05
LL (%)	43	40
LP (%)	20	24
IP (%)	23	16
IL	5,12	0,48
Ia	0,88	0,47
Teor de matéria orgânica (%)	1,45	1,45

Machado (2019) desenvolveu um estudo avaliando também o sedimento de dragagem em outro trecho do canal de acesso do Porto, e seu valor encontrado de Ia no foi de 1,44 caracterizando assim o material com predominância de argilominerais 2:1. A comparação entre os resultados das duas pesquisas é importante para a caracterização geotécnica ao longo de cada trecho do canal de acesso do Porto, foi possível observar a diferença entre o material, tanto na questão de percentuais na fração granulométrica. quanto nos ensaios de limites de Atterberg

Na Figura 4 é apresentado os resultados obtidos através do ensaio de difração de raio X que indicando a composição mineralógica nas amostras de sedimento. Podemos visualizar os picos dos minerais de quartzo, k-feldspato, illita e caulinita, no qual os picos de quartzo e k-feldspato apresentam uma discrepância em relação aos picos delgados dos minerais de muscovita, illita e caulinita que apresentam pouca diferenciação quanto a sua intensidade.

Conforme observamos através da granulometria o sedimento apresenta argilominerais 1:1, deste modo o refinamento inicial dos elementos químicos presentes ocorreu manualmente e foi feita a busca por elementos como Al_2O_3 , SiO_2 e H_2O , que somados representam a fórmula química da caulinita, sendo ela um argilomineral resultado de transformação mineralógica de minerais primários e secundários como os argilominerais 2:1 e o feldspato, também presentes nas amostragens recolhidas com, apresentando forma de massa incoerente e friáveis de alta associação as areias quartzosas.

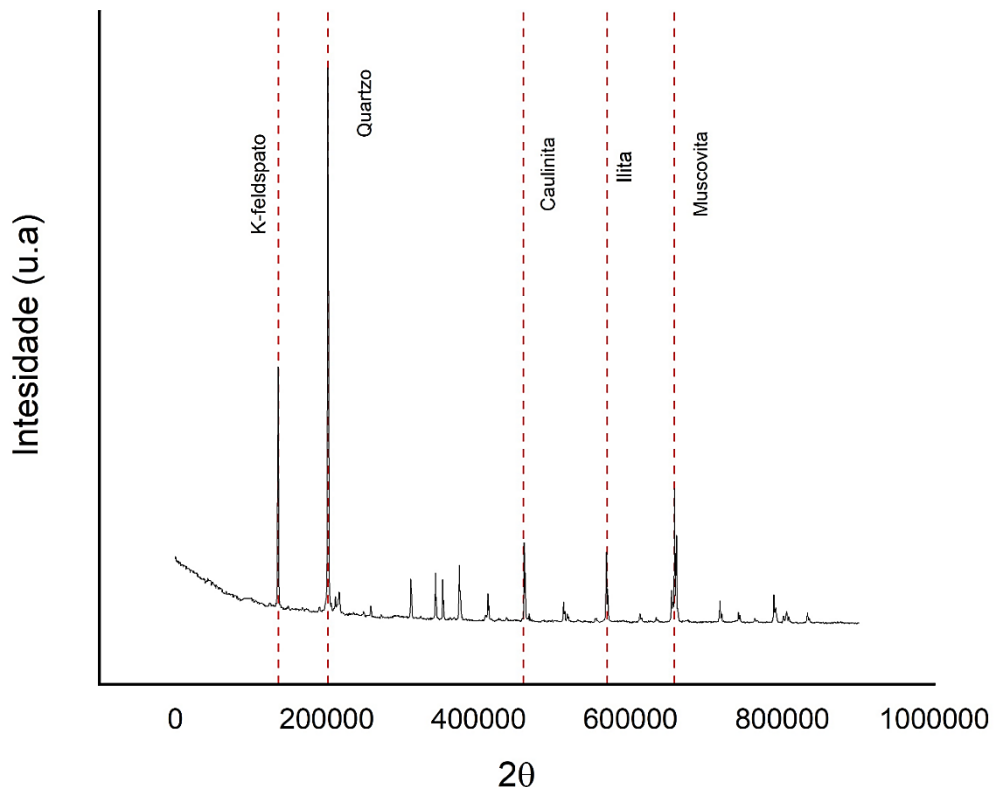


Figura 4 - Difratograma dos sedimentos do canal de acesso do Porto de Rio Grande.

Remde (2018), em seu estudo apresentou resultados de difratogramas para os solos finos do leito marinho na praia do Cassino-RS, a qual é localizada na cidade de Rio Grande, identificando a presenças de quartzo, muscovita, k-feldspatos, illita e caulinita. Os resultados obtidos para a amostra de sedimentos corroboram com estes estudos de Remde et al. (2019), devido a amostra ser composta por 60,85%, de areia fina e 32,68%, de argila igual, o que explica a grande presença de quartzo e dos outros elementos da caulinita, além de através da análise quantitativa foi possível observar a presença de feldspatos na amostra.

A partir da realização do ensaio de microscopia de varredura eletrônica (MEV) foi possível a obtenção de imagem para analisar a morfologia do sedimento. A realização do ensaio de microscopia de varredura eletrônica foi pensada inicialmente para a obtenção de análise qualitativa dos elementos constituintes do sedimento obtidas pelo método de Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios-X (EDS) porém, não foi possível a apresentação dessas análises no presente estudo. As imagens do MEV do sedimento são mostradas na Figura 5 e Figura 6.

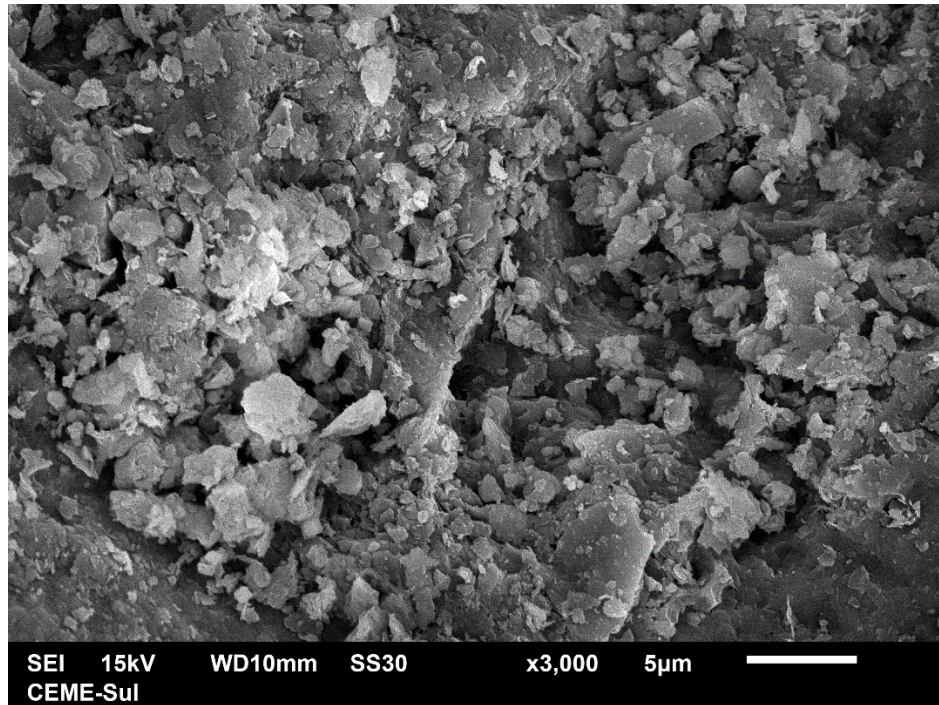


Figura 5 - Microscopia de varredura da amostra original: imagem com aumento de 3 mil vezes. Adaptado de Araujo, 2021.

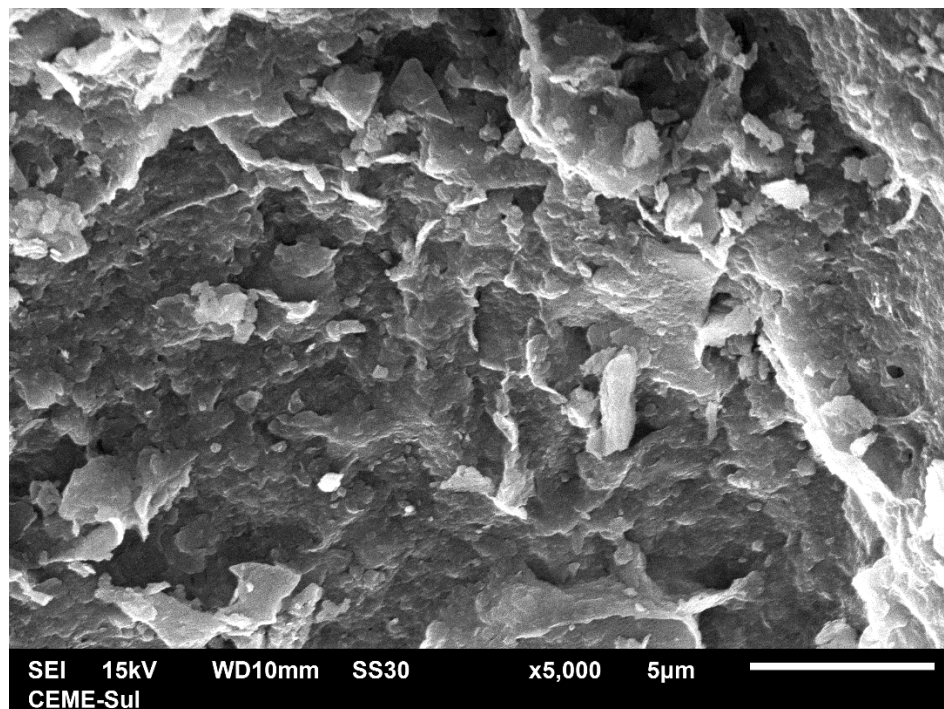


Figura 6 - Microscopia de varredura da amostra original: imagem com aumento de 5 mil vezes. Adaptado de Araujo, 2021.

Na Figura 5 foi possível ver alguns poros na estrutura, caracterizados como caminhos preferenciais para a movimentação da água em relação aos poros menores, com um aspecto mais esponjoso. Já a Figura 6 constitui uma ampliação das zonas próximas aos poros, sendo assim pode-se visualizar a estrutura dos micros agregados que apresentam uma forma de placas laminares irregulares distribuídos aleatoriamente, onde a estrutura apresenta ligações similares a fibras.

4. Conclusão

O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios por serem eles similares a outros encontrados na literatura em relação a classificação dos sedimentos presentes ao longo do canal de acesso do Porto de Rio Grande. A concordância entre os resultados dos ensaios físicos que apontavam o material com a presença de argilominerais 1:1 e os resultados de difração de raio-X que indicaram também a presença dos minerais de quartzo, k-feldspato, illita e caulinita.

Já os resultados obtidos para a morfologia dos sedimentos só foram possíveis observar os caminhos preferenciais para a movimentação da água em relação aos poros menores. Deste modo, conclui-se também a importância do conhecimento das características dos sedimentos que se encontram ao longo de todo o canal de acesso do Porto em virtude de suas dragagens recorrentes, para assim conseguir um destino apropriado para esse material.

A análise da granulométrica do sedimento coletado no local de estudo aponta um material classificação do diagrama de Shepard como Areia Siltica; Areia Siltico-Argilosa e Areia argilosa, apresentando baixa porcentagem de argila em todos os pontos analisados. Já a para a classificação da ABNT esse material seria classificado como um solo Silto arenoso.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Comando do 5º Distrito Naval da Marinha do Brasil e da Superintendência do Porto de Rio Grande pelo fornecimento e transporte do sedimento dragado. A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) por todo suporte durante o desenvolvimento da pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Referências

- Araujo, M.M.F.; (2021). *Potencial de Retenção dos Sedimentos de Dragagem do Porto de Rio Grande, Utilizando Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCR)*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6459. Solo – *Determinação do Limite de Liquidez*. Rio De Janeiro, 6p, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7180 Solo – *Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio De Janeiro, 3p, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 13600. Solo – *Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C*. Rio de Janeiro, 1996.
- Dyer Kr. 1995. *Sediment transport processes in estuaries*. In: PERILLO GME (Ed.). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries: Developments in Sedimentology*. New York, Elsevier Science B.V., p. 423–449.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) *Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Hartmann, C., 1996. *Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS*. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH. *Anteprojeto de dragagem por resultado para readequação da geometria do canal de acesso ao complexo portuário de Rio Grande - RS*. Rio de Janeiro, 2014.

- Machado, A. L.; Bastos, C. A. B; Fagundes, D. F. (2019). *Caracterização Geotécnica de Material de Dragagem do Canal de Acesso ao Porto do Rio Grande*. X Seminário De Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul-GEO RS 2019.
- Möller, O. O.; Lorenzzenti, J. A.; Stech, J. L.; Mata, M. M. *The Patos Lagoon Summertime Circulation and Dynamics*. Continental Shelf Research, V. 16, N. 3, P. 335 – 351, 1996.
- Remde, M. Z.; (2018). *Caracterização Geotécnica dos Solos Finos do Leito Marinho na Praia do Cassino-RS*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
- Remde, M. Z., Fagundes, D. F.; Pinto, W. T. (2019). Caracterização Geotécnica dos Solos Finos do Leito Marinho da Praia do Cassino, Rio Grande-RS. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*, 4(2), 147-1-147-15. <https://doi.org/10.21575/25254782rmetg2019vol4n2797>.
- Silva, M. J. B. (2019). Estudo dos Processos de Sedimentação no Porto do Rio Grande (Rio Grande do Sul, Brasil). Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal Do Rio Grande.
- Villwock, B.; Nicolodi, J. L; Calliari, L. J.; (2021). *Potencialidade de utilização da ilha do Terraplino de Leste para a disposição de sedimentos dragados no Porto de Rio Grande, Brasil*. Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, v. 48 (2021), n. 3: e106479. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.106479>.